

The logo of Damascus University is a circular emblem. It features a central yellow oil lamp with a flame, set against a background of radiating yellow lines. The lamp is enclosed within a circular frame. Above the lamp, the Arabic text "وقل رب زدني علما" is written in a semi-circle. Below the lamp, the Arabic text "جامعة دمشق" is written in a semi-circle. At the bottom of the emblem, the words "Damascus University" are written in English.

محركات الاحتراق الداخلي

١-



السنة:

القسم: هندسة السيارات والآليات الثقيلة



جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية
والكهربائية

محركات الاحتراق الداخلي

١-

الدكتور

طارق الخاير

أستاذ في قسم الميكانيك العام

الدكتور

علي صبح

أستاذ في قسم الميكانيك العام

الدكتور

توفيق عيسى

مدرس في قسم الميكانيك العام

الدكتور

نادر سلام

مدرس في قسم الميكانيك العام

جامعة دمشق



الموضوع	الصفحة
مقدمة	٧
الفصل الأول	
مبادئ عوامل المحركات وظروف عملها	٩
١. مجال الاستثمار وتصنيف المحركات	٩
٢. العمليات الفعالة في المحركات	١٤
الفصل الثاني	
الوقود ومركب التشغيل في المحركات المكبسية	٣٩
١. الوقود وخواصها.	٣٩
٢. تفاعلات الاحتراق ونواتجه.	٥٢
الفصل الثالث	
عمليات الدورات الحرارية الفعلية	٦٩
١. عمليات التبادل الغازي.	٦٩
٢. عملية الانضغاط.	١٠٠
٣. مفاهيم أساسية وقوانين الاحتراق	١٠٣
١.٣. اشعال واحتراق الوقود في محركات الشرارة الكهربائية.	١٢١
٢.٣ - عمليات المزج والاحتراق في محركات الديزل.	١٤٥
٤. عملية التمدد.	١٨٥
الفصل الرابع	
العوامل البيئية والفعلية	١٩١
١ - العوامل البيئية.	١٩١

٢١٦	٢- الضياعات الميكانيكية والعوامل الفعلية.
٢١٦	١.٢- الضياعات الميكانيكية والمردود الميكانيكي.
٢٢٤	٢.٢- العوامل الفعلية للمحركات.
٢٣٠	٣.٢- الحملات الحرارية على عناصر المحرك والحالة الحرارية والتوازن الحراري.
٢٤١	الفصل الخامس
٢٤١	نظم التغذية في المحركات
٢٤١	١. نظم التغذية في المحركات العاملة بالشرارة الكهربائية.
٢٧٣	٢. نظم التغذية بالغاز.
٢٧٧	٣. نظم التغذية في محركات الديزل.
٣٠١	مجموعة المضخة البخاخ ونظم التغذية ذات المجمع
٣١١	الفصل السادس
٣١٢	نظم شحن الهواء في المحركات
٣١٢	١. نظم الشحن الغازية.
٣١٤	٢. تبريد الهواء المشحون.
٣١٦	٣. تنظيم الشحن الغازي.
٣٢٠	٤. الأداء المشترك للمحرك وتجهيزات الشحن الغازي.
٣٢٧	ملحق وحدات القياس والرموز المستعملة في الكتاب
٣٣٧	المصطلحات العلمية
٣٧٥	المراجع

مُتَلَمِّمًا:

أملت الضرورة الدائمة لنقل الحمولات وأعداد الركاب المتزايدة ضرورة زيادة الأنواع المختلفة من السيارات وأعدادها بشكل حثيث، وما زالت القاعدة الرئيسة لمصدر القدرة في وسائط النقل هي محركات الاحتراق الداخلي المكبسية التي بلغت في تطورها خلال قرن من الزمان حداً عالياً.

والعوامل المؤثرة في تصميم المحركات المكبسية هي: ضرورة زيادة الاستطاعة النوعية والوثوقية، وتوسيع إمكانية استخدام المحركات في الظروف الاستثمارية المختلفة بتكاليف منخفضة من الوقود والمواد الأخرى، وفي المستقبل المنظور سيبقى الوقود النفطي حامل الطاقة الرئيسي في المحركات المكبسية على الرغم من التزايد المطرد في الحاجة إلى موارد الطاقة في القرن الحادي والعشرين في المجالات المختلفة.

ولبلوغ العوامل والمؤثرات النوعية لأداء المحركات تزداد المتطلبات والمواصفات المختلفة منها، وخاصة في مجال القيادة والتحكم وشروط الدقة والاستقرار في العمليات العيارية المختلفة، مما يجعل التصميم أكثر تعقيداً وأكثر كلفة.

كما ازدادت العناية بالبيئة عالمياً لتخفيض الانبعاثات والمواد السامة وغير السامة ومكافحة ظاهرة الضجيج والتلوث السمعي التي تؤدي وسائط النقل دوراً رئيساً فيها.

والمحركات المكبسية عملياً هي المحركات الوحيدة المستخدمة في جميع وسائط النقل وآلات البناء والرفع والآلات الزراعية وغيرها. وقد زادت أعدادها المنتجة في العالم في نهاية العقد الأول من القرن الحادي والعشرين

على المليار والنصف تقريباً، لما تحقق من تطور نوعي في صناعتها ووثوقيتها، واقتصادية عالية في استثمارها، وقدرة المحركات على العمل بمختلف أنواع الوقود السائلة والغازية.

أخيراً يمكننا القول إن هذا التطور بلغ حداً حرجاً في استخدام أنواع الوقود النفطي في المحركات، وستبدأ قريباً الطاقة التقليدية بالتراجع لمصلحة الأنواع البديلة الأخرى للطاقة.

المؤلفون

الفصل الأول

مبادئ عوامل المحركات

وظروف عملها

١. مجال الاستثمار وتصنيف المحركات:

الآلات التي تقوم بتحويل نوع معين من الطاقة إلى عمل تسمى محركات، والآلات التي تحول الطاقة الحرارية إلى عمل تسمى المحركات الحرارية (م.ح).

والمحركات الحرارية هي النموذج الأساسي لمحطات القدرة في جميع وسائل النقل:

(السكك الحديدية، النهرية، البحرية، الهوائية (الجوية) وفي الآلات الزراعية وآليات الطرق والبناء.

وتقسم المحركات الحرارية إلى محركات ثابتة ومحركات نقل. ويميز محركات النقل عملها عند التغير الواسع لنظام السرعة والحمولة، ومن متطلباتها تخفيض الأبعاد والكتل.

وبطريقة نقل الحرارة إلى جسم التشغيل في المحرك تقسم المحركات إلى محركات تعطى فيها الحرارة من الخارج، ومحركات ذات احتراق داخلي. ويميز النوع الأول:

- تعطى الحرارة إلى جسم التشغيل من خارج المحرك (في مبادل حراري عادة).

- جسم التشغيل لا يتجدد ويجري في أماكن مختلفة وفق دائرة مغلقة.

- يحصل العمل على دولاب توربيني أو في أسطوانة تمدد.

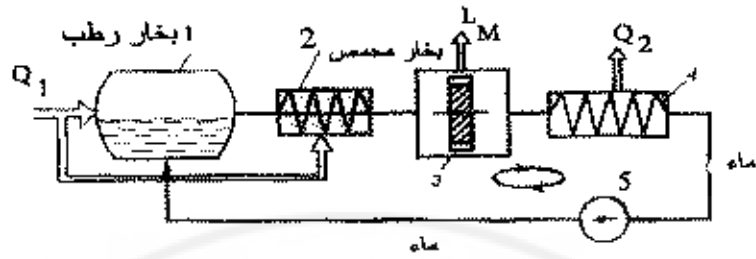
المثال التقليدي لهذا النوع من المحركات الحرارية (المحرك البخاري) شكل-١ حيث تعطى الحرارة Q_1 إلى جسم التشغيل (الماء) في مولد البخار ومسخن البخار، ويحصل العمل W في دولاب البخار، والحرارة Q_2 تنقل من جسم التشغيل إلى المكثف، حيث يتحول البخار إلى ماء، وبعدها يعود الماء من جديد إلى مولد البخار بواسطة مضخة التغذية.

وبميز محركات الاحتراق الداخلي:

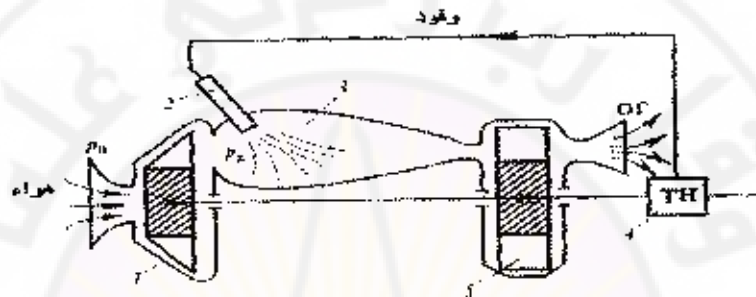
- احتراق الوقود، توليد الحرارة وتحويلها إلى عمل يحصل في داخل المحرك (مباشرة).

- جسم التشغيل يتجدد خلال عمليات المحرك.

وتختلف محركات الاحتراق الداخلي عن المحركات الأخرى بانخفاض الأبعاد والكتلة النوعية نسبة لوحدة الاستطاعة المنتجة، ولذلك تعد الآن النموذج الرئيسي لمصادر القدرة في وسائل النقل وتبعاً للأجزاء التي تتحول بواسطتها الطاقة الحرارية الناتجة عن احتراق الوقود إلى عمل تقسم إلى: المحركات المكبسية ذات المكابس الترددية المتحركة، و المحركات ذات المكابس الدورانية (الدوارة) (أو ذات المكابس الروتيرية)، والمحركات التوربينية الغازية، والمحركات النفاثة. وكمثال لتحليل ودراسة حالات تصاميم محركات الاحتراق الداخلي ندرس مخططاً مبسطاً لمحرك توربيني غازي وحيد المحاور، شكل -٢.



الشكل - ١: المحرك البخاري



الشكل - ٢: مخططاً مبسطاً لمحرك توربيني غازي وحيد المحاور

مبدأ عمل المحرك يتلخص فيما يلي:

يقوم الضاغط الذي يركب دولابه على محور واحد مع دولاب التوربين بضغط الهواء حتى p_k ويدفعه إلى حجرة الاحتراق التي يأتيها الوقود عبر المضخة ووحدات الحقن.

وبعد احتراق مخروط الوقود بواسطة الشمعة الخاصة في الحجرة تتشكل نواتج الاحتراق ذات الحرارة العالية، وتتوجه إلى دولاب التوربين حيث يتولد العمل المفيد، وبعدها تخرج من التوربين بشكل غازات عادمة، وكما يظهر من المخطط تتولد الحرارة داخل المحرك، وجسم التشغيل يتجدد باستمرار.

وبسبب عدم كفاية اقتصادية الوقود فإن المحركات المكبسية الدوارة والمحركات التوربينية والمحركات النفاثة لا تستخدم بكثرة في وسائط النقل ما

فوق الأرضية.

هنا تستخدم المحركات المكبسية أساساً كمصدر للقوة.

وتبعاً لطريقة إشعال المزيج تصنف المحركات إلى محركات ذات احتراق كهربائي جانبي (بالشرارة)، ومحركات ديزل يشتعل فيها المزيج بطريقة الضغط.

ففي المحركات ذات الإشعال الكهربائي يستخدم نوعان من الوقود: السائل (البنزين) والغاز، وتسمى المحركات حينئذ البنزينية والغازية. المحركات ذات المغذي (المفحم) شكل - ٣. والمحركات الغازية، التي يدخل فيها المزيج إلى الأسطوانات يحضر خارجها في تجهيزات خاصة تسمى المغذي أو الخلط. وتسمى أحياناً هذه المحركات ذات التحضير الخارجي للمزيج (الخليطة).

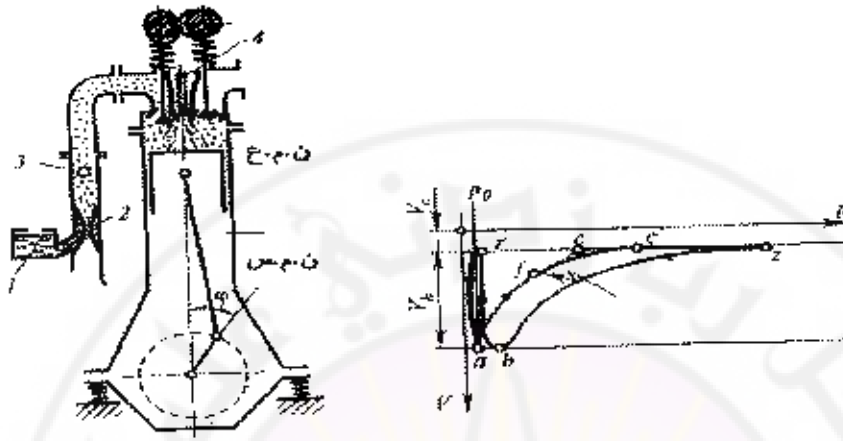
والمحركات ذات الإشعال الكهربائي بالشرارة تصمم أيضاً بطريقة حقن الوقود في مجرى الدخول (على صمام الدخول عادة) شكل - ٤. أو يحقن الوقود مباشرة في الأسطوانة. وفي هذه الحالة ينسب النوع الأول فقط إلى محركات المزج الخارجي.

وفي محركات الديزل يحقن الوقود مباشرة في الأسطوانة ولذلك تنسب إلى محركات المزج الداخلي شكل - ٥.

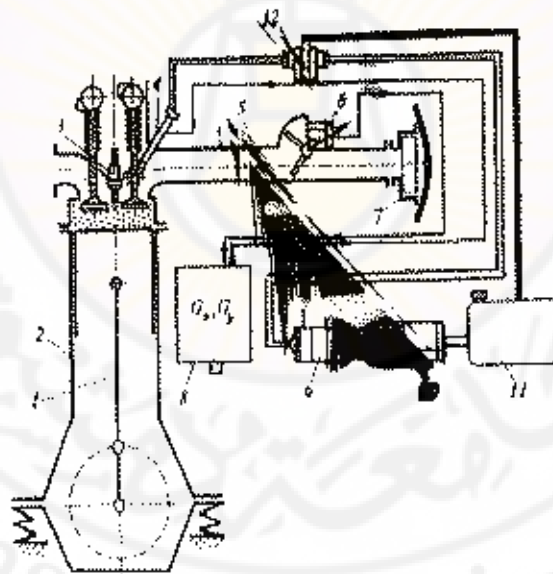
ويجب التنويه أيضاً إلى مسألة اختلاف محرك الإشعال الكهربائي عن الديزل بطريقة التحكم بالاستطاعة، فالمحركات ذات الإشعال الكهربائي تصنف بالمحركات ذات التحكم الكمي، لأن التحكم باستطاعتها يتم على مساحات واسعة من نظم العمل بتغيير كمية المزيج الوارد إلى الأسطوانة.

ومحركات الديزل ذات تحكم نوعي فلتغيير الاستطاعة عند ثبات الشحنة الهوائية تحقن كميات مختلفة من الوقود، مما يغير التركيب النسبي للخليطة

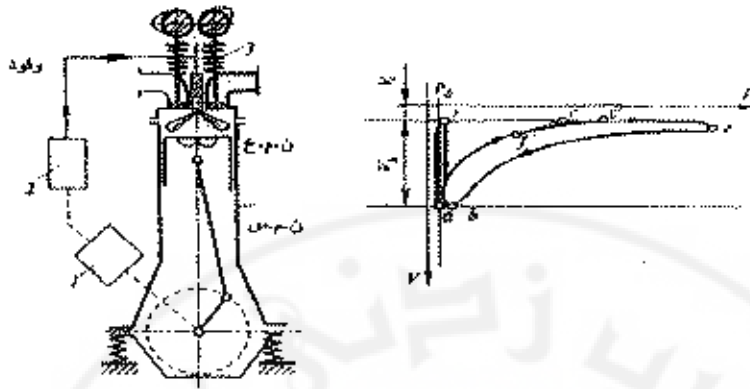
(الوقود والهواء)، هو ما يؤثر بشكل كبير في طبيعة العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تؤمن تحويل الطاقة في الوقود إلى عمل.



الشكل - ٣: المحركات ذات المغذي (المضخم)



الشكل - ٤: المحركات ذات الإشعال الكهربائي



الشكل - ٥ : محركات المزج الداخلي

و تصنف المحركات بطريقة تشكيل الدورة الحرارية إلى رباعية الأشواط وثنائية الأشواط.

وينتج من تعريف شوط العمل كمجموعة العمليات الجارية في الأسطوانة عندما يتحرك المكبس بين النقاط الميتة العليا والسفلى (ن.م.ع، ن.م.س) أنه في المحرك رباعي الأشواط تكتمل العملية الفعالة خلال دورتين لعمود المرفق، وفي المحرك ثنائي الأشواط خلال دورة واحدة.

٢- العمليات الفعالة في المحركات :

تتعلق طبيعة العمليات المشكلة للدورة الفعالية للمحرك، بمبادئ تنظيم التبادل الغازي، وطريقة تنظيم المزج (خارجي أو داخلي) والإشعال (بالشرارة أو بالضغط).

١.٢- العمليات الفعالة للمحرك رباعي الأشواط والإشعال بالشرارة:

إن الوقود المستخدم - البنزين - عبارة عن مزيج من الهيدروكربونات سريعة التبخر ، تساوي فيها النسبة الكتلية التي تشكل عناصرها الكيميائية

وسطياً : $(g_H = 0,145, 0,855 = g_c)$

ولا احتراق اكغ من الوقود بشكل كامل يلزم كمية من الأوكسجين الموجود في $l_o = 14,8 \text{ kg}$ من الهواء. وخليطة الوقود والهواء، تبعاً لنظام عمل المحرك، تركيب نسبي مختلف من الوقود والهواء (مختلفة ونوعية). و تقدر جودة ونوعية الخليطة بمعامل فائض الهواء ∞ الذي يساوي نسبة كمية الهواء الموجودة في الخليطة G_H إلى الكمية الدنيا المطلوبة للاحتراق الكامل للوقود الموجود في الخليطة G_F .

$$\infty = \frac{G_H}{l_o \cdot G_F}$$

عندما تكون $\infty = 1$ يكون الهواء في الخليطة مساوياً للهواء الضروري للاحتراق الكامل للوقود الموجود في الخليطة (خليطة متوازنة).
عندما تكون $\infty < 1$ (خليطة غنية بالوقود) تكون كمية الهواء أقل من الضرورية لعملية الاحتراق الكامل للوقود فيها.

عندما تكون $\infty > 1$ (خليطة فقيرة) يوجد في الخليطة فائض من الهواء.
تدرس العمليات الفعلية للمحرك استناداً إلى المخطط الدليلي (الببائي) الذي يعطي العلاقة بين الضغط داخل الأسطوانة (P) والحجم الجاري مافوق المكبس (V) شكل - ٣ .

- الشوط الأول I (السحب) يحصل عند دوران المرفق من الصفر حتى الدرجة 180 وهذا ينطبق مع تغير حجم فوق المكبس V_c (حجم حجرة الاحتراق) عند الزاوية $\varphi = 0^\circ$ (ن.م.ع) حتى $V_a = V_c + V_H$ (الحجم الكامل للأسطوانة) عند الزاوية $\varphi = 180^\circ$ (ن.م.س) ويسمى الحجم V_H الحجم الفعال للأسطوانة.

وفي الدورة الحرارية الفعلية لا ينطبق مفهوم الشوط مع العملية الفعلية، ونتيجة

لذلك وتحسين عمليات التبادل الغازي تفتح الصمامات قبل بداية الشوط المطابق وتغلق بعد إكماله قبل بداية السحب، ويوجد في حجرة الاحتراق V_c نواتج الاحتراق المتبقية من دورة سابقة تسمى (الغازات المتبقية). وامتلاء الأسطوانة بالشحنة الجديدة (المنحني Ta) يحصل بسبب التخلخل الناجم عن حركة المكبس باتجاه (ن. م. س).

و يقدر الضغط p_a في نهاية شوط السحب (النقطة a) من خلال المفاهيم الهيدروليكية في شوط السحب، التي تتعلق بنظام السرعة والحمولة للمحرك (أو سرعة حركة الخليطة في مجرى الدخول ودرجة انفتاح صمام المزيج).

على نظام الاستطاعة الاسمية (صمام المزيج مفتوح بالكامل وعدد دوران عمود المرفق يساوي الدوران الاسمي) $P_a = 0,08 - 0,09 \text{ Mpa}$.

يؤثر على درجة الحرارة T_a : الانتقال الحراري للشحنة الجديدة مع عناصر المحرك المؤلفة لمجرى السحب وحجرة الاحتراق، وتبريده من خلال فقد الحرارة في عملية تبخر الوقود.

ولموازنة هذه المفقودات يزود المحرك بعملية تسخين للخليطة في مجرى السحب بواسطة الغازات العادمة أو بالماء الساخن من نظام التبريد.

إضافةً لذلك، تزداد حرارة الشحنة الجديدة في الأسطوانة نتيجة اختلاطها بالغازات المتبقية الحارة.

وعند النظام الاسمي لعمل المحرك يزداد تسخين الشحنة $T_a = 320 - 250 \text{ K}^\circ$.

وكلما ازدادت المقاومات الهيدروليكية ازدادت عملية تسخين الشحنة الجديدة، وكلما ازدادت كمية نواتج الاحتراق المتبقية في الأسطوانة مسن دورة سابقة انخفضت الشحنة الجديدة في الأسطوانة حتى نهاية شوط السحب.

و تقدر جودة عملية امتلاء الأسطوانة بالشحنة (الجودة الحجمية) بمعامل

الجودة الحجمية η_v (معامل الامتلاء) الذي يساوي نسبة كمية الشحنة الجديدة الواردة إلى الأسطوانة إلى الكمية التي يمكن أن تدخل إلى الحجم الفعال V_h (جزء من حجم الأسطوانة، $V_c -$ مملوء بالغازات المتبقية).
إذا كانت الحرارة والضغط في نهاية السحب مساويين للحرارة والضغط على مدخل مجرى السحب

$$T_a = T_k, P_a = P_k$$

- الشوط الثاني II لعمل المحرك (الانضغاط) يحصل عند دوران المرفق بزاوية $\varphi = 180 - 360^\circ$

(المنحنى ac على المخطط). ويؤثر على القيم الحسابية لعوامل جسم التشغيل في نهاية الشوط

(النقطة c) القيم الأولية (T_a, P_a) ودرجة الانضغاط ϵ التي تساوي نسبة الحجم $\frac{V_a}{V_c}$.

عندما تكون $\epsilon = 6,5 - 12$ في المحركات البنزينية الحديثة

$$T_c = 550 - 750 K, P_c = 0,9 - 1,5 \text{ Mpa}$$

عند تحقيق الدورة الفعلية يكون الضغط في نهاية عملية الانضغاط $p'_c > p_c$ ويساوي $p_c (1,15 - 1,25)$ بسبب زيادة الضغط الناجم عن بداية ظهور عملية الاحتراق (النقطة l لحظة الشرارة الكهربائية في شمعة الاحتراق).

الفتحة بالزاوية الفاصلة بين لحظة إعطاء الشرارة حتى وصول المكبس إلى ن. م. ع تسمى (زاوية تسبيق الإشعال).

- الشوط الثالث III ($\varphi = 360 - 540^\circ$) - شوط التمدد. في هذا الشوط من عمل المحرك يحصل احتراق الكمية الرئيسية من الوقود المعطى للأسطوانة ثم عملية تمدد جسم التشغيل ويستخلص العمل المفيد.

بالقرب من ن . م . ع عند دوران المرفق بزاوية $15^\circ \dots 10^\circ$ يصل الضغط داخل الأسطوانة إلى القيمة العظمى $P_z = 3,5 - 6,5 \text{ Mpa}$ وتبعاً لذلك تزداد درجة حرارة جسم التشغيل حتى $T_z = 2400 - 2800 \text{ K}$ والنسبة λ التي تساوي $\frac{P_z}{P_c}$ (نسبة زيادة الضغط) تبلغ في المحركات الحديثة $\lambda = 3,6 - 4,2$ وبنهاية شوط التمدد تصبح القيم الحسابية للضغط والحرارة كمايلي:

$$T_b = 1200 - 1700 \text{ K}, P_b = 0,35 \dots 0,5 \text{ Mpa}$$

ويجب التنويه إلى أن شوط التمدد في الواقع ينتهي قبل أن يصل المكبس إلى ن . م . س بسبب بداية الانفتاح لصمام الطرد (الخروج).

- الشوط IV $\varphi(540 - 720)$ - شوط الطرد يتم بضغط $P_r = 0,105 - 0,12 \text{ Mpa}$ ويتعلق بمستوى المفاتيح الهيدروليكية في مجرى الطرد. وتخرج الغازات العائمة من الأسطوانة بدرجة حرارة $T_r = 900 - 1100 \text{ K}$.

وعند الحساب الحراري للدورة الفعلية للمحرك البنزيني نفترض أن الكمية الحرارية الرئيسية تنطلق في عملية الاحتراق بالقرب من ن . م . ع . أي في ظروف قريبة من ظروف عملية إعطاء الحرارة عند ثبات الحجم $V = \text{const}$.

٢. ٢ - العمليات الفعالة في الديزل رباعي الأشواط :

الوقود المستخدم في محركات الديزل هو عبارة عن مزيج حرارة تبخره العالية (أعلى من البنزين) ومؤلف من مجموعة هيدروكربونات. التركيب الوسطي الكتلي يساوي $g_c = 0,872$, $g_H = 0,128$ ويحتاج ١ كغ من الوقود حتى يحترق بالكامل إلى $14,56 \text{ kg}$ من الهواء كحد أدنى.

المخطط البياني النموذجي للديزل رباعي الأشواط يظهر على الشكل - ٥. ولتأمين الحرارة الكافية للاحتراق الذاتي ترفع نسبة الانضغاط في الديزل

إلى $\varepsilon = 14 \dots 23$ وخلال دوران المرفق بزاوية $\varphi = 0 - 180^\circ$ تحصل عملية السحب .

أما طبيعة جريان عملية امتلاء الأسطوانة بالشحنة الجديدة (الهواء) وعوامل جسم التشغيل في نهاية الشوط (النقطة a) فتحدداهما العوامل التالية :

- المفاهيم الهيدروليكية في مجرى السحب، وهي أقل منها بالمقارنة مع محرك الشرارة الكهربائية (لا يوجد اختناق المفحم أو صمام التحكم) والمفاهيم ثابتة عندما تتغير حمولة الديزل.

- في مجرى السحب لا يوجد انتقال حراري من الشحنة الجديدة عند تبخر الوقود بسبب انعدامه أساساً في الشحنة. وتعدم الحاجة هنا إلى تسخين خاص لمجرى السحب، ولهذا السبب يكون الضغط في النقطة a في الديزل أكبر منه في محرك الشرارة $P_a = 0,085 - 0,095 \text{ Mpa}$ والحرارة T_a .

في الديزل أقل قليلاً من محرك الشرارة $T_a = 310 - 350 \text{ K}$.
لأجل ذلك تختلط مع الشحنة كمية أقل من الغازات المتبقية ذات الحرارة المنخفضة نسبياً عند القيم الكبيرة لنسبة الانضغاط.

وخصائص شوط السحب في الديزل ($\varphi = 180 - 360^\circ$) هي العوامل الترموديناميكية المرتفعة لجسم التشغيل في النقطة c (بالمقارنة مع محرك الشرارة) $T_c = 700 - 900 \text{ K}$, $P_c = 2,9 - 6,0 \text{ Mpa}$ وذلك بسبب القيمة الكبرى لنسبة الانضغاط .

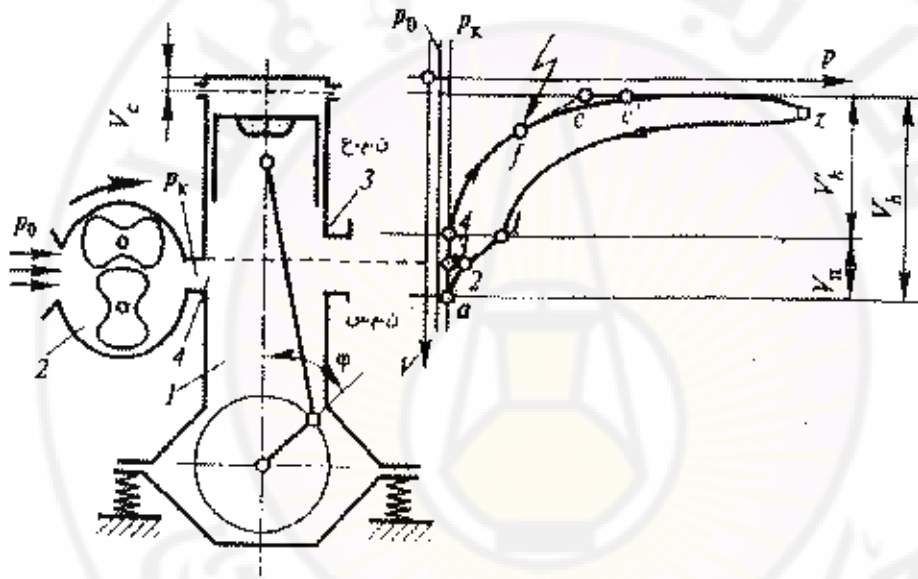
في نهاية الانضغاط تبدأ في حجرة الاحتراق عملية حقن الوقود .
والزاوية التي يدور خلالها المرفق من لحظة بدء الحقن حتى وصول المكبس إلى ن . م . ع . تسمى زاوية تسبيق الحقن .

وبسبب بدء عملية الاحتراق قبل ن . م . ع يزيد الضغط في الأسطوانة P_c عن

القيمة الحسابية p_c

$$p'_c = (1.05 \sim 1.15) p_c$$

وإذا كانت عملية الاحتراق في محرك الشرارة تحصل لمزيج محضّر مسبقاً ومتجانس لدرجة كافية، فإن عملية تحضير المزيج في الديزل تتم خلال فترة زمنية زهيدة تسبق عملية الاحتراق من بداية الحقن، وعندئذ يحقن قسم كبير من الوقود في الأسطوانة مباشرة خلال عملية الاحتراق.



الشكل - ٦ : مخطط محرك ثنائي الأشواط

ويقود هذا إلى أنه بالقرب من ن . م . ع يحترق في الديزل كمية أقل من الوقود المحقون، ويحترق القسم الأكبر من الوقود بعد ن . م . ع عندما يزداد الحجم فوق المكبس بشكل ملحوظ. لذلك في الدورة الحرارية الفعلية للديزل يعطي جزءاً من الحرارة عند ثبات

الحجم ويعطي الجزء الآخر عند ثبات الضغط.
وهذا لأن نسبة زيادة الضغط $\lambda = 1,4 - 2,2$ هي أقل من مثلثتها في محرك
الشرارة .

الضغط الأعظمي للدورة الحرارية في النيزل والحرارة المطابقة في النقطة
:Z

$$T_z = 1800 - 2300 \text{ K}, P_z = 6,0 - 10,0 \text{ Mpa}$$

القيم الأدنى لـ T_z بالمقارنة مع محرك الشرارة سببها أساساً ارتفاع معامل
الغازات المتبقية.

والعوامل الحسابية لجسم التشغيل في نهاية شوط التمدد (النقطة b) هي:

$$T_b = 1000 - 1200 \text{ K}, P_b = 0,2 - 0,4 \text{ Mpa}$$

وهي أقل مما هي عليه في محرك الشرارة بسبب ارتفاع معامل التمدد.
- شوط الطرد: $\varphi(540^\circ - 720^\circ)$ ليس له خصوصية معينة، والضغط في
النقطة r (نهاية شوط الطرد) يحسب من خلال المفاهيم الهيدروليكية في
مجرى الطرد $P_r = 0,105 - 0,12 \text{ Mpa}$

ودرجة الحرارة تكون أدنى مما هي عليه في محرك الشرارة
وذلك بسبب انخفاض درجة الحرارة في نهاية التمدد T_b .

٢. ٣ - العمليات الفعالة في المحرك ثنائي الشوط :

تحصل الدورة الحرارية الفعلية في المحرك ثنائي الأشواط خلال مسارين
للمكبس بين النقطة العليا والسفلى، وهذا ينطبق مع دورة كاملة واحدة للعمود
المرفقي .

و لا تختلف عمليات الانضغاط والاحتراق والتمدد في المحركات ثنائية
الأشواط ورباعية الأشواط مبدئياً، وتختصر خصوصية العمليات في هذين
النوعين من المحركات في الطرق المختلفة لتنظيم التبادل الغازي.

على الشكل ٦- يظهر مخطط محرك ثنائي الأشواط . وأساس بنيتة هي جملة المرفق - الذراع ١ وآلية التغذية بالهواء (الشاحن) ٢ ، وفتحات الطرد ٣ وفتحات الدخول ٤ ، ويظهر أيضاً المخطط البياني لهذا المحرك.

الشوط الأول ($\varphi = 0-180^\circ$) يتألف من العمليات التالية: $z-z'$ الجزء الأول من عملية الاحتراق، $z-I$ عملية التمدد . النقطة ١ تنطبق مع بداية فتح فتحات الطرد ٣ بواسطة المكبس . بعدها يبدأ الطرد الحر لغازات العادم . وباستمرار حركة المكبس باتجاه ن . م . س يفتح فتحات الهواء ٤ (النقطة ٢) وبعدها وقبل بلوغ ن . م . س (النقطة a) تحصل عملية التهوية عبر فتحات التهوية والطرد وتدخل الشحنة الجديدة . ويستقر الضغط في الأسطوانة بمستوى p_k الذي يولده الشاحن $p_k > p_o$.

وتستمر عملية التهوية في بداية الشوط الثاني $\varphi = 180-360^\circ$. وعند حركة المكبس إلى ن . م . ع . وحتى إغلاق فتحات الهواء بالكامل يتسرب جزء من الشحنة الموجودة أعلى المكبس (النقطة ٤) . بعدها يبدأ شوط الانضغاط $f-4$ وتعطى في نهايته (النقطة f) الحرارة الكهربائية في محرك الشرارة ، أما في محرك الديزل فتبدأ عملية حقن الوقود ويحصل الاحتراق .

والخصوصية المميزة للمحرك ثنائي الشوط هي أنه لا يستخدم كامل حجم الأسطوانة V_o في عملية التمدد ، ويسمى الجزء V_{II} منه الجزء المفقود ، ويستخدم لتنظيم عمليات التبادل الغازي .

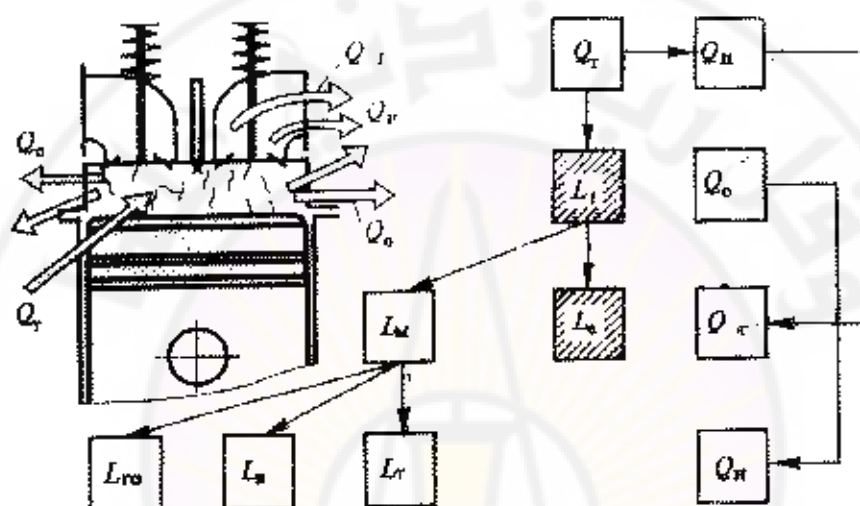
النسبة $\varphi_{II} = \frac{V_{II}}{V_o}$ تسمى نسبة الحجم الضائع (المفقود) ، $\varphi_{II} = 0.1 \dots 0.28$ ،

وتبعاً لذلك يميز في المحركات ثنائية الأشواط ما بين نسبة الانضغاط الفعلية

$$\varepsilon_{II} = \frac{V_c + V'_b}{V_c} \quad \text{والنسبة الهندسية للانضغاط} \quad \varepsilon = \frac{V_c + V'_b}{V_c} \quad \text{حيث} \quad V'_b = V_o - V_{II}$$

وهو الحجم المستخدم في الأسطوانة لعملية التمدد . ومن الواضح أن $\varepsilon > \varepsilon_{II}$.

التوازن الطاقوي يظهر على الشكل ٧- ويبين كيف تنتزع الطاقة التي يمكن أن تصدر عند الاحتراق الكامل للوقود المعطى للأسطوانة في الدورة الحرارية الواحدة.



الشكل - ٧: التوازن الطاقى للمحرك

الطاقة Q_r تنقسم إلى عمل مفيد (فعلي) W_e وإلى مفاهيم أساسية (حرارية Q_d وميكانيكية Q_m)

$$Q_p = I_{\text{sc}} + Q_N + Q_M$$

إذا أعطي للأسطوانة في دورة حرارية واحدة مقدار G_c من الوقود فإن:

$$Q_T = G_c H_u$$

حيث H_0 - الحرارة النوعية الدنيا للاحتراق.

هنا يذهب جزء من Q_1 للحصول على العمل البياني β_1 وهو عبارة عن العمل

الناجم عن شوط الانضغاط والتمدد، شكل ٨-.

$$L_i = L_p - I_c /$$

طبقاً لذلك يظهر L_i على المخطط البياني بالمساحة المهدشة.

عملياً لا يستخدم العمل البياني كعامل جودة الدورة الحرارية، وهو العمل الذي تحدده جودة تنظيم العمليات الفعلية ومقاييس المحرك بل يستخدم العامل النوعي P_i وهو عبارة عن العمل البياني، للدورة نسبة لوادة الحجم $P_i = \frac{L_i}{V_h}$

ويسمى الضغط الوسطي البياني وله واحدة قياس الضغط.

واققتصادية الدورة الفعلية يقدرها المردود البياني الذي يبين النسبة من الحرارة المدخلة في الدورة (مع الوفود Q_r) التي تتحول إلى عمل ميكانيكي

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q_r}$$

وهذا المؤشر يبين مستوى المفاوئد الحرارية في المحرك باعتبار أن

$$I_c = Q_r - Q_{ii} \text{ يصبح:}$$

$$\eta_i = 1 - \frac{Q_{ii} + Q_r + Q_{ii}}{Q_r} \text{ أو } \eta_i = 1 - \frac{Q_{ii}}{Q_r}$$

وبذلك فإن زيادة كل نوع من الضياعات الحرارية كما لو أنه فقدان بطريقة

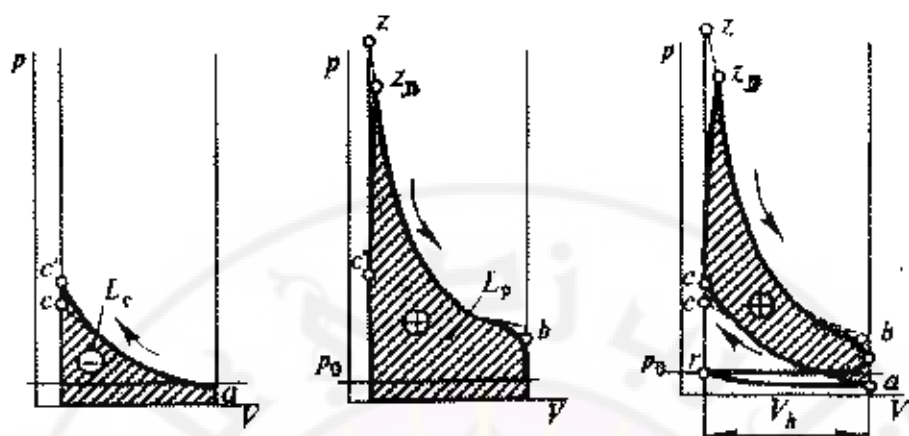
الانتقال الحراري بين الشحنة والجوانب المحيطة بالأسطوانة من الداخل.

Q_v - فقدان في الوسط المحيط وفي نظام التبريد أساساً.

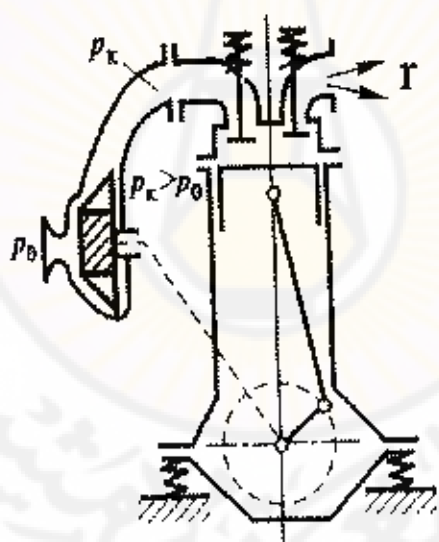
Q_c - فقدان مع الغازات العادمة.

Q_{ii} - فقدان الناجم عن عدم إتمام عملية الاحتراق.

وهي جميعاً تسبب انخفاض المردود η_i .



الشكل - ٨ : شوط الاضغاط والتمدد



الشكل - ٩

العمل البياني الحاصل خلال وحدة الزمن يسمى الاستطاعة البيانية:

$$N_i = \frac{L_i}{\tau_c}$$

- τ_c زمن حصول الدورة الحرارية الواحدة.

إذا كان عدد دوران عمود المرفق n في الدقيقة فإن القيمة العكسية $\frac{1}{n}$ هو

زمن دورة واحدة بالدقيقة و $\frac{60}{n}$ بالثانية.

في هذه الحالة $\tau = 0,5 \frac{60}{n}$ حيث τ - معامل الشوط ويساوي ٢ في

المحرك ثنائي الشوط و ٤ في المحرك رباعي الشوط.

وإذا اعتبرنا $P_i = \frac{L_i}{V_h}$ وعدد أسطوانات المحرك i فإن الاستطاعة

$N_i (k.w)$ تساوي:

$$N_i = \frac{P_i . n . i . V_h}{30 \tau} \quad (1)$$

ولتقدير اقتصادية المحرك يستخدم عامل يسمى الاستهلاك النوعي البياني

للقود g_i الذي يبين استهلاك الوقود اللازم لإنتاج (توليد) واحدة العمل

البياني:

$$g_i = \frac{G_c}{L_i} \quad (2)$$

ونقاس g_i بـ $g / k.w.h$ لذلك في معادلة (٢) يعطى استهلاك الوقود

kg/h والعمل بـ $k.w.T$ ونتيجة لذلك يكون :

$$g_i = \frac{G_c}{N_i} . 10^3$$

و يصرف العمل البياني جزئياً للتغلب على الحمولة الخارجية (في وسائط

النقل ينقل إلى جملة نقل الحركة) حيث ينجز عملاً مفيداً L_{in} و يصرف

لموازنة الضياعات داخل المحرك (الميكانيكية أو الضياعات الداخلية) L_{mn}

التي تضم فقدان العمل على الاحتكاك L_f وإجراء عملية التبادل الغازي L_v وتشغيل التجهيزات والآلات المساعدة L_g (مضخات الماء، الزيت، الوقود، وغيرها).

ويقدر مستوى الضياعات الميكانيكية في المحرك بمعامل المردود الميكانيكي η_M وهو يساوي:

$$\eta_M = \frac{L_e}{L_f}$$

وهو يبين نسبة العمل البياني المتحول إلى عمل فعلي مفيد.

$$\eta_M = 1 - \frac{L_{Mn}}{L_f} \quad \text{بما أن } L_e = L_f - L_{Mn}$$

ويقدر مجموع الضياعات في المحرك بمعامل المردود الفعلي الذي يبين نسبة الحرارة التي تتحول إلى عمل فعلي مفيد من حرارة الوقود .

$$\eta_e = \frac{L_e}{Q_i} = \frac{L_f \cdot \eta_M}{Q_i} = \eta_i \cdot \eta_M \quad (3)$$

$$N_e = \frac{P_e \cdot n \cdot i V_h}{30 \tau} \quad (4)$$

$$\text{حيث } P_e = \frac{L_e}{V_h} \text{ الضغط الوسطي الفعلي.}$$

والعزم الفعلي للمحرك M_k يتناسب طردياً مع P_e أي أن:

$$M_k = \frac{P_e \cdot i \cdot V_h}{\pi \cdot \tau} = K P_e$$

والعامل الشامل الذي يقدر اقتصادية عمل المحرك هو الاستهلاك النوعي الفعلي للمحرك من الوقود g_e وهو يبين كمية الوقود المستهلكة لإنتاج واحدة من العمل المفيد .

$$g_e = \frac{G_r}{N_i} \cdot 10^3 \quad (5)$$

هذا وترتبط العوامل البيانية والفعلية للمحرك فيما بينها بمعامل المردود الميكانيكي:

$$\eta_M = \frac{L_e}{L_i} = \frac{N_e}{N_i} = \frac{P_e}{P_i} = \frac{g_i}{g_e}$$

وتظهر قيم العوامل البيانية والفعلية للمحركات الحديثة على وسائط النقل في الجداول ١٠٤ ، ٢٠٤ ، ٢٠٥ .

٥.٢ - الاستطاعة النوعية (الليترية) وسبل تقوية المحركات :

الاستطاعة الليترية هي الاستطاعة الاسمية الفعلية نسبة لواحدة الحجم في المحرك.

$$N_\ell = \frac{N_e}{iV_h} = \frac{P_e \cdot n}{30 \tau} \quad (6)$$

وكما ازدادت الاستطاعة الليترية انخفض الحجم الفعال، وتبعاً لذلك تنخفض أبعاد المحرك وكتلته عند الاستطاعة ذاتها.

واستناداً إلى الاستطاعة الليترية للمحركات تقدر درجة التقوية فيها.

وتسمى المحركات ذات الاستطاعة الليترية المرتفعة N_ℓ محركات مقوات.

وتسمى مجموعة الوسائل التقنية المؤدية إلى زيادة الاستطاعة الليترية

وسائل التقوية والطرق الممكنة لتقوية المحركات تنحدر من المعادلة (6) حيث

تزداد الاستطاعة الليترية N_ℓ بزيادة الدوران الاسمي n والضغط الوسطي

الفعلي P_e أو باستخدام الدورة الحرارية ثنائية الأوساط.

وتستخدم طريقة زيادة الاستطاعة N_ℓ بزيادة عدد الدورات بكثرة في

محركات الشرارة الكهربائية، ويبلغ عدد الدورات في المحركات العصرية

ذات الشرارة حوالي ٢٥٠٠ د/د أو أكثر.

وتمتلك محركات الديزل في السيارة الشاحنة دوراناً اسمياً لايزيد عن ٢٦٠٠ د / دقيقة ولهذا السبب فإن الاستطاعة N_p في محركات الديزل غير المشحونة تقع في مجال ١٢ - ١٥ كيلووات / ليتر . وهي تقل كثيراً عن مثيلتها في محركات الشرارة الكهربائية التي تساوي N_p من ٢٠ - ٥٠ ك . وات /ل. وقد تم التغلب في الوقت الحالي في بعض تصاميم محركات الديزل لدى السيارات الخفيفة، على الصعوبات المتعلقة بعملية التقوية بعامل الدوران، وتزداد أعداد الديزل ذات الدوران الاسمي من $4500 - 5500$ د/د والاستطاعة الليترية حتى 30 كيلووات / ليتر . أو أكثر.

ومما ينتج عن المعادلة (6) عند الانتقال من الدورة الحرارية رباعية الأشواط إلى الدورة الحرارية ثنائية الأشواط، وجوب أن تزداد الاستطاعة N_p بمقدار مرتين.

وفي الواقع N_p تزداد فقط بحدود ١,٥ - ١,٧ مرة وذلك بسبب استخدام جزء من مسارات المكبس في تنظيم عملية التبادل الغازي، وانخفاض جودة عملية تنظيف الأسطوانات من الغازات العادمة وعملية امتلائها بالشحنة الجديدة، وأيضاً بسبب المفاقد الإضافية في عملية شحن هواء التغذية.

والاستطاعة الليترية المرتفعة (٥٠ - ٧٠) % هي ميزة هامة للمحرك ثنائي الأشواط. ولكن عدم الاستفادة التامة من الحجم الفعال للأسطوانة لإنتاج العمل البياني يؤدي إلى أن المحركات ثنائية الأشواط هي ذات عوامل نوعية أقل جودة مما هي عليه في المحركات رباعية الأشواط.

ومن عيوب المحركات ثنائية الشوط : الحمولة الحرارية مرتفعة نسبياً لمجموعة المكبس والأسطوانة بسبب قصر فترة جريان عملية التبادل الغازي. ولذلك ينخفض معدل الانتقال الحراري من العناصر المكونة لحجرة الاحتراق،

وزيادة الانتقال الحراري إليها في وحدة الزمن، ويفسر ذلك بانخفاض فترة تسلسل عملية الاحتراق بمقدار الضعف.

ومن عيوب المحرك ثنائي الشواط العامل بالشرارة فقدان جزء من المزيج في عملية تهوية الأسطوانة مما يسبب انخفاض اقتصادية عمل هذا المحرك. ومن التدابير الخاصة المتبعة لزيادة الاستطاعة N_e تقوية المحركات بزيادة الضغط الوسطي الفعلي P_e .

ويمكن عملياً زيادة P_e بزيادة الطاقة الحرارية في الدورة، وذلك بزيادة كمية الوقود المعطاة التي تتطلب بحد ذاتها كمية أكبر من الهواء للوصول إلى الاحتراق التام للوقود.

ويحصل ذلك عملياً بزيادة كمية الشحنة المعطاة للأسطوانة، وذلك بزيادة الضغط وهذه الوسيلة تسمى شحن المحرك وعندها يزداد P_e طردياً مع زيادة كثافة الشحنة الجديدة.

يظهر على الشكل ٩- مخطط محرك مشحون، وآلية ميكانيكية للشحن من العمود المرفقي.

ومن سلبيات هذه الطريقة هي الشحن انخفاض اقتصادية المحرك، بسبب فقدان طاقة ضرورية لتشغيل ضاغط الهواء.

وتعد طريقة الشحن التوربينية التي تظهر على الشكل ١٠- أكثر انتشاراً على المحركات الكهينة وتشغيل الضاغط المركزي ١ تستخدم طاقة الغازات العادمة، التي تتصلب منها الطاقة في دولاب التوربين ٢. الذي يجمع في مجموعة واحدة مع دولاب الضاغط وتسمى المجموعة "الشاحن التوربيني".

وبما أن الشاحن التوربيني لا يرتبط بالمحرك بوصلة ميكانيكية يمكن أن يؤثر قليلاً على أداء المحرك بسبب عطالة دولاب الشاحن، وأيضاً عند انخفاض طاقة غازات العادم في حالة الحمل المنخفضة، مما قد لا يؤمن

الشحنة المطلوبة في الأسطوانة ولاسيما في بداية عملية التسارع . وللتغلب على هذه الصعوبات تستخدم أحياناً نظم الشحن المختلطة التي تستخدم الآلية الميكانيكية والتوربينية.

عند الشحن الديناميكي وزيادة كثافة الشحنة الجديدة يستفاد من الظاهرة الاهتزازية في مجاري التبادل الغازي (نبضية جسم التشغيل في مجرى السحب والطرْد) التي تتسبب نتيجة التسلسل الدوري لهذه العمليات في الأسطوانة.

وإذا أعطي لمجرى الدخول (السحب) عوامل تصميمية (أساساً طول ومساحة مقطع الجريان) فلكي يتكون حول صمام السحب وقبل إغلاقه موجة ضغط ، فإن كتلة الشحنة الواردة إلى الأسطوانة تزداد. ويمكن الحصول على عملية مشابهة بتنظيم مجرى الطرد بحيث يتكون في نهاية شوط الطرد وبالقرب من صمام الطرد موجة تخلخل . ونتيجة ذلك تتحسن عملية تنظيف الأسطوانة وتدخل إليها شحنة جديدة أكبر.

عند الاختيار الصحيح للعوامل الهندسية لنظام التبادل الغازي في بعض الحالات بواسطة الشحن الديناميكي يمكن زيادة الاستطاعة الفعلية للمحرك بحدود ٥ - ١٠ % .

وعند استخدام الشحن تزداد الحمولة الحرارية الميكانيكية للأجزاء المحيطة بحجرة الاحتراق، وهذا عامل يعرقل إمكانية كثافة الشحنة الجديدة . لذلك عند تصميم المحركات المشحونة وعند اختيار الضغط على مخرج دولا ب الضغط P_k من الضروري العناية بالنتائج المتوقعة جراء زيادة الحمل الحراري والميكانيكي في هذه العناصر.

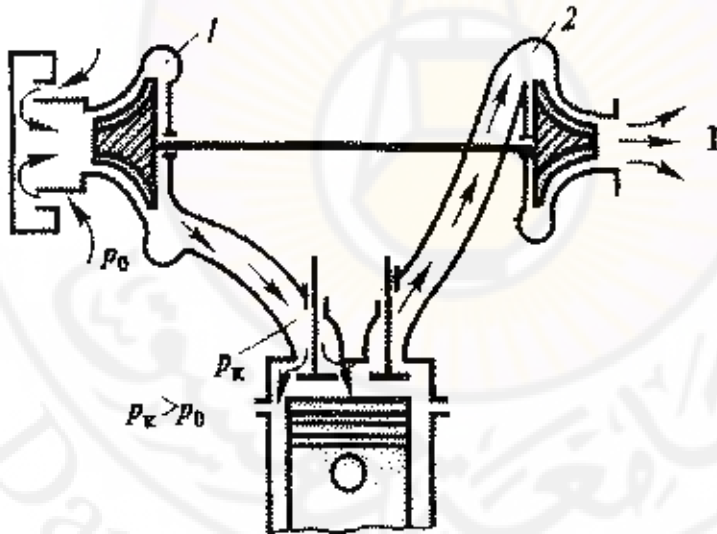
وتبعاً للضغط المتولد على مدخل أسطوانة الديزل P_k (أو نسبة زيادة

$$\text{الضغط} \left(\eta_k = \frac{P_k}{P_0} \right).$$

تصنف عملية الشحن إلى منخفضة $\pi_k < 1,5$ ووسطية $1,5 - 2,0$ ومرتفعة

$$\pi_k > 2$$

عندئذ ترتفع الاستطاعة الفعلية للمحرك على التسلسل بمقدار ٢٠ - ٣٠ % ، ٤٠ - ٥٠ % ، أكثر من ٥٠ % . ويتطلب استخدام نظام الشحن في محركات الشرارة الكهربائية اتخاذ تدابير خاصة لمنع حدوث خلل يعيق عملية الاحتراق المسماة (الصفع) . هذه الظاهرة ، وأيضاً ظاهرة الارتفاع الكبيرة للحمل الحراري على شفرات دولاب التوربين الناجم عن الحرارة المرتفعة لغازات العادم يؤثر بشكل ملموس ويولد صعوبات عملية أمام استخدام شحن الهواء على المحركات ذات الإشعال الكهربائي .



الشكل - ١٠

٢-٦ عوامل الحمولة (الإجهاد) ومؤشرات الكتلة والأبعاد والعوامل البيئية:

لتقدير جودة عمل وتصميم المحركات، تستخدم منظومة عوامل تميز الخصائص المختلفة للمحرك ونوعيته.

سابقاً تم تحليل ودراسة العوامل العائدة للمواصفات الاقتصادية ومواصفات القدرة (η_e, P_e, g_e) التي تبين جودة جريان العمليات المختلفة وعملية التصميم من وجهة نظر اقتصادية (g_i, η_i) وجودة الأداء P_i ودرجة الضياع في الطاقة للاحتياجات الخاصة في المحرك η_M, P_M .

والعوامل ذات القيمة المرتفعة في تقدير الوثوقية والعمر الفني للمحركات هي العوامل التي تدل على الحمل الحراري والجهد الديناميكي فسي تصميم وبنية المحركات. وأهم العوامل هو سرعة المكبس الوسطية م/ ثانية:

$$C_n = \frac{S.n}{30}$$

حيث S - مسار المكبس / متر. n - عدد دورات أو زمن عمود المرفق في الدقيقة.

هذا المعامل يقدر الجهد الميكانيكي لأنه يحدد مستوى تحميل أجزاء المحرك بقوى العطالة التي تتناسب مع C_n^2 ويدل بشكل غير مباشر على تآكل الأجزاء المحتكة، والعامل الذي يحدد الجهد العام (الحراري والميكانيكي) هو الاستطاعة المكبسية (كيلووات / د.م^٣) الذي يبين الاستطاعة الفعلية منسوبة على واحدة المساحة لجميع المكابس.

$$N_n = \frac{N_e}{i.F_n}$$

هذا العامل مرتبط مباشرة بالاستطاعة الليترية للمحرك $N_n = N_e . S$

$$\text{لأن: } i.F_n = \frac{i.V_n}{S}$$

وبوضع المعادلة (6) في هذه العلاقة نحصل على :

$$N_g = \frac{P_e C_n}{\tau}$$

هنا P_e يدل على الحمل الحراري والميكانيكي و C_n - يدل على الحمل الديناميكي لتصاميم المحرك. يدخل في مجموعة عوامل الكتلة والأبعاد : الكتلة النوعية (كغ / ك . وات) . وهي كتلة المحرك الجاف M_D منسوبة إلى

$$g_N = \frac{M_D}{N_e} \text{ الاستطاعة الفعلية الاسمية}$$

$$\text{والكتلة الليترية (كغ / ليتر) وتساوي } g_t = \frac{M_D}{i.V_h}$$

$$\text{هذه العوامل مرتبطة ببعضها عبر الاستطاعة الليترية } g_N = \frac{g_t}{N_e}$$

وعندما يتساوى الحجم الفعال تكون g_t في الديزل أكبر مما هي عليه في محرك الشرارة الكهربائية بسبب زيادة كتل الأجزاء المختلفة الناجمة عن الجهد المرتفع حرارياً وميكانيكياً وديناميكياً.

وبما أن محركات الديزل غير المشحونة تمتلك N_e أقل نسبياً ، فهي تتميز بعوامل الكتلة النوعية الكبيرة بالمقارنة مع محركات الشرارة الكهربائية.

ويظهر في الجدول التالي (١) القيم المختلفة للعوامل والمؤشرات الحرارية والميكانيكية والديناميكية في أجزاء المحركات المستثمرة في وسائط النقل.

جدول (١):

نوع المحرك	C_n م/ثا	N_{II} ك. وات/م ^٢	g_t كغ/ليتر	g_N كغ / ك . وات
محرك بالشرارة الكهربائية	٨ - ١٦	٢٢ - ٤١	٥٠ - ١٢٠	١,٤ - ٧

محرك ديزل (غير مشحون)	١٢-٦	١٩-١١	١٥٠-٣٠	١٠-٢,٨
-----------------------	------	-------	--------	--------

وفي محركات الديزل المشحونة تختلف هذه العوامل بشكل كبير تبعاً لـ π_k ويمكن تقديرها بصورة تقريبية بالعلاقات التجريبية :

عندما تكون $1,5 < \pi_k < 2,5$ تكون :

$$g_{N(i)} \approx \frac{g_N}{\pi_k - 0,5} , \quad g_{t(i)} \approx \frac{g_t}{\pi_k - 0,5}$$

هنا العوامل بالرمز (i) تعود إلى المحركات المشحونة. وللعوامل البيئية واقع مميز في منظومة عوامل ومؤشرات المحركات، وهي التي تبين وجود غازات سامة في الغاز العادم (Co) و (CH) ، (No) وهباب الفحم وكذلك الإشعاعات الصوتية في الجو المحيط . وتتم مراقبة العوامل البيئية عبر المواصفات المحلية والدولية بدقة عالية.

٧.٢- مفاهيم الخصائص والنظم الاستثمارية لأداء المحركات:

تستثمر المحركات في وسائط النقل في ظروف تتغير فيها نظم العمل (السرعة، الحمولة) في مجالات واسعة، ولتقدير جودة أداء المحركات عند عملها على النظم المختلفة وبالعوامل المعيارية المختلفة يتم الاستناد إلى خصائص المحركات.

خصائص المحركات تسمى العلاقة (البيانية) الشكلية بين مؤشرات المحرك ونظام عمله، أو بين العوامل المرتبطة بعملية التحكم بالنظم الأساسية في المحرك.

تحدد نظم عمل المحرك الحمولة (N_e, P_e) وزمن الدورات في وحدة الزمن:

- الخصائص التي تعطي العلاقة بين مؤشرات العمل وزمن الدورات عند ثبات وضعية تجهيزات القيادة (صمام التحكم - الجريدة المسننة) تسمى خصائص السرعة (منحنيات السرعة).

إذا كانت تجهيزات القيادة تنطبق مع كمية الوقود العظمى (المزيج) تسمى الخصائص خارجية (حدية).

الخصائص (المنحنيات) الحاصلة عند عمل المحرك في موضع معين ثابت لتجهيزات القيادة تسمى خصائص السرعات الجزئية.

خاصية السرعة الخارجية للمحرك تسمح بتحديد مؤشرات الاستطاعة الحدية (النهائية) وتقدير درجة الاقتصادية على الحمولات الكاملة، هذه الخاصية تزود بها محركات وسائل النقل.

- خصائص (منحنيات) الحمولة تسمى علاقة مؤشرات المحركات بـ P_e (أو N_e) عند ثبات عدد الدوران. وبواسطتها تحدد الاستطاعة الحدية لعدد الدوران المحدد، وتقدر اقتصادية عمل المحركات عند الحمولات المختلفة.

- إضافة إلى هذه الخصائص تستخدم للمحركات المكبسية عملياً الخصائص المعيارية (خصائص التحكم) التي تعطي العلاقة بين مؤشرات العمل وعامل التحكم (مثال: معامل فائض الهواء، زاوية تسبيق الإشعال، زاوية تسبيق الحقن وغيرها) عند ثبات عدد الدوران. هذه الخصائص تستخدم لتحديد العوامل المثالية لعمل نظم الوقود والإشعال.

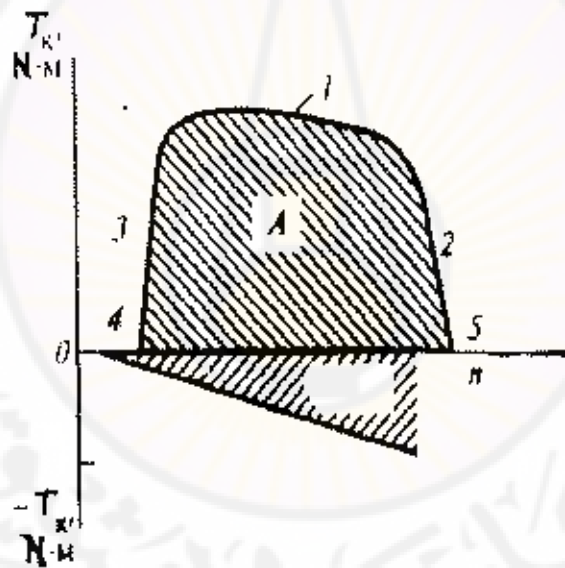
على الشكل - ١١ تظهر نظم عمل محرك السيارة (نظم الحمولة، نظم السرعات).

في أعلى المحاور الأفقي يتوضع مجال (مساحة) نظم العمل الفعلية (A) على هذه النظم يكون عمل المحرك إيجابياً. من الأعلى، هذه المساحة يحددها منحنى عزم الدوران الأعظمي طبقاً لمنحني السرعة الحدي (I) ومن اليمين

منحني المعياري (المنظم) أو منحني انخفاض العزم عندما يزداد عدد الدوران عن الحد الأسمي (2) ومن اليسار الدوران الأدنى المستقر للحمولة المعطاة (3).

النقاط الواقعة على المحور الأفقي ($\times$) تنطبق مع الاحمل ، ابتداءً من الدوران الأدنى في نظام الاحمل، وانتهاءً بالسرعة العظمى لنظام الاحمل (5) أو الدوران الأعظمي عند العمل مع المنظم.

وفي أسفل الخط الأفقي توجد نظم العمل السلبية و في هذه الرقعة المحددة من الأسفل بمنحني العزم اللازم لتدوير المحرك المتوقف يعمل المحرك في نظام الكبح (نظام الاحمل القسري) أي عندما تتم فرملة السيارة بالمحرك.



الشكل - ١١ : نظم عمل محرك السيارة

في الاستثمار الفعلي كثير من محركات السيارات يعمل كثيراً من الوقت على نظم غير مستقرة (انتقالية) وعندها تتغير مؤشرات المحرك وحالته

الحرارية نسبة للزمن.

ويحدث ذلك عند تسارع أو كبح وسيلة النقل بالمحرك، عند تغير الحمولة وعدد الدوران وغيرها. ونسبة النظم الانتقالية تختلف باختلاف ظروف الاستثمار .

وعند العمل على النظم الانتقالية تختلف مؤشرات العمل عن مثيلاتها عن القيم الناتجة في النظم المستقرة.

ولذلك تعد دراسة عمل المحرك على نظم السرعة ونظم الحمولة غير كافية وغير مطابقة لظروف الاستثمار.

ومن أجل وسيلة نقل معينة تستخدم هذا المحرك يميزها مجموعة نظم عمل معينة كالمحركات التي تستخدم على السيارات التي تقوم بنقل حمولات خاصة بالمدن مثلاً ، يميز عمل فترات العمل الطويلة نسبياً على التسارع ، الكبح بواسطة المحركات نظام اللاحمل والنظم الانتقالية. ويميز عمل محركات السيارات المستثمرة للحمولات والنقل بين المدن الطويل نسبياً على النظم المستقرة، القربية من نظام السرعة الحدية.

الفصل الثاني

الوقود ومركب التشغيل

في المحركات المكبسية

١. الوقود وخصائصها:

١.١ - الطبيعة العامة للوقود في المحركات المكبسية:

الوقود الأحفوري العضوي هو الآن ولفترة طويلة مستقبلاً المصدر الأساسي للقدرة لمحركات وسائط النقل . والوقود التجاري للمحركات المكبسية حالياً هو البنزين ووقود الديزل والغاز الطبيعي المضغوط والمسيّل. ومستقبلاً هو الوقود الصناعي المستخرج من الفحم والغاز، والمكثفات الغازية والهيدروجين. والإضافات المستعملة للوقود النفطي هي الكحول، الأثير، وبعض الزيوت النباتية (بعد معالجتها).

وقود البنزين وزيت الديزل ينتج بمعالجة النفط وتكريره، وهذا الوقود خليط من الهيدروكربونات البارافينية المشبعة (الألكانات) $C_n H_{2n+2}$ ، والأوليفينات (الألكينات) $C_n H_{2n}$ (تتواجد عادة في الوقود بكمية محدودة)، والنفثات (الألكانات الحلقية) $C_n H_n$ ولها روابط كيميائية مختلفة بين ذرات الفحم، الهيدروكربونات العطرية ($C_n H_{2n-6}$) أساساً التي تميزها البنية الجزيئية الحلقية.

وللحصول على مؤشرات استطاعة عالية واقتصادية، وإصدارات منخفضة من الغازات السامة في الغازات العادمة يجب أن يمتاز الوقود بمايلي:

- القيم المثالية للكثافة ، اللزوجة ، الانضغاطية ، الانسيابية (عند الحرارة

المنخفضة) وغيرها من الصفات الأخرى التي تؤمن الإمداد الموثوق بالوقود، والمزج الجيد على جميع نظم عمل المحرك وفي مختلف الظروف المحيطة.

- الجودة والتنوعية البيئية العالية.

- تحقيق الإقلاع الجيد والاحتراق التام ، والحد الأدنى لتشكيل نواتج الاحتراق والصدأ والمواد الضارة الأخرى ، وامتلاكها للاستقرار الحراري، ومواصفات الغسل.

- المحافظة على مواصفاتها في أثناء التخزين والنقل ، والمحافظة على نقائها من الشوائب المعدنية والماء ومن إمكانية نشوء الحريق وغيرها.

ولمقارنة أنواع الوقود فيما بينها يوجد مفهوم الوقود الشرطي، التي تملك

$$H_u = 29,33 \text{ MJ/kg} \quad \text{القيمة الحرارية النوعية الدنيا}$$

٢.١ - بنزين السيارات:

يتألف بنزين السيارات من خليط من الهيدروكربونات التي تتراوح درجة غليانها ما بين ٣٥ - ٢٠٥ درجة وتضم أنواعاً مختلفة من البنزين.

يتراوح إنتاج البنزين (من العام ١٩٩٤ - ٢٠٠١) بين ٢٦ - ٢٨ مليون طن في العام، وتساوي نسبة البنزين اللاتيلي ٨٦ % تقريباً.

وتتراوح أكتان الأنواع المختلفة من البنزين من ٧٦ - ٩٥ وتبعاً لدرجة تبخرها يصنف البنزين إلى شتوي وصيفي.

- العدد الأكتاني : وهو الخاصية (المواصفة) الأساسية للبنزين، ويساوي عددياً النسبة المئوية الحجمية لأيزو الأكتان (١٠٠) في خليطة مع الهيتان (٠) التي لها في ظروف المحرك العياري وحيد الأسطوانة نفس الدرجة (المستوى) من مقاومة ظاهرة الصفع، التي يمتلكها البنزين التجريبي.

وفي الظروف المخبرية يحدد العدد الأكتاني على محطة مخبرية (محرك)

معيارية خاصة بطريقتين:

١- على المحرك بشروط محددة.

٢- بطريقة بحثية بشروط محددة أيضاً.

والطريقة الأولى يدل فيها عدد الأكتان على مقاومة الصفع خلال عملية استثمار السيارة في ظروف ارتفاع الحرارة ، وتدل الطريقة الأخرى على حالة الاستثمار على النظم الانتقالية للمحرك (السيارة) . والفرق بين أعداد الأكتان يسمى حساسية البنزين وتتعلق بالتركيب الكيميائي.

وتتعلق الحساسية بالتركيب الكيميائي للبنزين، وتبدل على الخصائص المتعلقة بمقاومة البنزين لظاهرة الصفع وارتباطها بنظام عمل المحرك.

وتتراوح حساسية الأنواع الحديثة من البنزين من ٨ - ١٢ واحدة.

ومتطلبات الثبات لدى البنزين أمام ظاهرة الصفع مرتبطة بالعوامل التصميمية للمحرك، ومنها نسبة الانضغاط ، وقطر الأسطوانة.

وتوجد علاقة تجريبية تقريبية بين الدرجة العليا للحساسية التي تؤمن العمل من دون وجود ظاهرة الصفع ونسبة الانضغاط ϵ ، قطر الأسطوانة D (مم).

$$O.H^{max} = 125,4 - \frac{413}{\epsilon} + 0,183 D$$

تتعلق مقاومة البنزين لظاهرة الصفع بالتركيب الهيدروكربوني له، وتتميز الهيدروكربونات العطرية بالثبات الأعلى أمام الظاهرة، والهيدروكربونات البارافينية بالثبات الأدنى.

وعند إنتاج البنزين عالي الأكتان تستخدم المركبات التي تحتوي على نسبة عالية من مركب الأكتان (الكيل - بنزين - إيزو أكتان - إيزو بنتان وغيرها) والمركبات التي تحتوي على الأكسجين : ميتل - تريبت - بوتيل الأثير وخليطة مع تريبت - البوتانول وغيرها.

وتستخدم أيضاً إضافات مقاومة للصفع: سائل إيتلي، كربونات معدنية،

الكيل الهالوجينات وغيرها.

- السائل الإيتلي (تترا - إيتل - الرصاص + مركبات البروم العضوية)
والمواد الناتجة أكسدتها هي مواد عالية السمية.

والبنزين الإيتلي يجب صباغته (باللون الأصفر - A76) أو باللون
الأحمر البرتقالي A92 (وقد تم منح هذا النوع من البنزين).

وابتداء من العام ٢٠٠٠ سمح بإنتاج البنزين اللايتلي فقط (لايسمح
باحتواء الرصاص بنسبة تزيد عن ٠,٠١ % غ / د م^٣ ونسبة البنزول
الحجمية حتى ٥% ونسبة الكبريت الكتلية ٠,٠٥ %

وتقسم مواصفات الوقود عمودياً إلى نوعين:

- الفيزيا - كيميائية.

- الاستثمارية.

المواصفات الفيزيا-كيميائية : وهي تبين طبيعة حالة الوقود وتركيبه
(الكثافة، اللزوجة، التوتر السطحي، التركيب الكيميائي).

المواصفات الاستثمارية: وهي المواصفات التي تؤمن وثوقية العمل
والمؤشرات الطاقية، والاقتصادية، والبيئية للمحركات (التبخر، مقاومة الصفع،
الخصائص الحرارية المنخفضة ودرجة الاشتعال، وغيرها).

ومن أهم مواصفات الوقود الرئيسية (حرارة الاحتراق) وتقدر نسبة لوحد
كغ من الوقود السائل أو لوحد م^٣ من الوقود الغازي عند الظروف الفيزيائية
العادية.

القيمة الحرارية الأكبر تعود للهيدروكربونات البارافينية والقيمة الأدنى -
للبارافينات، وهناك القيمة العليا H_u والدنيا H_l وتحدد حرارة الاحتراق الدنيا.
عندما يتحقق شرط الحصول على نواتج الاحتراق الكامل للوقود (H_2O, CO_2).
وإذا كان بخار الماء موجوداً بالحالة السائلة فتحدد القيمة الحرارية العليا أي

باحتساب حرارة تكاثف بخار الماء.

والقيمة الحرارية الدنيا لاحتراق الوقود السائل تحسب بالعلاقة المعروفة التالية :

$$H_u = 34,013 g_c + 125,6 g_H - 10,9 (g_o - g_s) - 2,5 (9 g_H + g_{H_2O}) \quad (2.1)$$

حيث $g_{H_2O}, g_s, g_o, g_c, g_H$ - النسب المئوية الكتلية للهيدروجين والفحم وأكسجين الوقود، والكبريت، وماء الوقود.

مع العلم أن: $g_H + g_c + g_s + g_{H_2O} + g_o = 1$

حيث أن المعاملات في المعادلة (2.1) مختارة تجريبياً.

والمقدار $9 g_H$ - يطابق نسبة بخار الماء في الغازات العادمة، وهو البخار الناتج عن احتراق الهيدروجين ونسبته في الوقود السائل هي g_H . وإذا كان تركيب الوقود يتألف فقط من الكربون والهيدروجين ($g_o + g_H = 1$) فإن:

$$H_u = 34,013 g_c + 69,09 g_H \quad MJ/kg \quad (2.2)$$

القيمة الحرارية الدنيا لاحتراق الوقود الغازي الجاف تحسب بالعلاقة التالية:

$$\begin{aligned} H_u = & 0,108 H_2 + 0,1263 CO + 0,3582 CH_4 + 0,5605 C_2H_2 + 0,6373 C_2H_6 + \\ & 0,9123 C_3H_8 + 1,1862 C_4H_{10} + 1,46 C_5H_{12} + 0,5906 C_2H_4 + 0,8598 C_3H_6 \\ & + 1,134 C_4H_8 + 1,404 C_6H_6 + 0,235 H_2S \end{aligned} \quad (2.3)$$

وتؤخذ نسب الغازات المختلفة بالنسبة المئوية الحجمية، وعند وجود بخار الماء في الوقود الغازي تصبح:

$$H'_u = \frac{H_u}{1 + \frac{d}{0.804}} \quad (2.4)$$

حيث: d - كمية البخار في الغاز الجاف بـ g/M^3 .
ومن الصفات الهامة الاستثمارية للبنزين درجة التبخر التي تحدددها الكثافة والتركيب الطوري وضغط الأبخرة المشبعة.

و يؤثر التبخر على خصائص الإقلاع عند الحرارة المنخفضة ، ودرجة الميل لتشكيل الفقاعات البخارية في نظام الوقود و سرعة تسخين المحرك وسلاسة العمل.

ومن المواصفات الاستثمارية للبنزين أيضاً الانسيابية، ودرجة الميل لتشكيل الرواسب والصدأ وغيرها.

وظهرت في الآونة الأخيرة مواصفة تصنيفية إضافية تسمح باعتمادها وهي تخفيض درجة السمية للوقود. وتحدد في بعض الدول عوامل أخرى للبنزين: نسبة العطريات ٤٢%، الألفينات ١٨%، البنزول ١%، الأكسجين 2,7%، 0,01% الكبريت.

درجة التبخر - حتى الحرارة ١٥٠ مئوية يتبخر ٧٥% من الوقود وحتى الدرجة ١٠٠ مئوية يتبخر ٤٦%.

٣.١ - وقود الديزل :

ينتج وقود الديزل لمحركات السيارات والجرارات أساساً من المجموعات (المكونات) الهيدروكربونية بطريقة التكرير المباشر للنفط ، مضافاً إليه الوقود الخفيف الناتج عن التكرير المحفز .

وقود الديزل يضم المجموعات الهيدروكربونية (الأطوار) بالنسبة الحجمية المئوية: البارافينات الطبيعية ٥ - ٣٠، وإيزو البارافينات ١٨ - ٤٦، النافتات

٢٣ - ٦٠ والعطريات ١٤ - ٣٥ . وينتج الوقود الصيفي للاستثمار في المجال الحراري للجو المحيط الذي يزيد عن الصفر ودرجة حرارة نهاية التبخر لالتزيد عن ٣٦٠ ° ، والوقود الشتوي للاستثمار في المجال الحراري للجو المحيط الذي يزيد عن الصفر . ودرجة حرارة نهاية التبخر لالتزيد عن 360° . والوقود الشتوي للاستثمار في المجال الحراري للجو المحيط من - ٢٠ ومافوق (حرارة التجمد لالتزيد عن - ٣٥) وعند الحرارة - ٣٠ ومافوق (لالتزيد حرارة التجمد عن - ٤٥) ولالتزيد حرارة نهاية التبخر عن 340° .

ويجب ألا تزيد نسبة الكبريت في وقود الديزل بنوعيه عن ٠,٢ % . ويضاف إلى الوقود المستهلك في المدن عادة بعض الإضافات: مضادات الدخان (على أساس الباريوم) .

وفي العقد الأخير ازدادت متطلبات الجودة والتنوعية بحيث لا تسمح كثير من الدول الأوروبية بزيادة نسبة الكبريت عن ٠,٠٠١ والعطريات الحلقية عن ٠,٠٢ ولالتزيد حرارة نهاية التبخر عن ٣٠٠ درجة مئوية .

ومن المواصفات الهامة لوقود الديزل : المواصفات الحرارية المنخفضة ، التبخر ، الاشتعال الذاتي ، الانسيابية .

وتقدر مواصفة الاشتعال الذاتي بعدد السيتان (رقم السيتان) ويقدر تجريبياً على محرك خاص بمقارنة الوقود المختبر مع عينة من الوقود المؤلف من خليط السيتان (C₁₆H₃₄) ويملك عدد سيتان يساوي ١٠٠ ، مع ∞ - ميتيل - النفثالين (C₁₁H₁₀) ويملك عدد سيتان يساوي الصفر . وذلك عندما تتساوى فترة تأخير الاشتعال وتكون نسبة مركب السيتان في المزيج (% الحجمية) هو العدد السيتاني للوقود المختبر .

وتوجد طريقة حسابية لتحديد رقم السيتان :

$$C.O = 454,74 - 1641,41 \rho + 774,74 \rho^2 - 0,554 t_{50} + 97,803$$

$$(\lg t_{50})^2 \quad (2.5)$$

حيث ρ - الكثافة عند الحرارة + ١٥ غ / سم^٣

t_{50} - درجة الحرارة التي يتبخر فيها نصف عينة الوقود.

$$\rho = 0,86 \text{ g / CM}^3, \quad t_{50} = 280, \quad C.O = 46,7$$

والهيدروكربونات التي تتميز بالسيتان المرتفع ، تكون ذات مقاومة دنيا لظاهرة الصفع (أكتان منخفض)

$$\text{رقم السيتان يساوي تقريباً: } C.O \approx 60 - \frac{O.K}{2}$$

رقم السيتان لخليطة من وقود الديزل والبنزين يمكن حسابه كمايلي:

$$C.O_c = C.O_b + (C.O_D - C.O_b) g_D (1 + \rho_c \cdot g_D \cdot g_b) \quad (2.6)$$

حيث: $C.O_c, \rho_c$ - رقم السيتان وكثافة الخليطة .

$C.O_b$ - رقم السيتان للبنزين.

$C.O_D$ - رقم السيتان لوقود الديزل .

g_D, g_b - النسبة المئوية الكتلية للبنزين والديزل. $g_b + g_D = 1$.

وبزيادة رقم السيتان لوقود الديزل تتحسن خصائص الإقلاع لدى المحرك.

والعدد السيتاني الأعلى تمتلكه البارافينات والعدد الأدنى تمتلكه العطريات.

وكلما ازدادت حرارة التبخر ازداد عدد السيتان. والعلاقة بينهما علاقة خطية،

ولزيادة عدد السيتان يضاف على وقود الديزل : إيزوبروبيل أو الهكسو-

نترات - الحلقى ويميز وقود الديزل الأوربي عدد السيتان الذي لا يقل عن ٤٨

واحدة.

ويميز المواصفات الحرارية المنخفضة بعض العوامل ومنها : درجة التصلب التي يبدأ خلالها الوقود بالتحول إلى هيدروكربونات صلبة ، ودرجة التجمد وهي الحرارة التي يفقد الوقود عندها الانسيابية وغيرها.

والخصائص الحرارية المنخفضة للوقود وأرقام السيتان مرتبطة فيما بينها: وكلما تحسنت المواصفات الحرارية للوقود انخفض رقم السيتان، مثال: الوقود الذي يمتلك درجة حرارة تجمد أقل من - ٤٥ يميزه عدد السيتان الذي يقارب ٤٠ واحدة.

والتبخر يقدر عبر المكونات المختلفة للوقود ونسبتها ، من الكثافة ، واللزوجة. وتتعلق اللزوجة بالتركيب الهيدروكربوني، وتتراوح ما بين ١,٨ - ٧,٠ مم^٢/ثانية. ولا تؤثر عملياً على تآكل مجموعة مكابس مضخة الوقود في المحركات سريعة الدوران، وتزداد اللزوجة بانخفاض درجة الحرارة.

ويتعلق التوتر السطحي وضغط الأبخرة المشبعة بالتركيب الهيدروكربوني للوقود وللمجموعات الطورية المؤلفة له .

وتحدد الكثافة للوقود عند الحرارة ٢٠+ درجة ولا تزيد على ٨٦٠ كغ/م^٣.

٤-١ - مصادر الوقود النفطية :

إضافة لأنواع الوقود التجارية النفطية ، يزداد استخدام أنواع جديدة من الوقود، وتسمى الوقود المستدامة (من غير المصادر النفطية) ، وتسمى أحياناً وقود المستقبل. وهي مرتبطة بزيادة كلفة استخراج النفط ونضوب مصادره، وأيضاً بزيادة المتطلبات من جودة الوقود ونوعيته. لأن تطوير العمليات فسي المحرك وتصميمه يقود إلى أن مواصفات الوقود تصبح العامل الهام لتحقيق المتطلبات القياسية المتعلقة بسمومية الغازات العادمة.

ووفقاً لكثير من التوقعات السابقة يزداد يوماً بعد يوم استثمار الوقود الغازي

والوقود المصنوع من الفحم أو من الغاز الطبيعي ، أو من إيثيرات الزيوت النباتية، والكحول وإيثراتها. وغيرها ونظراً لزيادة الكلفة الاقتصادية المرتبطة بزيادة جودة الوقود النفطي ، يتم اختيار الوقود المستقبلي تبعاً لعملية الموازنة بين تحسين الوقود وعوامله انطلاقاً من جدوى العملية الإنتاجية أو من جدوى استخدامها في المحركات ضمن المتطلبات القاسية من الوجهة البيئية .

والوقود المستقبلي اللانفطي سيكون منتجاً على أساس هيدروكربوني مصنعاً من النفط أو من الفحم أو من الغاز أو من مصادر نباتية ، وإضافة مركبات متنوعة أخرى (إيثرات، كحول، إضافات أخرى) تؤمن الجودة المطلوبة من الوقود.

1.4. الوقود الغازي:

الوقود الأساسي هو الغاز الطبيعي الذي يتألف أساساً من الهيدروكربونات البارافينية. ويختلف تركيب الغاز الطبيعي باختلاف مصادره الجغرافية.

- التركيب الغازي النقي: (CH_4 - 95% , C_2H_6 - 0,5% , C_3H_8 وغيرها - 0,5%) .

Co_2 - 1,1% , N_2 - 3% .

- المكثفات :

CH_4 ≈ 84% , C_2H_6 ≈ 4% , C_3H_8 - 5%

Co_2 ≈ 1,4% , H_2 ≈ 3% , N_2 ≈ 3%

-الغاز النفطي - (الغاز المرافق):

(CH_4 ≈ 42% , C_2H_6 ≈ 21% , C_3H_8 وغيرها - 30% , N_2 ≈ 7%) .

الغاز الطبيعي يستخدم بالشكل المضغوط وبالشكل المميع ، كما يستخدم كوقود غاز البروبان - بوتان بالشكل المميع الذي هو نتاج مرافق لعملية تكرير النفط والذي يوجد بحالة السائل في الظروف الجوية الطبيعية.

ومن أهم مواصفات الوقود الغازي:

- حرارة الاحتراق الحجمية (الدنيا) كغ جول/م^٣ ... ٣٦٠٠-٣١٨٠

- الكثافة النسبية (للهواء) ٠,٥٦ - ٠,٦٢

- عدد الأكتان لا يقل عن ١٠٥

ووفق المواصفات الاستثمارية يستطيع الوقود الغازي أن يكون بديلاً للبنزين عالي الأكتان ويساهم بشكل ملموس بتخفيض الغازات السامة في الغاز العادم. ومن سلبات الوقود الغازي: انخفاض استطاعة المحركات (في بعض الحالات)، صعوبة الإقلاع عند الحرارة المنخفضة، انخفاض القيمة الحرارية الحجمية، وانخفاض المسافات الفاصلة بين عمليات التعبئة بالوقود، وانخفاض حالة الأمان والخوف من حدوث الحرائق والانفجارات وغيرها.

وتتلاقى الغازات المنتجة بعض الاستخدام المحدود (الغاز المولد ، الغاز المصنع وغيرها) وهي الناتجة عن عمليات المعالجة للنفط والفحم وغيرها. ويعد الهيدروجين وقوداً مستقبلياً واعدأ إذ يمتلك قيمة حرارية عالية ، ودرجة احتراق عالية، ويصدر نواتج احتراق نظيفة (ماعدأ أكاسيد الأزوت). ومن المصاعب المرافقة لعملية استخدام الهيدروجين في المحركات ارتفاع الكلفة وصعوبة التخزين.

وحارة غليان الهيدروجين تساوي - ٢٥٢,٨ درجة. لذلك يستعمل الهيدروجين في وسائط النقل إما في ظروف الحرارة الطبيعية بشكل غاز مضغوط ، أو بالحالة المميعة ، أو باستخدام حامل وسيط (هيدرات معدنية الأخلط) وفيها يكون الهيدروجين مختزناً بحالة كيميائية ، وعند الضرورة يتولد بالتأثيرات (العمليات) الحرارية ، الكيميائية أو الكيمياحرارية.

٤.٢ - الوقود المصنّع:

يستخدم الوقود المصنّع بشكل نقي أو كمادة إضافية تضاف إلى الوقود

الهيدروكربوني النفطي.

وأكثر المصادر الرخيصة للحصول على الوقود المصنّع هو الفحم الحجري، الذي يعطي البنزين الصناعي أو الديزل الصناعي باستخدام طرائق تكنولوجية مختلفة.

و يتميز هذا الوقود بانخفاض نسبة الهيدروجين فيه (٩-١٢ %) وزيادة نسبة الكبريت ومركبات الآزوت، انخفاض القيمة الحرارية النوعية ، وانخفاض درجة الاستقرار الكيميائي.

ويمكن تقسيم عمليات تكرير ومعالجة الوقود الأولي والفحم الحجري في المقام الأول إلى وقود سائل إلى ثلاث مجموعات :

- تحلل الفحم حرارياً للحصول على سوائل لزجة وبقايا صلبة.
- التميع الهيدروليكي المباشر.
- تغويز الفحم ثم تحضير الغاز المصنّع بحالة سائلة.

(في العام ٢٠٠٠ تم تصنيع تقانة متقدمة للحصول على البنزين الصناعي من الغاز الطبيعي) ومن مواصفات الوقود السائل المنتج من الفحم :

$$\rho = 900 - 980 \text{ kg} / \text{M}^3 \text{ (عند الحرارة } 15^\circ \text{) ، اللزوجة}$$

$$v \approx 2,9 - 3,5 \text{ MM}^2 / \text{c} \text{ (عند الحرارة } H_v = 38,5 - 42 \text{ MJ} / \text{kg} \text{)}$$

٣.٤ - المركبات الحاوية للأكسجين :

تتلاقى المركبات التي تحتوي على الأكسجين حالياً انتشاراً واسعاً كمواد إضافية للبنزين وكمواد (مركبات) في البنزو- ميتانول ، أو في وقود الديزل (أحيانا في الوقود ذاته) وهذه : الكحول البسيطة (الميتانول، إيثانول، بروبانول) وإثيراتها (إثير - ميتل - ثلاثي - بوتيل، إثير - إيثيل - ثلاثي بوتيل، ديميتيل الإثير، الإثير - ثلاثي - الميثيل، وغيرها) وإيسرات الزيوت النباتية.

وينتشر حالياً استعمال الميتانول M-15 (١٥ % ميتانول و ٨٥ % بنزين) و M-100 (ميتانول ١٠٠ %) والإيثانول (غاز هـول - ٨٥ % إيثانول و ١٥ % بنزين) والكحول يمتلك عدد أكتان مرتفع لكن القيمة الحرارية منخفضة، فهي تسبب الصدأ ، وحرارة التبخر فيه عالية ، ومن الأفضل استعمال الكحول التجارية - الإثيرات.

ويستخدم في بعض الدول خليط من وقود الديزل مع الكحول الضعيف كوقود لمحركات الديزل.

وكإضافات إلى الديزل (أحياناً كوقود) يستخدم ديمتيل - إثير الذي يتمتع بالسيتان المرتفع ، والميل المنخفض لتوليد الدخان (بسبب احتوائه على الأكسجين) ويستخرج من الميتانول، ومن جهتها الكحول الضعيفة (الميتانول، الإيثانول) يمكن إنتاجها من الغاز الطبيعي ، والفحم والبقايا النباتية ، وغيرها ويمكن استعمال الزيوت النباتية وإثيراتها كوقود للديزل.

واستخدام الإثيرات يفضل بسبب وجود بعض المواصفات السلبية للزيوت النباتية : (عدم الاستقرار الحراري ، زيادة اللزوجة ، انخفاض القيمة الحرارية، وغيرها).

وكمركبات لوقود المحركات يمكن استخدام الوقود السائل المستخرج من الكتلة الحيوية حيث أنه من ٢,٥ كغ (كتلة حيوية) يستخرج ١ كغ من الوقود بالمواصفات التالية :

$$H_u = 17-19 MJ/kg , g_u = 0,06 , g_o = 0,44 , g_c = 0,5$$

٤.٤ - المستحلبات (ماء + وقود) :

مستحلبات الوقود مع الماء تؤمن تخفيض نسبة هباب الفحم وأكاسيد الأزوت في غاز العادم، وزيادة مردود الاستفادة من وقود الديزل.

ويمكن تقسيم مستحلبات الوقود مع الماء إلى نوعين : (الماء في الوقود)

و(الوقود في الماء).

ويستعمل عادة مستحلب الماء في الوقود، وعندما يكون الماء هو الطور الداخلي يؤلف من ١٠ - ٤٠ % حجماً في المستحلب. والماء فيها عبارة عن قطرات كروية منتظمة بقياس ٢ - ٥ ميكرون، والصفات المميزة لعملية احتراق مستحلب الماء في الوقود هي تخفيض حرارة الشعلة وإتمام الاحتراق، مما يؤدي إلى تحسين عملية مزج الوقود بالهواء بظهور انفجارات ميكروية لقطرات الماء. ويرتبط ظهور هذه الانفجارات الميكروية بالفروق بدرجات حرارة تبخر الماء ووقود الديزل.

ويحدث انخفاض لنسبة أكاسيد الأزوت في الغاز العادم نتيجة انخفاض درجة حرارة الاحتراق أولاً، ومن سلبية مستحلب الماء في الوقود هو عدم إمكانية استخدامها عند الحرارة المنخفضة، وميلها للتفكك عند التخزين، وزيادة فترة تأخير الاشتعال وغيرها.

ويرتبط عملية استخدام مستحلب الماء في الوقود بعوامل عديدة منها: درجة الاستقرار والثبات، وجودة الإقلاع في الظروف الاستثمارية المختلفة وغيرها.

٢- تفاعلات الاحتراق ونواتجه :

يحدث احتراق المزيج في المحركات المكبسية عند أكسدة الوقود مع أوكسجين الهواء. والنسبة بين كمية المواد الأولية (الوقود + الهواء) ، ونواتج الاحتراق يمكن معرفتها من معادلات التفاعل الكيميائي، ويمكن اعتبار كتل المواد الأولية ونواتج الاحتراق متساوية، غير أن حجم نواتج الاحتراق عموماً لا يساوي حجم المواد الأولية.

ويرافق التفاعلات الكيميائية إعادة تركيب الغلاف الإلكتروني للمواد المشاركة في التفاعل، ونتيجة لذلك تتشكل روابط جزيئية داخلية تقوم بتغيير القوى المؤثرة بين الجزيئات.

وجزاء من الطاقة الداخلية لعملية التفاعل والتي تتحول إلى حرارة وعمل عند جريان التفاعل الكيميائي فقط تسمى الطاقة الكيميائية. وإذا انخفضت الطاقة الكيميائية عند التفاعل، وإذا انتقلت إلى الجو المحيط بشكل حرارة فإن التفاعلات تسمى إكزو حرارية.

وجميع تفاعلات الأكسدة للوقود مع الهواء هي إكزوحرارية ، وتجري بزيادة حادة للحرارة، وتشكل اللهب ، ولحساب الرياضي لعملية الأكسدة يجب معرفة التركيب العنصري للمستحلب أي تركيب الوقود ونسبة الأكسجين في الهواء.

1.2 - التركيب العنصري لمزيج الوقود في الهواء:

التركيب العنصري للوقود السائل: الوقود النفطي للمحركات معروفة بتركيبه الهيدروكربوني الذي يتعلق بنوع النفط الأولي وبطريقة التكرير التكنولوجية. وبزيادة الكتلة الجزيئية للوقود يمكن أن تظهر فيها كمية من المركبات الكبريتية والآزوتية والمركبات الأخرى نصف السائلة والمعادن الثقيلة وغيرها. وعند حساب عملية الاحتراق يهمل وجود هذه المواد والشوائب في البنزين ووقود الديزل ويعطى التركيب العنصري لوقود المحركات بالنسب الكتلية للكربون g_c والهيدروجين g_H بحيث $g_c + g_H = 1$. وعند استخدام الوقود الذي يضم الأكسجين ، يحتسب أكسجين الوقود g_{O_2} .

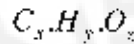
$$g_c + g_H + g_{O_2} = 1$$

لزيادة أكتان البنزين تتم زيادة الهيدروكربونات العطرية ، وبزيادة رقم الأكتان تنخفض نسبة الهيدروجين g_H وزيادة كثافة الوقود ρ (تستخدم أحياناً الكثافة النسبية ρ_4^{15}, ρ_4^{20}).

وفي وقود الديزل تترافق المواصفات الحرارية المنخفضة مع وجود البارافينات.

- تركيب الوقود الغازي ومركباتها :

إذا كان الوقود مؤلفاً من مزيج له تركيب معروف (العلاقة الكيميائية للمركبات معروفة ، ومحتواها كـالغاز الطبيعي) أو المركبات الخاصة ببينة معروفة (الكحول، الإثيرات وغيرها) فإن التركيب العنصري لهذا الوقود يعطى بصورة المعادلة الكيميائية التالية :



الوقود الغازي عبارة عن مزيج من الهيدروكربونات (مركبات الاحتراق) ومركبات غير محترقة وهي الأزوت. ويكون تركيب الوقود الغازي:

$$\sum (C_x.H_y.O_z)_i + r_N = 1 \quad (2.8)$$

حيث:

$(C_x.H_y.O_z)_i - r_i$ النسبة الجزيئية (الحجمية) للهيدروكربونات i
 r_N - النسبة الجزيئية للأزوت في الوقود.
 الكتلة الجزيئية لهذا الوقود μ_T تساوي:

$$\mu_T = \sum \mu_i (C_x.H_y.O_z)_i + 28.r_N \quad (2.9)$$

حيث μ_i - الكتلة الجزيئية للهيدروكربون i ذي الكتلة الجزيئية $(C_x.H_y.O_z)_i$.
 - تركيب الهواء:

تركيب الهواء الجاف يساوي بالنسب الحجمية مايلي:

الأزوت = ۷۸,۰۸ والأكسجين = ۲۰,۹۵ والغازات النادرة المفيدة = ۰,۹۴
 ديو أكسيد الكربون = ۰,۰۳ .

الكتلة الجزيئية $\mu = 28,95 \text{ kg / k.Mol}$ الكثافة عند الظروف الطبيعية العادية

$\rho_o = 1,2928 \text{ kg / M}^3$ وفي الحسابات نعتمد التركيب التالي للهواء:

$$g_{N_2} = 0,768 \quad , \quad g_{O_2} = 0,232 \quad , \quad r_{N_2} = 0,790 \quad , \quad r_{O_2} = 0,21$$

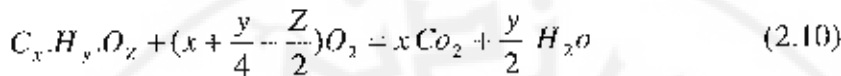
(بسبب ضالة المركبات الأخرى).

- الأكسدة التامة (الاحتراق) للوقود:

عند الاحتراق التام لجزيئة الوقود $C_x.H_y.O_z$ تتأكسد حتى تحصل النواتج

النهائية : ثاني أكسيد الكربون CO_2 وبخار الماء H_2O .

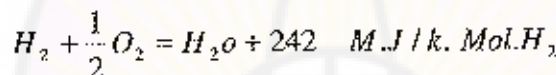
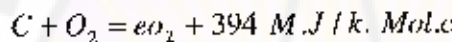
ومعادلة الأكسدة هي :



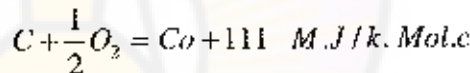
X - ذرات الكربون في ك .مول من الوقود تعطي X . Mol CO_2

و y ذرات الهيدروجين تعطي $\frac{y}{2}$ ك . مول من بخار الماء

والحرارة الناتجة عن التفاعلات التالية :

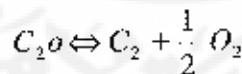
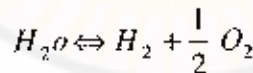


وعندما يتأكسد الكربون إلى أول أكسيد الكربون:



وعند الحرارة العالية المطابقة لنهاية الاحتراق يحدث تفكك للنواتج

الاحتراق:



وأيضاً الغازات N_2 , O_2 , H_2 .

تحدث هذه العمليات باستهلاك الحرارة وتتنخفض بذلك كمية الحرارة في

الدورة الحرارية ومردودها. وتسمى كمية الأكسجين الدنيا المتوفرة في مزيج

الوقود واللازمة للاحتراق الكامل له تسمى الكمية الحسابية المتوازنة.

وتساوي الكمية الحسابية المتوازنة L'_o , L'_a عند احتراق الوقود السائل وعندما يوجد بعض الأكسجين في الوقود g_{OT} (بالكيلومول لكل كغ وقود).

$$L'_a = \frac{g_c}{n} + \frac{g_H}{4} - \frac{g_{OT}}{32} \quad (2.11a)$$

بـ كغ أكسجين لكل 1 كغ وقود:

$$L'_v = L'_a \cdot \mu_{O_2} = \frac{8}{3} g_c + 8 \cdot g_H - g_{OT} \quad (2.11b)$$

وتساوي كمية الأكسجين الحسابية المتوازنة L'_o (كيلو مول لـ كيلو مول وقود) للوقود الغازي

$$L'_v = \sum (X_i + \frac{y_i}{4} - \frac{Z_i}{2}) (C_x \cdot H_y \cdot O_z)_i \quad (2.11c)$$

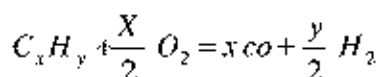
- الاحتراق غير التام للوقود:

إذا كانت كمية الأكسجين في مزيج الوقود بالهواء أقل من الكمية الحسابية المتوازنة فإن الأكسدة تكون غير تامة. وعند الأكسدة غير التامة يتأكسد جزء من الكربون إلى أول أكسيد الكربون CO وقسم من الهيدروجين لا يحترق أساساً. وفي هذه الحالة تجري أكسدة الجزيئات $C_x \cdot H_y \cdot O_z$ وفق المعادلات التالية:

$$C_x \cdot H_y \cdot O_z + \left[\phi \frac{X}{2} + (1-\phi)x + \frac{y(1-\phi_1)}{4} - \frac{Z}{2} \right] O_2 = \\ = \phi x CO + (1-\phi)x CO_2 + y\phi_1 \frac{H_2}{2} + \frac{y}{2}(1-\phi_1)H_2O \quad (2.12)$$

حيث ϕ - نسبة الكربون المتأكسد إلى CO و ϕ_1 - نسبة الهيدروجين غير المتأكسد والعوامل ϕ , ϕ_1 مرتبطة فيما بينها بانخفاض كمية الأكسجين في المزيج نترداد نسبة (H_2, CO) في غاز العادم. وتنخفض نسبة H_2O , CO_2 وعندما تكون $\phi = \phi_1 = 1$ سوف يحتوي غاز العادم CO مع الهيدروجين الذي لم يحترق.

ومعادلة الأكسدة المطابقة تأخذ الشكل التالي (عند انعدام الأكسجين في الوقود):



كمية الأكسجين $Mo_2 = \frac{X}{2} (k mol)$ وهي النهائية، وتطبق مع الحالة التي يكون فيها عدد ذرات الأكسجين مساوياً عدد ذرات الكربون x . وباستمرار انخفاض الأكسجين في المزيج يظهر هباب الفحم في غاز العادم. النسبة بين M_{CO}, M_{H_2} من المعادلة 2.12 يظهر أن النسبة بين M_{CO}, M_{H_2} في نواتج الاحتراق غير التام (بسبب عدم كفاية الأكسجين) تأخذ الشكل التالي:

$$K = \frac{M_{H_2}}{M_{CO}} = \frac{\varphi_1}{\varphi} \cdot \frac{y}{2x} = 6 \frac{\varphi_1}{\varphi} \cdot \frac{g_H}{g_C} \quad (2.13)a$$

وتبين المعطيات التجريبية أن قيمة k تساوي تقريباً مايلي:

$$K = \frac{M_{H_2}}{M_{CO}} = 1,12 \cdot \sqrt{\frac{g_H}{g_C}} \quad (2.13)b$$

وبذلك عندما يكون للبنزين التركيب $g_H : g_C = 0,855 : 0,145$ تكون $K = 0,461$ و $0,453 = \frac{\varphi_1}{\varphi}$.

وللبنزين $g_H : g_C = 0,866 : 0,134$ تكون $K = 0,44$ و $0,474 = \frac{\varphi_1}{\varphi}$.

- كمية الحرارة عند الأكسدة غير التامة H'_u يمكن حسابها بالنواتج الحراري لتفاعلات الأكسدة c إلى CO_2 , c إلى CO ويكون على التسلسل (H_{CO_2})، (H_{CO}) من جهة وتحول H_2 إلى H_2O والحرارة الناتجة (H_{H_2O})

وكمية نواتج الاحتراق وفقاً للمعادلة 2.14.

$$H'_n = \frac{g_c}{12} [\phi H_{co} + (1-\phi) H_{co2}] + \frac{8H}{2} (1-\phi_1) H_{H2o} \quad (2.14)$$

والضياع الحراري بسبب عدم إتمام الأكسدة (بسبب عدم كفاية الأكسجين) :

$$\Delta H_n = \phi \frac{g_c}{12} (H_{co2} - H_{co} + k \cdot H_{H2o}) \quad (2.15)$$

هنا k تحسب بالعلاقة (2.15b).

4.5. معامل فائض الهواء:

في المحركات المكبسية يتأكسد الوقود بأكسجين الهواء، والكمية الدنيا من الهواء اللازمة لأكسدة كتلة الوقود بالكامل تسمى الكمية الحسابية المتوازنة، وتحسب بالعلاقة التالية :

لكل ١ كغ من الوقود السائل يلزم كمية من الهواء بالكيلومول :

$$L_o = \frac{L'_o}{r_{o2}} = \frac{1}{0,21} \left(\frac{g_c}{12} + \frac{g_H}{4} - \frac{g_{oT}}{32} \right) \quad (2.16a)$$

وبالكيلو غرام :

$$l_o = \frac{1}{0,232} \left(\frac{8}{3} g_c + 8 \cdot g_H - g_{oT} \right) = L_o \cdot \mu_B \quad (2.16b)$$

والوقود الغازي المؤلف من مزيج من الهيدروكربونات $(C_x, H_y, O_z)_i$:

$$L'_o = \frac{1}{0,21} \sum \left(X_i + \frac{y_i}{4} - \frac{z_i}{2} \right) (C_x, H_y, O_z)_i \frac{k \text{ Mol } (M)}{k \text{ Mol } (M)} \text{ هواء} \text{ وقود}$$

معامل فائض الهواء ∞ : يسمى نسبة كمية الهواء G_B الموجود في المزيج على الكمية الحسابية المتوازنة ، التي تلزم لكي يحترق الوقود في المزيج بالكامل G_T .

$$\infty = \frac{G_B}{G_T L_o} = \frac{L}{L_o} = \frac{l}{l_o} \quad (2.17)$$

حيث G_T : استهلاك الوقود الساعي kg/h

$G_T \cdot I_0$ - الكمية النظرية الدنيا من الهواء اللازمة للاحتراق الكامل (G_T) من الوقود kg/h ويصادف في بعض المراجع معامل آخر وهو

$$f = \frac{G_T}{G_B} \text{ أو } f = \frac{I}{\infty I_0} \text{ و النسبة المطابقة } \varphi = \frac{f}{f_c}$$

f_c - المعامل المطابق للكمية الحسابية المتوازنة من الهواء.

والنسبة بين ∞ ونسبة الكربون φ المتحولة إلى CO في الوقود C_xH_y تساوي:

$$\infty = 1 - \varphi \frac{1 + k}{2(1 + 3 \frac{g_H}{g_C})} \quad (2.18)$$

معامل فائض الهواء ∞ عند الأكسدة غير التامة للكربون في الوقود C_xH_y

$$\text{إلى } CO \quad (\varphi = \varphi_c = 1) \quad , \quad k = 6(\frac{g_H}{g_C})$$

يساوي:

$$\infty_{\infty} = \frac{1}{2(1 + 3 \frac{g_H}{g_C})} \quad (2.19)$$

في المحركات ذات المزيج الخارجي ∞_{∞} عملياً غير موجودة، لذلك فإن الكربون الحر في غاز العادم ينعدم . أما في محركات الديزل وفي محركات البنزين ذات الحقن المباشر حيث أنه في شروط المزج تتوفر منساطق فيها $\infty_{\infty} < \infty$ ، فيمكن أن يظهر في عملية الاحتراق أحياناً هباب الفحم الذي لم يحترق.

وتظهر نسبة أكسدة الكربون تبعاً لـ ∞ يظهر على الشكل 2.1a

- كمية الشحنة الجديدة وحرارة احتراق مزيج الوقود في الهواء :

- كمية الشحنة الجديدة :

في بداية كل دورة حرارية تدخل شحنة جديدة إلى المحرك، وتكون إما من

الهواء فقط، أو من مزيج الوقود مع الهواء . كمية الشحنة M_1 تساوي —
 $\frac{k \cdot Mol}{kg \cdot f}$ مايلي:

- في محرك الشرارة الكهربائية:

$$M_1 = L + \frac{1}{\mu_T} = \infty L_o + \frac{1}{\mu_T} \quad (2.20)a$$

- في محرك الديزل :

$$M_1 = L = \infty L_o \quad (2.20)b$$

- وفي المحركات العاملة بالغاز الطبيعي (كيلو مول — كيلو مول غاز)

$$M_1 = L + 1 = \infty L_o + 1 \quad (2.20)c$$

- حرارة الاحتراق عندما تكون $\infty > 1$: كمية الحرارة الناتجة عن احتراق ١
 كيلو مول من الشحنة تساوي:

$$H_c = \frac{H_u}{M_1} \quad (2.21)$$

- حرارة الاحتراق عند $\infty < 1$ ، عندما يكون الاحتراق غير تام. ولذلك تكون:

$$H_c = \frac{(H_u - \Delta H_u)}{M_1} \quad (2.22)$$

وباحتساب ΔH_u بالعلاقة 2.15 نحصل على:

$$\frac{\Delta H_u}{L_o} = 0,42 \frac{1-\infty}{1+k} (H_{co2} - H_{co} + K \cdot H_{H2o}) \quad (2.23)$$

مثال عندما يكون $K=0,46$ $(g_H : g_c = 0,145:0,855)$ نحصل على:

$$\frac{\Delta H_u}{L_o} = 113,4 (1-\infty) MJ / kg$$

وعندما يكون $K=0,44$ $(g_H : g_c = 0,134:0,866)$ نحصل على:

$$\frac{\Delta H_u}{L_o} = 113,6 (1 - \infty) \text{ MJ / kg}$$

- تركيب نواتج الاحتراق وكميتها :

- الاحتراق الكامل : $\infty \geq 1$:

عند احتراق الوقود في الهواء وعندما تكون $\infty \geq 1$ يحدث الاحتراق بشكل تام نظرياً. ونواتج الاحتراق تضم CO_2 , H_2O , N_2 والأكسجين الفائض O_2 (فقط عندما تكون $\infty > 1$) ونسبة الأزوت N_2 تساوي 79% ونسبة CO_2 في الهواء 0,03% في الهواء تقريباً ولا تؤخذ بعين الاعتبار .

كمية نواتج الاحتراق M_2 بالكيلو مول لـ ١ كغ وقود تساوي :

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{N}_2} + M_{\text{O}_2} \quad (2.24a)$$

مما سبق نأخذ قيمة M_{CO_2} , $M_{\text{H}_2\text{O}}$ وهي على التوالي x , $M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{y}{z}$, $M_{\text{CO}_2} = x$ من المعادلة :

$$M_{\text{CO}_2} = \frac{g_c}{12}, M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{g_H}{2}, M_{\text{N}_2} = 0,79 \infty L_o, M_{\text{O}_2} = 0,21 (\infty - 1) L_o$$

وعندها :

$$M_2 = \infty L_o + \frac{g_c}{12} + \frac{g_H}{2} - 0,21 L_o \quad (2.24b)$$

وإذا كانت نواتج الاحتراق الموافقة لـ $\infty = 1$ هي $\infty = 1$ (M_2) يصبح لدينا :

$$M_2 = (M_2)_{\infty=1} + (\infty - 1) L_o \quad (2.24c)$$

$$(M_2)_{\infty=1} = \frac{g_c}{12} + \frac{g_H}{2} + 0,79 L_o \quad \text{حيث :}$$

عند احتراق ١ كيلومول من الوقود الغازي بتركيب $\sum (C_x H_y O_z)_i + r_N$ نحصل على :
تحتسب نواتج الاحتراق (بالكيلو مول) بالمعادلة (2.24a) ونشر قسم

$$M_2 = \sum (x_i + \frac{y_i}{2}) r_i (C, H, O) + 0,79 \alpha L_o + r_N + 0,21(\alpha - 1) L_o \quad (2.25)a$$

بوضع قيم:

$$L_o = \sum (x_i + \frac{y_i}{4} - \frac{z_i}{2}) (C, H, O) L_o$$

يصبح لدينا:

$$M_2 = \sum (\frac{y_i}{4} + \frac{z_i}{2}) (C, H, O) + \alpha L_o + r_N \quad (2.25)b$$

$$M_3 = M_1 + \sum (\frac{y_i}{4} + \frac{z_i}{2} - 1) (C, H, O) \quad (2.25)c \quad \text{أو:}$$

- الاحتراق غير التام: $\alpha = 1$:

تتألف نواتج الاحتراق غير التام مايلي:

$M_{H_2}, M_{H_2O}, M_{CO}, M_{CO_2}$ و الأوزون $M_{N_2} = 0,79 \alpha L_o$ وعندها:

$$M_2 = 0,79 \alpha L_o + M_{H_2O} + M_{CO} + M_{CO_2} + M_{H_2} \quad (2.27)$$

$$M_{CO} + M_{CO_2} = \varphi x + (1 - \varphi) x = x$$

لأنها تحتاج نفس الكمية من ذرات الكربون لتشكل جزئي C_o أو CO_2 وكذلك:

$$M_{H_2} + M_{H_2O} = \frac{y}{2} \varphi_1 + \frac{y}{2} (1 - \varphi_1) = \frac{y}{2}$$

وعندها:

$$M_{CO_2} + M_{CO} = \frac{g_c}{12}, M_{H_2} + M_{H_2O} = \frac{g_H}{2} \quad (2.28)$$

ولتقدير المركبات $M_{H_2O}, M_{H_2}, M_{CO}, M_{CO_2}$ نستخدم العلاقة (2.28) النسبة

$$K = \frac{M_{H_2}}{M_{CO}} \text{ ومعادلة توازن الأكسجين الواردة لاحقاً.}$$

- توازن الأكسجين الموجود في الهواء $M_{O_2} = 0,21 \alpha L_o$ طبقاً للعلاقة

(2.12) والذي استنفذ لتوليد نواتج الاحتراق أول وثاني أكسيد الكربون وبخار

الماء (كيلو مول) كمايلي:

$$\frac{1}{2} M_{CO} = \text{لأكسدة الكربون إلى أول أكسيد الكربون}$$

$$M_{CO_2} = \text{لأكسدة الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون}$$

- لأكسدة الهيدروجين إلى بخار الماء

$$\frac{1}{2} M_{H2o} =$$

وتكون معادلة الموازنة:

$$\frac{1}{2} M_{co} + M_{co2} + \frac{1}{2} M_{H2o} = 0,21 \infty L_o \quad (2.29)$$

ويحل المعادلتين (2.28)، (2.29) ضمن شروط

$$L_o = \left(\frac{g_c}{12} + \frac{g_H}{4} \right) \frac{1}{0,21}$$

نحصل على:

$$M_{co} = 0,42 L_o \frac{1 - \infty}{1 + k}$$

$$M_{co2} = \frac{g_c}{12} - M_{co} \quad (2.30)$$

$$M_{H2o} = 0,42 L_o \frac{1 - \infty}{1 + k}$$

$$M_{H2o} = \frac{g_H}{12} - M_{H2}$$

ونكتب العلاقة 2.27 التي تحسب M_2 كمايلي:

$$M_2 = 0,79 \infty L_o + \frac{g_c}{12} + \frac{g_H}{2} \quad (2.31)a$$

أو:

$$M_2 = (M_2)_{\infty} - 0,79 L_o (1 - \infty) \quad (2.31)b$$

والحسابات الواردة أعلاه لنواتج الاحتراق التي تؤثر بشكل كبير على المؤشرات الطاقة والاقتصادية . والنواتج الأخرى (أكاسيد الأزوت ، والرصاص ، والكبريت ، والهيدروكربونات غير المحترقة وغيرها) لا تؤخذ بعين الاعتبار بسبب تدني نسبتها في غازات العادم في حساب الطاقة، لكنها

ذات تأثير كبير في العوامل والمؤشرات البيئية.

- تغيرات التركيب الجزيئي وحجم جسم التشغيل عند الاحتراق :

حجم المركبات الأولية وحجم نواتج الاحتراق يمكن أن يختلف بسبب اختلاف التركيب الجزيئي للشحنة الجديدة M_1 ونواتج الاحتراق M_2 . ويساوي مقدار تغيير كمية المسواد خلال الاحتراق (كيلو مول) $\Delta M = M_2 - M_1$ ويعبر عنه بالمعامل النظري للتغير الحجمي μ_o الذي

$$\text{يساوي } \frac{\Delta M}{M_1} \text{ أو } \frac{M_2}{M_1} 1 + \frac{\Delta M}{M_1}$$

وتساوي μ_o في المحركات المختلفة كمايلي:

$$(2.31)a \quad \mu_o = 1 + \frac{\frac{g_H}{4} + \frac{g_{OT}}{32}}{\infty L_o} \quad , \quad \text{في الديزل } (\infty > 1)$$

إذا كان $g_{OT}=0$ فإن:

$$(2.31)b \quad \mu_o = 1 + \frac{0,21}{\infty (1 + \frac{g_c}{3g_H})}$$

وفي محركات الشرارة الكهربائية :

$$(2.32)a \quad \mu_o = \frac{\infty L_o + \frac{g_H}{4} + \frac{g_{OT}}{32}}{\infty L_o + \frac{1}{\mu_T}} = 1 + \frac{\frac{g_H}{4} + \frac{g_{OT}}{32} - \frac{1}{\mu_T}}{\infty L_o + \frac{1}{\mu_T}}$$

وعندما تكون $\infty < 1$

$$\mu_o = \frac{0,79 \infty L_o + \frac{g_H}{2} + \frac{g_c}{12}}{\infty L_o + \frac{1}{\mu_T}} = 1 + \frac{0,21(1 - \infty) L_o + \frac{g_H}{4} + \frac{g_{OT}}{32} - \frac{1}{\mu_T}}{\infty L_o + \frac{1}{\mu_T}}$$

- المحركات الغازية $(\infty > 1)$:

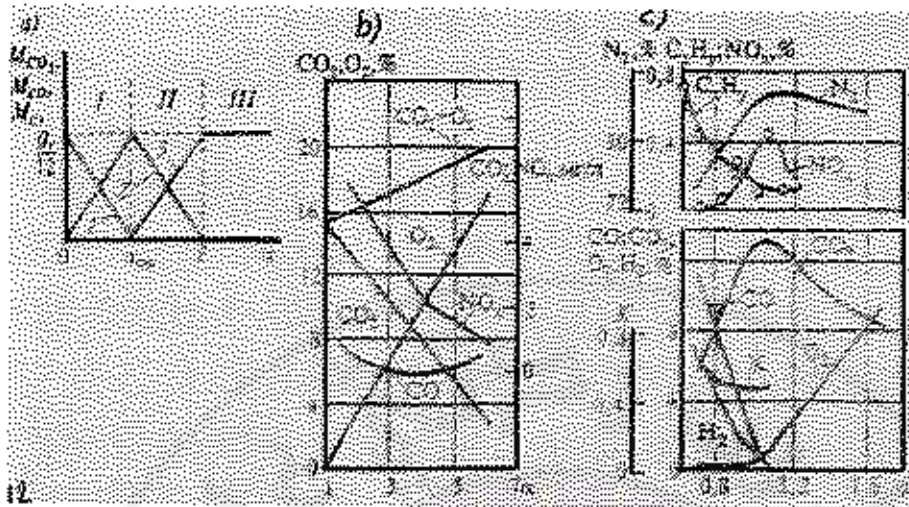
$$\mu_o = 1 + \frac{\sum (\frac{y_i}{4} + \frac{z_i}{2} - 1) (C_i, H_i, O_i)_i}{M_i}$$

وعند الاحتراق التام $\infty \geq 1$ تمدد وتزايد حجم نواتج الاحتراق (كيلو مول) يحصل بسبب تشكل جزيئين H_2O من جزيئة O_2 عند أكسدة الهيدروجين. وعند الاحتراق غير التام $\infty < 1$ يتزايد الحجم ΔM بشكل أكبر من الحالة $\infty \geq 1$ لأنه إضافة لأكسدة الهيدروجين إلى H_2O (جزيئة $O_2 \leftarrow$ جزيئتان C_o).

للبنزين ووقود الديزل $\mu_o > 1$ وتنخفض بزيادة ∞ . وفي المحركات الغازية ΔM تتعلق بكمية الهيدروكربونات المختلفة ويمكن أن تكون $\Delta M > 0$ عندما تكون $\sum (\frac{y_i}{4} + \frac{z_i}{2}) > 1$ و $\Delta M < 0$ عندما تكون $\sum (\frac{y_i}{4} + \frac{z_i}{2}) < 1$. وتبعاً لذلك $M_o > 1$ عندما تكون $\Delta M > 0$ و $\mu_o < 1$ عندما تكون $\Delta M < 0$.

وتكون $\mu_o = 1$ عندما تكون $\Delta M = 0$, $\sum (\frac{y_i}{4} + \frac{z_i}{2}) = 1$. مثال عند احتراق الميثان : $\mu_o = 1, CH_4, \frac{y}{4} + \frac{z}{2} - 1 = \frac{4}{4} - 1 = 0$

أي إنه لا يحصل تغيير في حجم نواتج الاحتراق.



الشكل ١٢ -

وبزيادة كمية الهيدروكربونات عالية الجزيئات تزداد μ_0 لأنه في الوقود الغازي بتركيب $N_2 - 10\%$, $C_3H_8 - 30\%$, $C_2H_6 - 20\%$, $CH_4 - 40\%$ نحصل على:

$$\sum \left(\frac{y_i}{4} + \frac{z_i}{2} - 1 \right) = \frac{1}{4} (4.0.4 + 6.0.2 + 8.0.3) - 1 =$$

$$= 0.3 > 0 \quad , \quad \Delta M > 0 \quad , \quad \mu_0 > 1$$

أي إن الحجم يزداد عند الاحتراق.

للدیزل (شكل 12.b) بزيادة الحمولة (انخفاض ∞) تزداد كمية الحرارة المنبعثة وتزداد درجة حرارة الاحتراق مما يؤدي إلى زيادة نسبة أكاسيد الآزوت NO_x .

وزيادة نسبة Co عندما تكون ∞ قريبة من الواحد مرتبطة بانخفاض جودة عملية المزج وعدم اكتمال الاحتراق على أنظمة الحمولات العظمى. وزيادة Co عند القيم الأكبر ∞ مرتبطة بانخفاض سرعة التفاعلات ودرجة حرارة الاحتراق وهذا يؤدي إلى عدم إتمام الأكسدة بغض النظر عن توفر الأكسجين.

وللمحركات العاملة بالشرارة الكهربائية (شكل 12.C) وكما يظهر من العلاقات السابقة يوجد مكان لزيادة نسبة Co و H_2 والهيدروكربونات غير المحترقة C_xH_x وتصل نسبة No_x إلى القيمة العظمى عندما تكون $1.1 - 1.05 \approx$ أي عند توفر الأكسجين، وعندما تكون حرارة الاحتراق عالية بما فيه الكفاية.

وتركييب نواتج الاحتراق يؤثر مباشرة على عوامل الدورة الحرارية، ويزداد المردود الحراري بزيادة أس الأديبات لنواتج الاحتراق، والذي يزداد بدوره بانخفاض القيمة النسبية للغازات ثلاثية الذرات ($\text{Co}_2, \text{H}_2\text{O}$) في نواتج الاحتراق، وطبقاً لذلك يكون العمل في الدورة والاستطاعة أكبر كلما كان المعامل غير الجزئي أكبر μ_0 أي زيادة أكبر للحجم عند الاحتراق.

تغيرات القيم المذكورة وقيم أخرى لنواتج الاحتراق في البنزين والديزل نسبة ∞ تظهر على الشكل -13، ومن الشكل نرى أنه بزيادة ∞ فإن معامل التغير الجزئي نظرياً ينخفض ويتحول إلى الواحد عندما تكون $\infty = \infty$ ، ونسبة الغازات ثلاثية الذرات في نواتج احتراق البنزين في المزيج الغني ($\infty < 1$) تنخفض بانخفاض ∞ و عندها يزداد أس أديبات نواتج احتراق البنزين.

وفي المزيج الفقير $\infty > 1$ تنخفض نسبة الغازات ثلاثية الذرات في نواتج احتراق كل من البنزين والديزل وأس الأديبات يزداد. وتؤدي زيادة الأخير عند نفس الظروف إلى زيادة المردود في الدورة الحرارية.

- المواصفات الفيزيائية حرارية والكيميا -حرارية للوقود ونواتج الاحتراق:
لكي تجري عمليات الدورة الحرارية في المحرك المكبسي بشكل جيد من المهم إضافة لكمية حرارة الاحتراق الأساسية هناك مواصفات أخرى للوقود مثال: حرارة انبعاث البخار، الكثافة، ضغط الأبخرة المشبعة، السعة

الحرارية وغيرها . وتقدر بعض هذه المواصفات (المؤشرات) عند إجراء تجارب التصنيف للوقود، وقسم منها يحتاج لبحوث خاصة.

ونتوقف باختصار عند بعض خصائص الوقود ونواتج الاحتراق الأكثر تأثيراً على عوامل المحركات . في الجدول التالي تظهر عوامل في معادلات السعة الحرارية الجزيئية لبعض الغازات $\mu_{sp} = a + bT$ التي تدخل تركيب الهواء ونواتج احتراق الوقود (KJ/K.Mol).

أس أدبيات الغازات ينخفض بزيادة الكتلة الجزيئية، ولحسابه يمكن استخدام العلاقات التالية : الهواء الجاف ($K = 1,41 - 5.10^{-5}T, (0 - 2700)$) بخار

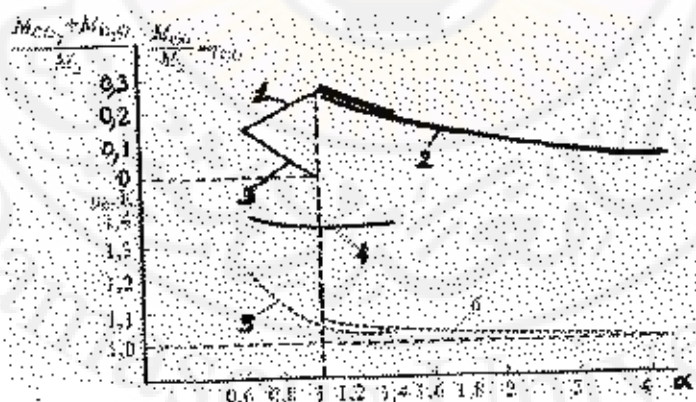
البنزين ($0 - 1500$) ، $K = 1 + \frac{48}{677 + T}$ ، بخار وقود السيزل ($0 - 1500$) ،

نواتج الاحتراق لوقود السيزل عند $K = 1 + \frac{26}{634 + T}$ ،

$$K = 1,392 - 6,24.10^{-5}T, \infty = 1$$

نواتج احتراق البنزين عند $K = 1,391 - 6,1.10^{-5}T, \infty = 1$

وبزيادة ∞ يزداد أس أدبيات نواتج الاحتراق ويقترب من قيمته في الهواء الجوي.



الشكل - ١٣

الفصل الثالث

عمليات الدورات الحرارية الفعلية

يحصل في العمليات التي تشكل الدورة الحرارية للمحرك تغير في كمية جسم التشغيل وفي تركيبته. ولتوخي الدقة في عمليات الحساب ، يؤخذ بعين الاعتبار التغير الكمي فقط عند دراسة عمليات السحب والطرء، وأيضاً عند حقن الوقود في الديزل ، أي ينظر في هذه العمليات للفراغ الداخلي للأسطوانة كجملعة مفتوحة . وفي الحالات الأخرى يعد الفراغ الأسطواني جملعة مغلقة وتعد حالة الغازات متوازنة.

١. عمليات التبادل الغازي

١.١ - الحالة العامة:

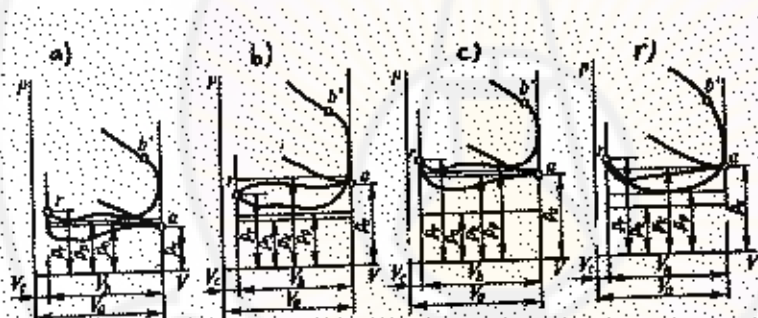
تسمى عملية تبديل جسم التشغيل عند جريان عمليات الطرد والسحب : التبادل الغازي، وتبعاً لكمية الشحنة الجديدة المتوفرة داخل الأسطوانة بعد عملية التبادل الغازي ، نحصل على العمل والاستطاعة المطلوبتين للمحرك. وعند التبادل الغازي يمكن حساب عمل الغازات في الأسطوانة (الفقدان الميكانيكي) بالعلاقة $L_{ro} = (P_o - P_r)V_p$ في المحركات غير المشحونة. وعند الشحن التوربيني عندما يكون الضغط أمام صمام السحب P_s أقل من قيمة الضغط خلف صمام الطرد P_p يكون $P_o < P_r$ أي إن العمل L_{ro} يكون سالباً شكل - a14.c.

وفي حالة المغذي الميكانيكي (الشاحن الميكانيكي) يكون عمل التبادل الغازي موجباً شكل - b14. ولكن توجد ضياعات إضافية أكبر من عمل التبادل الغازي تستخدم لتشغيل ضاغط الهواء.

وعمليات التبادل الغازي مرتبط بعضها ببعض. وبما أن حركة الشحنة موجهة خلال عملية السحب إلى الأسطوانة عبر مجاري معينة في رأس الأسطوانة فهي طريقة أساسية وعامل هام لتحسين عملية المزج والاحتراق. وفي المحركات ذات المزج الخارجي ترتبط عملية السحب مع عمليات تشكيل مزيج الوقود بالهواء قبل وصوله إلى الأسطوانة.

ومن خصوصيات نظام التبادل الغازي في محركات السيارات:
- عدد الصمامات في كل أسطوانة غالباً ما يكون أربعة (اثنان للسحب واثنان للطرْد)

ويوجد أحياناً بنية ثلاثية الصمامات أو خماسية.
وقد انحسرت البنية الثنائية للصمامات التقليدية.



الشكل - ١٤

- أغلب محركات الديزل أصبحت مشحونة، وعمليات شحن المحركات ذات الشرارة الكهربائية أقل بكثير مما هي عليه في محركات الديزل. ويؤدي تركيب مبرد للهواء بعد الضاغط إلى زيادة المقاومة في مجرى السحب.

ويركب في مجاري الطرد محبذات تلوث (مخفضات تلوث) لمكافحة التلوث والسمومية في غازات العادم ، وهذا يرفع من قيمة المقاومة الهيدروليكية والتي تزداد أيضا بتركيب الشاحن التوربيني.

- وتزداد عملية استخدام آلات للتوزيع الغازي التي تتحكم بتغيير أطوار عملية التوزيع الغازي ويقانون رفع الصمامات.

٢.١ - عملية الطرد والتبادل الغازي في مرحلة انفتاح الصمامات:

- عملية الطرد:

في نهاية شوط التمدد وبتسبيق بزاوية - ٣٠ - ٧٥ درجة (بدوران العمود المرفقي) قبل وصول المكبس إلى ن . م . س يبدأ طرد الغازات العادمة (النقطة b على الشكل -b١٤، في هذه اللحظة يكون الضغط في أسطوانة المحرك غير المشحون $P \approx 0,4 - 0,7 \text{ Mpa}$ وعلى مخرج صمام الخروج يكون أقل بكثير، لذلك يحصل الطرد أولاً في حالة انخفاض حاد للضغط (الحالة حرجة): $\beta_p < \frac{P_p}{P}$ أي إن الغازات تخرج بسرعة حرجة من صمام الطرد (٥٠٠ - ٧٠٠) م / ثا.

ونتيجة الانخفاض السريع لكمية الغازات داخل الأسطوانة وتمدها ينخفض الضغط بشكل ملموس. وعندما يصبح $\beta_p > \frac{P_p}{P}$ تصبح سرعة خروج الغازات أقل من السرعة الحرجة.

ويسمى الطور الأول لعملية الطرد : دور الطرد الحر، وينتهي بالقرب من ن.م.س وخلال هذا الدور البسيط نسبياً يخرج من الغازات ما مقداره ٥٠-٧٠ % من داخل الأسطوانة.

وفي الدور الثاني الذي يسمى الطرد القسري (عند حركة المكبس إلى ن. م ع) يحصل الطرد تحت تأثير هذه الحركة للمكبس.

على الشكل-١٥ تظهر تغيرات الضغط p في الأسطوانة ، وفي القناة داخل رأس الأسطوانة (بعد صمام الطرد) p_p خلال عملية الطرد. بداية طور الطرد φ_p' شكل-١٥ تنطبق مع بداية طور فتح صمام الطرد φ_p شكل - ١٨ وتنطبق نهاية هذه الأطوار عندما يصبح $P \geq P_p$ حتى نهاية إغلاق صمام الطرد.

وإذا كان $P < P_p$ في نهاية إغلاقه يكون $\varphi_p' < \varphi_p$.

ومع بداية الطرد يصبح انخفاض الضغط p أكثر حدة ، مما يسبب تشكيل موجة ضغط في مجرى الطرد، وهذه الموجة تتمدد باتجاه طرف مجرى الطرد حيث تنعكس (تردد) معطية جزءاً من الطاقة ، وتعود بشكل موجة تخلفية بالاتجاه المعاكس، أي إلى صمام الطرد حيث يحصل ارتداد جديد، وهكذا دواليك.

وعند حركة الموجة على طول المجرى تخمد بشكل متسلسل نظراً لضياع الطاقة على الاحتكاك.

وتقدر العملية الاهتزازية الإجمالية بجمع الموجات الخطية المباشرة والعكسية المتولدة عند طرد الغازات من جميع الأسطوانات.

يتم اختيار بداية الطرد (٣٠ - ٧٥ درجة قبل ن. م. س) بحيث يتحقق التنظيف الجيد للأسطوانة بأقل ضياع للطاقة.

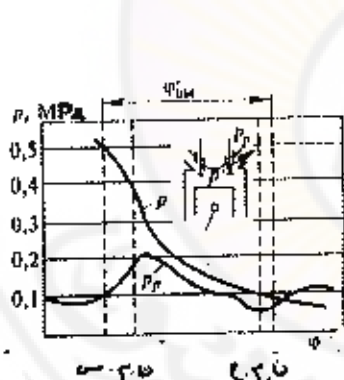
إذا ابتدأ الصمام بالانفتاح المبكر (النقطة L' على الشكل - ١٦) يزداد ضياع العمل المفيد للغازات في الدور الأول للطرد.

وإذا تأخر الصمام بالانفتاح (النقطة L') يزداد العمل السالب في مرحلة الطرد القسري وتكون البداية المثلى لفتح صمام الطرد منطبقاً مع النقطة e .

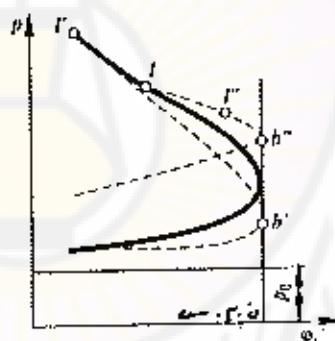
- التبادل الغازي في مرحلة انفتاح الصمامات :

يظهر على الشكل - ١٧ تغير الضغط p في الأسطوانة والضغط P_k في

مجري رأس الأسطوانة بالقرب من صمام السحب خلال العملية. ولا تختلف طبيعة الاهتزازات في مجاري الدخول والخروج كثيراً، وتدل التجارب أنه لتحسين التبادل الغازي في المحركات غير المشحونة يجب تسبيق انفتاح صمام السحب بزاوية $10 - 30$ درجة قبل وصول المكبس إلى ن.م.ع. وتأخير إغلاق صمام الطرد بعد ن.م. ع بزاوية من $10 - 50$ درجة. ويوجد عملية الشحن تصبح هذه الزوايا أكبر بـ $1,5 - 3$ مرات. ويسمى الدور الذي تكون فيه الصمامات مفتوحة (دور الصمامات المفتوحة) ويساوي مقدار الزاوية φ_p على الشكل ١٨- وفي الحالة المثالية عندما تكون $P_p < p$ و $P < p_k$ تدخل الشحنة إلى الأسطوانة عبر صمام الدخول، وعبر صمام الطرد تخرج الغازات العادمة وتسمى هذه العملية تهوية الأسطوانة، شكل ١٩- a.



شكل ١٥-

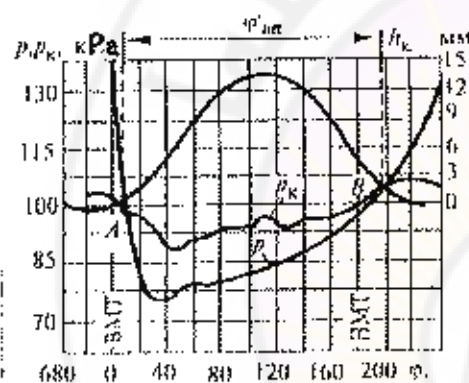


شكل ١٦-

وتقوم هذه العملية بتنظيف الأسطوانة من الغازات، وتخفيض حرارة نهاية عملية التبادل الغازي، وبالنتيجة تزداد كمية الشحنة الجديدة. وتختلط الشحنة مع بقايا الغازات العادمة في الأسطوانة، ولذلك فسي فترة انفتاح الصمامات وعندما يكون $P_p < p$ يمكن أن يخرج جزء من الشحنة عبر

صمام الطرد من الأسطوانة. ويمكن أن تحدث العملية العكسية (التهوية
المعكسة) في محركات الشرارة الكهربائية عند العمل على نظام اللاحمل
عندما يكون صمام التحكم مغلقاً بقوة .

وفي هذه الحالات يكون $\frac{P_p}{P_k} > 2$ وذلك خلال فترة انفتاح الصمامات تدخل
الغازات العادمة عبر صمام الطرد من مجرى الخروج (الطرد) إلى
الأسطوانة بشكل معاكس، وتخرج عبر صمام السحب الغازات من الأسطوانة
إلى مجرى السحب شكل ١٦- c.



شكل - ١٧



شكل - ١٨

٣.١- عملية السحب:

تدخل الشحنة إلى أسطوانات المحرك غير المشحون تحت تأثير التخلخل
الناتج عن المكبس في شوط السحب، وفي المحرك المشحون تدخل الشحنة
بفعل الضاغط.

ويظهر من الشكل-١٧، أنه مباشرة وبعد بداية انفتاح صمام السحب
يتساوى الضغط P مع P_k (النقطة A) وابتداء من هذه اللحظة يبدأ السحب

لأنه عند استمرار حركة المكبس $P < P_k$ لا تبقى نسبة الضغط $\frac{P_k}{P}$ (التي تحدد جريان الشحنة عبر فتحة الصمام ثابتة).

وترتبط كمية الشحنة الواردة إلى الأسطوانة خلال عملية السحب بالمقاومة الهيدروليكية العامة لمجرى السحب، أي ترتبط بالفرق بين الضغط الجوي P_0 (أو الضغط بعد ضاغط الهواء P_k) وبين الضغط في الأسطوانة P ويتغير هذا الفرق بانزياح المكبس من $n \cdot m$ إلى $n \cdot m$.

وفي الحالة العامة يحسب جريان الغازات عبر الصمام بالمعادلة التالية :

$$dG_x = (\mu f)_x \sqrt{\frac{2K_x}{K_x - 1} \cdot \rho_x \cdot P_k \left[\left(\frac{P_{fl}}{P_n} \right)^{\frac{2}{K_x}} - \left(\frac{P_n}{P_n} \right)^{\frac{K_x + 1}{K_x}} \right]} dt$$

حيث:

dG_x - جريان الغازات (مصروف الغازات)

μ - معامل تصريف الصمام

f - مساحة مقطع الصمام

$(\mu f)_x$ - مساحة المقطع الفعلي

K_x - أس أديبات الغازات

p_n, ρ_x - كثافة وضغط الغازات على مدخل الصمام

P_n - ضغط الغازات على مخرج الصمام

x - يدل على أن المقادير تؤخذ للمجال الحسابي الزمني dt

وبهذه المعادلة يجري الحساب عند الجريان على الأسطوانة أو منها . وفي الحالتين تؤخذ معاملات التصريف عند الزوايا المعينة للعمود المرفقي متساوية بغض النظر عن وجهة التيار .

وعند الطرد الحرج تستخدم العلاقة التالية:

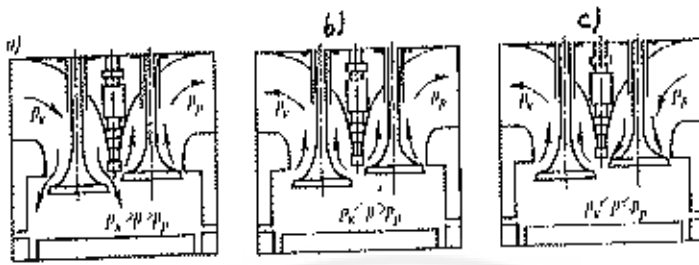
$$\beta_k = \left[\frac{2}{(K_v + 1)} \right]^{K_v + 1}$$

بدلاً من النسبة $\frac{P}{P_n}$ في المعادلة السابقة.

وكلما انخفض الضياع في مجرى السحب حتى لحظة وصول المكبس إلى ن.م.س. (Δp_n) أو (Δp_v) بوجود عملية الشحن ازدادت كمية الشحنة الجديدة، النقطة a (شكل - ١٤) وعموماً دور السحب ϕ_n (شكل - ١٧) وفتره انفتاح صمام السحب ϕ_n شكل - ١٨ لا ينطبقان معاً. وعند زيادة عدد دوران عمود المرفق يتحرك الهواء (الشحنة) بسرعة متزايدة، ويتأثير قوة العطالة، ونتيجة الظواهر الاهتزازية في نهاية السحب يزداد أيضاً الضغط P_k .

ولذلك يستمر السحب في بداية شوط الضغط $P_k > P$. ويسمى هذا الدور: الشحن المتمم (شكل - ٢٠ a).

وفي المثال الظاهر على الشكل - ١٧ ينتهي الشحن المتمم (الإضافي) في النقطة B. وللحصول على الشحن المتمم يخلق صمام السحب بزاوية ٣٥ - ٨٥ درجة بعد ن.م.س. وعند الدوران المنخفض للمحرك، عندما تكون عطالة الشحنة صغيرة، فإنه عند تأخير انفتاح صمام السحب $P > P_k$ يطرد المكبس جزءاً من الشحنة خارج الأسطوانة إلى مجرى السحب (بشكل معاكس) أي يحصل الطرد العكسي شكل - ٢٠ b وبذلك تكون في هذه الحالة كمية الشحنة المثبتة في الأسطوانة بعد نهاية السحب أقل من كمية الشحنة العامة الواردة إلى الأسطوانة خلال عملية التبادل الغازي.



شكل - ١٩

وحرارة مجرى الدخول وقناة رأس الأسطوانة أعلى من حرارة الشحنة، لذلك تسخن الشحنة بفعل الانتقال الحراري الحاصل خلال السحب. ويحدث تسخين الشحنة أيضاً عبر اختلاطها ببقايا الغازات العادمة الحارة وبزيادة الحرارة تنخفض كتلة الشحنة وتنخفض جودة عملية السحب.

٤.١ - أطوار التوزيع الغازي:

الأطوار الثابتة للتوزيع الغازي:

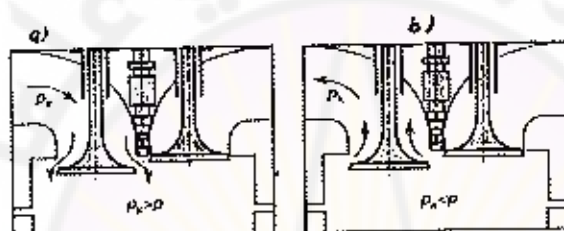
الأدوار التي تقاس بدرجات زاوية دوران عمود المرفق والتي تكون خلالها الصمامات مفتوحة تسمى أطوار توزيع الغازات. والمخطط الدائري لأطوار التوزيع الغازي يظهر على الشكل-١٨ أطوار توزيع الغازات يعبر عنها وتحدد قيم زوايا دوران عمود المرفق ، التي تبدأ خلالها الصمامات بالانفتاح وتنتهي بالإغلاق.

وعند الاختيار الصحيح للأطوار تتحسن عملية تنظيف الأسطوانات من نواتج الاحتراق، وتتحسن عملية امتلاء الأسطوانات بالشحنة الجديدة ويمكن أن تنخفض الضياعات المرافقة لعملية التبادل الغازي.

ويتم اختيار أطوار التوزيع الغازي والأبعاد الهندسية الأساسية لمجرى السحب ومطابقتها بالتنوير التجريبي لنموذج جديد للمحرك. لذلك عند تأمين المقدار المثالي في كل نظام عمل للمحرك بطريقة تغيير

أطوار التوزيع تتحسن عملية التبادل الغازي وعملية امتلاء الأسطوانة بالشحنة وينخفض العمل المهدور في العملية.

لا تتغير الأطوار الفعلية لتوزيع الغازات في المحركات ذات التصميم التقليدي لألية التوزيع الغازي المقاد من قبل محور الكامات، ويتم اختيارها بحيث تحقق الامتلاء النموذجي في المجال الأكثر أهمية لنظم عمل المحرك. وفي أكثر الحالات، تمتلك المحركات السريعة أطوار توزيع غازي أكثر اتساعاً من المحركات البطيئة.



شكل - ٢٠

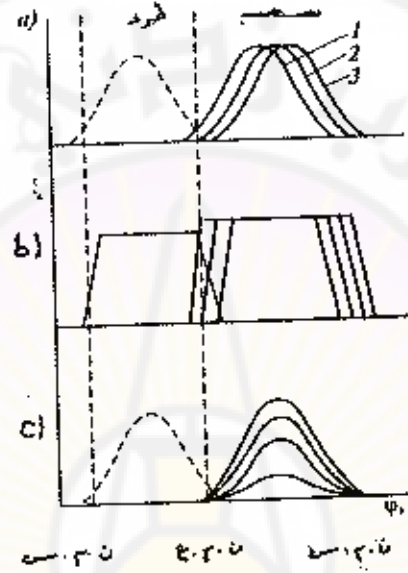
وإذا كان من الضروري زيادة امتلاء الأسطوانات بالشحنة الجديدة في مجال ما محدد زمن أو (الدورات) فإنه يجب اختيار توليفة أطوار التوزيع مع الأبعاد الهندسية لمجرى السحب (خاصة طوله) بحيث تؤمن الشحن المتمم المناسب. وتسمى هذه الظاهرة الشحن الديناميكي.

ولتأمين التبادل الجيد من المهم تأمين مقاطع جريان كبيرة في الصمامات، وهذه المقاطع قابلة للتغير عند التبادل الغازي ، ولذلك تقدر إمكانية تصريف

صمامات بعامل يسمى الزمن - المقطع :

$$\int f d\tau = \frac{1}{6n} \int_{\varphi_1}^{180+\varphi_2} f d\varphi$$

حيث f - مقطع التصريف المتغير في فتحة الصمام . م²
 τ - الزمن . ثانية



شكل - ٢١

φ_1, φ_2 - تسبيق الانفتاح وتأخير الإغلاق للصمامات بالدرجات على دوران عمود المرفق. وفي المحركات متعددة الصمامات يحدد المقطع f بواسطة القطر المكافئ للصمامات.

- التحكم بأطوار التوزيع الغازي وقوانين رفع الصمام:

آلية التوزيع الغازي بتصميمها التقليدي تؤمن عمل المحرك بأطوار ثابتة للتوزيع الغازي وبقانون ثابت لرفع الصمامات، هذه القوانين تحدد بالشكل

الهندسي الخارجي للحدبات والوصلة الحركية للصمامات، وهذه الآليات فقط، كما ذكر سابقاً، تسمح بالحصول على جودة قريبة من المثالية لعملية التبادل الغازي . في مجال معين لأنظمة عمل المحرك فقط.

ولقد تم التوصل إلى استخدام آليات مختلفة تؤمن إمكانية التحكم بأطوار التوزيع الغازي وبقانون رفع الصمام . ويختلف تصميم هذه الآليات بشكل واسع.

ونذكر ثلاث وسائل أساسية للتحكم بأطوار التوزيع الغازي وبقوانين رفع الصمامات شكل - ٢١ وهي :

- تغيير الأطوار عند ثبات المقطع - الزمن .
- تغيير الأطوار والمقطع - الزمن .
- تغيير المقطع - الزمن عند ثبات الأطوار .

على الشكل - ٢١ a تظهر تغيرات أطوار صمام السحب عند ثبات المقطع - الزمن وهذا يسمح عند زيادة انفتاح الصمامات (المنحني ١) بالحصول على فتح مبكر لصمام السحب، أي تخفيض الطرد المعاكس عند الدوران المنخفض وتبعاً لذلك زيادة امتلاء الأسطوانة وزيادة العزم الناتج.

وفي بعض الحالات تؤدي ضرورة زيادة تسبيق فتح صمام السحب إلى طرد كبير للغازات العادم في مجرى السحب الذي يتطلبه عملية التدوير الداخلي للغازات بهدف تخفيض عملية توليد أكاسيد الأزوت.

عند تأخير الإغلاق لصمام السحب (المنحني ٣) يمكن استخدام الشحن الديناميكي وزيادة عزم المحرك عند السرعات العالية.

وتخفيض فترة انفتاح الصمامات في هذه الحالة تحسن أيضاً من شروط عمل المحرك على نظام اللاحمل بسبب انخفاض التهوية المعاكسة .

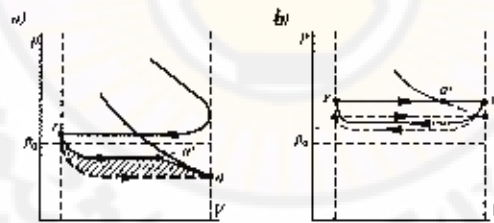
والأطوار المطابقة للمنحني ٢ مثالية للسرعات الوسطية للدوران . وبالتحكم

بطور السحب يمكن تخفيض إصدار أكاسيد الأروث في الأسطوانة بنسبة تصل إلى ٤٠ % وإصدار الهيدروكربونات بنسبة ١٠ %.

وفي المجاري المعقدة يمكن أن تتغير أطوار فتح صمام الطرد أيضاً ، وهذا يعطي تأثيراً إضافياً وذلك بتخفيض ضياع العمل في عملية التبادل الغازي، وتحسين عملية تنظيف الأسطوانة.

وتتأمن إمكانيات كبيرة للتحكم بحركة الصمامات باستخدام نظم تحكم كهروميكانيكية حيث تؤمن قانوناً قريباً من الشكل π لرفع الصمام، وعندئذٍ يبقى طول الارتفاع ثابتاً، وفي لحظة فتح وإغلاق الصمامات يمكن أن تتغير بشكل مغاير مما يسمح بتغير أطوار التوزيع الغازي، وعامل المقطع - الزمن - شكل - ٢١ - b .

وبالتحكم بأطوار التوزيع الغازي يمكن جعل التبادل الغازي مثالياً عند كل سرعة دوران، حيث يزداد عزم المحرك الأعظمي بحدود ٥ % وعند الدوران المنخفض يمكن أن يزداد العزم بنسبة ١٠ %.



شكل - ٢٢

وفي المحركات ذات التحكم الكمي بالحمولة تسمح هذه المنظومة بالتخلي عن صمام التحكم، وإجراء التحكم بالحمولة (باستخدام عملية امتلاء الأسطوانة) بطريقة تغيير المقطع - الزمن لصمام السحب، ولتخفيض الحمولة يغلق الصمام مسبقاً (في شوط السحب ، النقطة a على الشكل -

٢٢ a عندئذ، على الحمولات الخفيفة (المقطع - الزمن قليل) تزداد سرعة الشحن في فتحة صمام السحب مما يقوي الاضطراب، وتحسن عملية الخلط والاحتراق . ومن المميزات الكبرى لهذا التحكم هو انخفاض المفاقيد المرافقة لعملية التبادل الغازي (المساحة المخططة على الشكل - ٢٢٢) وهذا يسمح بزيادة المردود الميكانيكي وتحسين اقتصادية عمل المحرك بنسبة ٢٠ % عند العمل على الحمولات الخفيفة.

وعند تسبيق إغلاق صمام السحب يصبح ضغط المزيج في ن . م . س أقل مما هو عليه في حالة الخنق في المحرك العادي (عند ذات الاستطاعة) . وهذا مرتبط بأن الحرارة ستكون أقل لأنها تنخفض عند تمدد المزيج بعد إغلاق صمام السحب ، أي يحدث ما يسمى بتبريد داخلي للمزيج.

وعند هذا التحكم، وعلى الحمولات الجزئية تكون نسبة الانضغاط الفعلية أقل من النسبة الهندسية، ومعامل التمدد يبقى ثابتاً، وعلى أساس هذه النسبة بين درجات الانضغاط والتمدد يمكن القول إن المحرك سيعمل بتمدد إضافي . وعند العمل على الخنق الكامل لا يسمح بالإغلاق المبكر لصمام السحب لأن ذلك يعود إلى عدم الاستفادة من امتلاء جزء من الحجم الفعال ، ولا نحصل على الاستطاعة العظمى، وللتغلب على ذلك يمكن إجراء توافق بين إغلاق مبكر لصمام السحب مع الشحن وموازنة انخفاض المقطع - الزمن للصمام بزيادة ضغط الشحن.

وبذلك فإنه في الدارة المقترحة (دائرة مولر) عند الشحن تنخفض درجة الضغط الفعلية ودرجة حرارة الشحن في ن . م وهذا شديد الأهمية لمحرك البنزين . وإذا أغلق صمام السحب في المحرك عديم الخنق بشكل متأخر فسيتم الحصول على حمولة جزئية كما في حالة الانفتاح المبكر ، وبالمقارنة مع الإغلاق المبكر لصمام السحب:

أولاً: ستظهر ضياعات إضافية عند جريان جزء من الشحنة في الأسطوانة وعندما يعود بعدها إلى مجرى الدخول بشكل معاكس.

ثانياً: لانتخفاض درجة حرارة الشحنة في ن . م . س عند العمل مع الشحن كما في دورة موللر، وعند الإغلاق المتأخر لصمام السحب شكل - ٢٢ b، كذلك يمكن أن تنخفض نسبة الانضغاط الفعلية.

والطرد العكسي للشحنة خلال فترة تأخير إغلاق الصمام يتوازن كما في دائرة موللر بالزيادة المرافقة لضغط الشحن.

عند الإغلاق المتأخر لصمام السحب (النقطة a شكل - ٢٢ b) تنخفض نسبة الضغط الفعلية مما يلزم (عند عمل المحرك العامل بالشرارة وفي حالة الشحن) التخلص من ظاهرة الصفع.

ويكون التبادل الغازي باستخدام جميع الصمامات ضرورياً في حالات العمل بمصروف هواء مرتفع (حمولة كبيرة ودوران عالي).

وعند العمل بمصروف هواء بسيط من المفيد فصل واحد من اثنين (واحد أو اثنين من ثلاثة) من صمامات الدخول. وهذا يرفع من سرعة الشحنة في فتحة الصمام المفتوح ويمنع ضياع الطاقة عندما تفصل الصمامات.

وتعطي آلية التحكم الكهر ميكانيكية بحركة الصمامات إمكانية فصل بعض الأسطوانات مما يرفع من اقتصادية العمل عند الحمولات الخفيفة والمتوسطة للمحركات عديدة الأسطوانات. والتحكم الكمي (من دون خنق) للحمولة تؤمنه آلية تغير المقطع - الزمن عند ثبات أطوار التوزيع الغازي شكل - ٢١ c).

والتحكم بارتفاع صمام السحب يسمح بتحسين عملية الخلط والاحتراق عند الحمولات الخفيفة، لكن الضياعات المرافقة لعملية التبادل الغازي لانتخفاض.

إن عملية التحكم بأطوار التوزيع الغازي وبقانون رفع الصمامات تمتلك إمكانية كبيرة لتحسين عوامل المحرك الاقتصادية، والطاقة والبيئية، وعندئذ

تكون عوائد التحكم بصمامات السحب أكبر من التحكم بصمامات الطرد.
وإذا كان منظور في تصميم مجرى السحب إمكانية تغير طول المجرى فإن
هذا يتفق مع تغير أطوار التوزيع الغازي.

٥.١ - التبادل الغازي في المحركات ثنائية الأشواط:

الفترة الكاملة لعمليات التبادل الغازي في المحركات ثنائية الأشواط المقاسة
بدرجات دوران عمود المرفق هي أقل بـ ٣ - ٣,٥ مرة مما هي عليه في
المحركات رباعية الأشواط.

والجزء الأكبر من عملية التبادل الغازي يجري عندما تكون تجهيزات
السحب والطرد مفتوحة في آن معاً، وتتدخل الشحنة في الأسطوانة عند
 $P_k > P$.

ويسمى دور التبادل الغازي من بداية انفتاح تجهيزات الطرد وبداية دخول
الشحنة في الأسطوانة "الطرد الحر". وفي بداية هذا الدور تغادر نواتج
الاحتراق الأسطوانة عبر تجهيزات الخروج بسرعة حرجة، وبعدها يستمر
الجريان في مجال ماتحت الحرج.

وحتى لحظة بداية انفتاح تجهيزات السحب يكون الضغط في الأسطوانة أكبر
مما هو عليه في مجمع السحب (أو في حجرة المرفق) أي أن $P > P_k$. لذلك
فإن غازات العادم تتسرب عبر تجهيزات السحب بكمية قليلة في مجمع السحب
ويتولد الضغط P_k في مجمع السحب بواسطة مغذٍ خالص (في حجرة المرفق
بواسطة المكبس).

عندما يكون الضغط $P_k > p > P_v$ يبدأ دور (طور) التهوية - الامتلاء
أي أن الشحنة تدخل إلى الأسطوانة، وتختلط مع غاز العادم الباقي من دورة
سابقة وفي الوقت نفسه يستمر جريان نواتج الاحتراق عبر تجهيزات الطرد ثم
تختلط الشحنة مع بقايا الغازات.

وفي نهاية التبادل الغازي في مخطط العروة للتبادل الغازي يحدث الطرد المتمم، عندما تبقى تجهيزات السحب وتجهيزات الطرد مازالت مفتوحة. وفي المحركات ذات المخطط المستقيم لعملية التبادل الغازي تغلق تجهيزات الطرد إما بشكل متواقت مع تجهيزات السحب أو بتأخير بسيط، لذلك فإن الطرد المتمم إما أن ينعدم أو يتم لفترة بسيطة، وعند إغلاق تجهيزات السحب بشكل متأخر عن تجهيزات الطرد فإنه يحدث سحب متمم (عندما يكون $P < P_i$).

وترتبط مسألة عملية التبادل الغازي في المحركات ثنائية الأنواط، بشكل كبير بمخطط عملية التبادل الغازي، وهناك تصاميم عديدة مختلفة للتبادل الغازي لكن جميعها تعود إلى نوعين أساسيين: العروة (المحيطة)، المستقيمة الخطية.

في المخطط العروي شكل - ٢٣ a,b يمكن اعتبار حركة الغازات ومن تقدير أولي موجهة من الشكل المماثل لجوانب التهوية على طول جدران الأسطوانة باتجاه حجرة الاحتراق، ومنها على طول الجهة المقابلة للأسطوانة ولأسفل إلى نوافذ الطرد.

ويتم التحكم بنوافذ التهوية والطرد في المخططات العروية بواسطة المكبس، ولمخططات العروة ميزاتها: منها الإغلاق المتأخر لتجهيزات الطرد السذي يرافقه ضياع جزء من الشحنة نتيجة الطرد المتمم.

وهذه المخططات أقل جودة في عملية التبادل الغازي من المخططات الخطية المستقيمة. لكنها تتميز بالبساطة، ولهذا تستخدم في المحركات ذات الاستطاعة الصغيرة (في محركات الإقلاع وفي الدراجات النارية).

- المخططات المستقيمة شكل - ٢٣ c, (أكثر تعقيداً، ولكن عمليات التهوية والامتلاء تجري فيها بصورة أفضل وجودة أكبر. خلافاً لمخططات العروة

تغلق تجهيزات الطرد قبل تجهيزات التهوية ، مما يسبب اختصار الطرد المتمم وزيادة امتلاء الأسطوانات بالشحنة الجديدة.

والاتجاه الذي ينطبق مع نوافذ التهوية يؤمن حركة دورانية للشحنة نسبة لمحور الأسطوانة فتتحسن عملية التهوية وعملية الخلط أيضاً.

وبفضل التهوية الجيدة وانخفاض النسبة الضائعة من الحجم تسمح المخططات المستقيمة بالحصول على عوامل اقتصادية أفضل، واستطاعة أعلى بالمقارنة مع المخططات العروية .

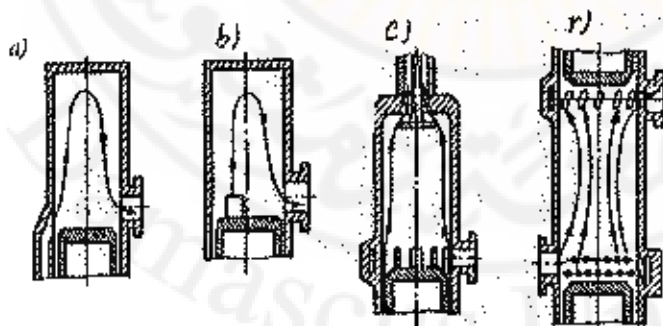
والمخططات المستقيمة للتبادل الغازي يمكن أن تكون بفتحات أو بصمامات مع فتحات.

عند التهوية والطرد المتمم يضيع جزء من الشحنة عبر تجهيزات الطرد، وهذا أمر غير مرغوب فيه ولاسيما في محركات البنزين.

نسبة كمية الهواء (أو المزيج) M_k المعطاة للأسطوانة على كمية الشحنة M_{ic} الباقية في الأسطوانة بعد عملية التبادل الغازي تسمى عملية التهوية

$$\varphi_n = \frac{M_k}{M_{ic}}$$

كلما كانت φ_n أكبر كان ضياع الشحنة أكبر عند عملية التهوية.



شكل - ٢٣

لكن الجهد الحراري لبعض الأجزاء في المحرك (المكبس، صمامات الطرد، رأس الأسطوانة) ينخفض نتيجة تبريد أفضل لداخل الأسطوانة بالهواء (أو بالخليطة).

وتكون جودة تنظيف وامتلاء الأسطوانة في المحرك ثنائي الأشواط أقل مما في المحرك رباعي الأشواط، كما أن تشغيل المغذي (الضاغط) يحتاج إلى استطاعة معينة.

٦.١ - عوامل ومؤشرات عمليات التبادل الغازي:

بعد انتهاء عملية التبادل الغازي تمتلئ الأسطوانة بجسم التشغيل (الخليطة) الذي يتألف من الشحنة الجديدة والجزء المتبقي من الغازات بعد إغلاق صمامات السحب والطرْد .

- عوامل عمليات التبادل الغازي:

تقدر جودة عملية تنظيف الأسطوانة من نواتج الاحتراق بنسبة كمية الغازات المتبقية M_r (كيلو مول) إلى كمية الشحنة الجديدة M_{ic} التي دخلت إلى الأسطوانة بعد نهاية عملية السحب، وتسمى هذه النسبة معامل الغازات المتبقية.

$$\gamma = \frac{M_r}{M_{ic}} \quad (3.1)$$

وإذا اعتبرنا نهاية عملية الطرد في المحرك رباعي الأشواط هي النقطة الميتة العليا فإن:

$$M_r = \frac{P_r V_c}{8314 T_r}$$

حيث إن T_r , P_r - الضغط المطلق (باسكال) والحرارة المطلقة k للغازات المتبقية.

V_c - حجم حجرة الاحتراق م^٣.

8314- الثابت الغازي العام /جول /ك. مول. ك .

وبذلك فإن جميع العوامل المؤدية إلى زيادة الضغط P_r (مقاومة صمام الطرد ومجرى الطرد) أو انخفاض الحرارة T_r (تركيب الخليطة ، معامل التمدد ، الانتقال الحراري خلال عمليات الاحتراق والتمدد) تؤدي إلى زيادة المعامل γ .

وإذا كانت $V_r = \frac{V_h}{\epsilon - 1}$ فإنه بزيادة ϵ تنخفض γ وهذا السبب الرئيسي الذي يجعل γ في محركات الديزل أقل بكثير مما هي عليه في المحركات العاملة بالشرارة .

في المحركات ثنائية الأشواط وبسبب عدم إتمام عملية التهوية - الامتلاء تكون γ ذات قيمة عالية نسبياً .

ويعتبر نظرياً أن الشحنة الجديدة تدخل إلى الأسطوانة عند حركة المكبس من ن . م . ع إلى ن . م . س أي يمكن أن تملأ الحجم الفعال للأسطوانة V_{11} . ولذلك فإن الخاصية الرئيسية لجودة عملية التبادل الغازي هي معامل جودة السحب η_v (معامل الجودة الحجمية) أو ما يسمى معامل امتلاء الأسطوانة. والذي يساوي نسبة كمية الشحنة الجديدة الفعلية M_{11} التي تملأ الأسطوانة بنهاية عملية التبادل الغازي ، إلى كمية الشحنة الجديدة M_T التي يمكن أن تملأ الحجم الفعال للأسطوانة عند الظروف الجوية الطبيعية T_0, P_0 (للمحركات رباعية الأسطوانة غير المشحونة) أو عند T_k, P_k (للمحركات رباعية الأشواط المشحونة والمحركات ثنائية الأشواط) .

للمحرك البنزيني وعند حساب معامل جودة السحب تهمل كمية الوقود في الخليطة وتحسب كمية الهواء وهذا لا يؤثر كثيراً على قيمة η_v الحاصلة:

$$\eta_v = \frac{M_{11}}{M_T} = \frac{G_{11}}{G_T} = \frac{G_{11}}{\rho_k V_h} = \frac{V_{11}}{V_h} \quad (3.2)$$

حيث G_{1c} - كتلة الشحنة الجديدة K_g .

V_1 - حجم الشحنة الجديدة منسوبة إلى ظروف عملية السحب (T_0, P_0) أو $\rho_k(P_k, T_k)$.

M_T, G_T - كمية الشحنة (كيلومول) و (كيلو غرام) التي تملأ الحجم الفعال نظرياً.

ρ_k - كثافة الشحنة عن T_0, P_0 أو عند T_k, P_k / كغ/م³.

- حساب عوامل عمليات التبادل الغازي:

العمليات الحرارية والغاز ديناميكية المعقدة الحاصلة عند عملية التبادل الغازي تجعل الحساب الدقيق للعملية صعب جداً.

وفي إطار الحساب الترموديناميكي للدورة الحرارية الفعلية يبقسى حساب عمليات التبادل الغازي بالشكل الأولي.

عوامل الغازات الناتجة عن الاحتراق لا تحسب، بل تعطى وفقاً لخصوصية تصميم المحرك ومجرى الطرد فيه .

وكذلك يتم اختيار قيمة تسخين الشحنة الجديدة (دون حساب) ΔT عند التبادل الحراري مع الجدران الحارة لمجرى السحب والأسطوانة.

قيمة ΔT تتخفف قليلاً عند زيادة زمن الدورات وعند انخفاض حرارة السطوح الحارة. وفي المحرك العامل بالشرارة ترتبط أيضاً بعملية تبخر الوقود خلال عملية الخلط.

وكلما ازدادت ΔT انخفضت كثافة الشحنة، وتبعاً لذلك ينخفض معامل جودة السحب.

وإذا اعتبرنا أن عملية السحب تنتهي في ن. م. س فإن حرارة نهاية السحب T_a يمكن إيجادها من التوازن الانتالبي .

$$C_p M_{1a} (T_k + \Delta T) + C_r M_r T_r = C_p' M_{1a} + M_r T_a \quad (3.3)$$

حيث M_{ia} - كمية الشحنة الجديدة ك . مول في الحجم V_a .
 بما أن نسبة الغازات المتبقية في الشحنة ليست كبيرة ، فإنه يمكن اعتبار
 السعة الحرارية للشحنة ، والسعة الحرارية للمزيج (الشحنة والغاز المتبقي)
 متساويتين $C_p = C'_p$.

وإذا اعتبرنا السعة الحرارية للغازات المتبقية $C_r = \phi . C_p$ ، وتغير كمية الشحنة
 خلال أطوار الإغلاق المتأخر نصمام السحب من خلال معامل السحب المتمم

$$\phi_1 \left(\phi_1 = \frac{M_{1e}}{M_{1a}} \right) \text{ و } M_{ia} + M_r = M_{1a}(1 + \phi_1 \gamma) \text{ يصبح لدينا أخيراً:}$$

$$T_a = \frac{(T_k + \Delta T + \phi \phi_1 \gamma T_r)}{1 + \phi_1 \gamma} \quad (3.4)$$

في المحركات رباعيات الأشواط غير المشحونة تؤخذ عادة $T_k = T_o$ عند
 الحساب بالعلامة (٣.٣) .

وللحصول على المعادلة الضرورية لحساب η_r ، نكتب معادلة الحالة للشحنة
 في النقطة a شكل-١٤ .

$$M_{ia} + M_r = \frac{P_a V_a}{8314 T_a} \quad (3.5)$$

وعند وجود المكبس في ن . م . س :

$$P_a V_a = 8314 (M_{ia} + M_r) T_a = 8314 \left(\frac{M_{1e}}{\phi_1} + M_r \right) T_o = 8314 M_{1e} \frac{1 + \phi_1 \gamma}{\phi_1} T_o \quad (3.6)$$

ومنه :

$$M_{1e} = \left[\frac{\phi_1 P_a V_a}{8314 T_o} \right] \left[\frac{1}{1 + \phi_1 \gamma} \right]$$

الكمية النظرية للشحنة كيلو مول :

$$M_T = \frac{P_k V_h}{8314 T_k} \quad (3.7)$$

وعلى أساس (3.2) ، (3.6) ، (3.7) يمكن كتابة :

$$\eta_v = \frac{M_{1c}}{M_r} = \phi_1 \frac{P_a}{P_k} \frac{V_a}{V_k} \frac{T_k}{T_a} \cdot \frac{1}{1 + \phi_1 \gamma}$$

وبما أن:

$$\frac{1}{T_a(1 + \phi_1 \gamma)} = \frac{1}{T_k + \Delta T + \phi \phi_1 \gamma T_r}, \quad \frac{V_a}{V_k} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}$$

نحصل أخيراً على مايلي:

$$\eta_v = \phi_1 \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{P_a}{P_k} \frac{T_k}{T_k + \Delta T + \phi \phi_1 \gamma T_r} \quad (3.8)$$

هذه المعادلة مناسبة للمحركات رباعية الأشواط وثنائية الأشواط. وفي المحركات ثنائية الأشواط تؤخذ القيمة الفعلية لنسبة الانضغاط.

وفيما يخص المحركات رباعية الأشواط يمكن الحصول على معادلة أخرى لحساب η_v إذا اعتبرنا أن الطرد ينتهي بعد ن . م . ع ، وفي ن . م . ع كمية الغازات المتبقية تساوي M'_r وعندها تكون كمية الغازات المتبقية بعد إنهاء عملية الطرد : $M_r = \phi_o M'_r$ ، حيث ϕ_o - معامل التنظيف ويأخذ بعين الاعتبار تغير كمية الغازات المتبقية خلال أطوار تأخر إغلاق صمام الطرد وبذلك نحصل على العلامة النهائية التالية :

$$\eta_v = \phi_1 \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{T_k}{T_k + \Delta T} \cdot \frac{P_a}{P_k} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{P_r}{P_a} \phi \phi_o \right) \quad (3.9)$$

عند الحساب تعطى قيمة P_a على أساس المعطيات التجريبية . جدول ١٠٣

وللمحركات رباعية الأشواط غير المشحونة نأخذ $T_k = T_a$, $P_k = P_a$ وقيمة P_a تساوي :

$$P_a = P_o - \Delta P_o \quad (3.10)$$

ضبايع الضغط خلال السحب ΔP_o يمكن تقديرها بالعلاقة :

$$\Delta P_o = (\beta^2 + \zeta_{in}) \left(\frac{\rho_{in} \cdot W_{in}^2}{2} \right)$$

حيث ζ_{in} - معامل المقاومة لمجرى السحب.

$$\beta = \frac{w_c}{w_{cp}} = \text{معامل تخميد سرعة الشحنة في الأسطوانة } w_c.$$

w_{cp} - السرعة الوسطية للشحنة .

ρ_{cn} - كثافة الشحنة في مقطع مجرى السحب.

وفي النظام الاسمي لمحركات السيارات:

$$w_{cp} = 50 \dots 120 \text{ M/S'}$$

$$(\beta^2 + \zeta_{cn}) = 2,5 \dots 4,$$

وفي الجدول التالي تظهر القيم التقريبية للعوامل الرئيسية للتبادل الغازي

(المحددة تجريبياً) عند عمل المحركات على النظام الاسمي.

وتتعلق العوامل الأساسية للتبادل الغازي بمهمة المحرك (سيارة سياحية ،

شاحنة) وفي السيارات السياحية تكون قيمة γ أصغرية وقيم P_a ، η_v أعظمية .

جدول (٢) :

مؤشر	محركات رباعية الأشواط		محركات ثنائية الأشواط
	بنزينية	ديزل	
- معامل الغازات المتبقية γ_r	٠,٠٨ - ٠,٠٦	٠,٠٦ - ٠,٠٣	٠,١٠ - ٠,٠٤
ضغط نهاية الطرد P_r ميغا باسكال	٠,١٢٠ - ٠,١٠٥	٠,١٢٠ - ٠,١٠٥	٠,١٠٥ - ٠,١٢٠
- حرارة نهاية الطرد $k T_r$	٩٠٠ - ١٠٠٠	٩٠٠ - ٩٠٠	٩٠٠ - ٩٠٠
- معامل جودة السحب η_v	٠,٨٥ - ٠,٧٥	٠,٩٥ - ٠,٨	٠,٨٥ - ٠,٧٥
- ضغط السحب P_a MPa	٠,٠٩ - ٠,٠٨٥	٠,٠٩٥ - ٠,٠٨٥	(٠,٠٥ - ٠,٠٨٥) P_k

١٠ - ٥	٤٠ - ٢٠	٢٥ - ٠	ΔT - تصخين الشحنة
٤٠٠ - ٣٢٠	٣٥٠ - ٣١٠	٣٨٠ - ٣٢٠	حرارة السحب T_s K°

٧.١ - العوامل المؤثرة على عمليات التبادل الغازي:

العلاقة المعقدة التي تربط ما بين العوامل المحددة لمعامل جودة السحب η_s تقود إلى نتائج غير دقيقة عند المدخل الشكلي لتقدير تأثيراتها على المعامل η_s . مثال من العلاقة 3.10, 3.8 ينتج أنه بزيادة ε ، معامل السحب سوف ينخفض طردياً مع النسبة $\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}$ ، لكن في الواقع هذه العلاقة أكثر تعقيداً لأنه عند زيادة نسبة الانضغاط تنخفض T_s, γ وتتغير أيضاً بعض القيم المؤثرة على η_s ، وكما تبين التجارب فإن نتيجة تغيرات بعض المقادير لا يتعلق المعامل η_s بالنسبة ε عملياً. ومن هنا ينتج عند دراسة التأثيرات المختلفة على مؤشرات عملية التبادل الغازي أنه يجب احتساب تأثير هذه المؤثرات على القيم المتعلقة بها والتي تدخل في العلاقات الرياضية التي من خلالها نحسب مؤشرات عملية التبادل الغازي

- عملية شحن الهواء : هي الطريقة الأساسية لزيادة امتلاء الأسطوانة نتيجة زيادة كثافة الهواء ρ_k معلوم أنه عند الانضغاط البوليتروبي يزداد ضغط الغازات بنسبة كبيرة بالمقارنة مع ارتفاع الحرارة مما يؤمن زيادة كثافة الهواء على مخرج ضاغط الهواء . لكن عند هذا الضغط (بعد الضاغط) تزداد كثافة الهواء أمام صمامات السحب ρ_k و يزداد امتلاء الأسطوانة (الكتلي) بشكل كبير، وكذلك عندما يركب مبرد بين الضاغط والأسطوانة لتبريد هواء الشحن. وكلما ازداد ضغط الشحن ازداد التأثير الإيجابي لعملية استخدام المبرد.

وبما أن الحرارة T_k تزداد بنسبة أكبر من حرارة جدران الأسطوانة فإن

تسخين الشحنة ΔT_k يمكن أن ينخفض، بغض النظر عن ارتفاع معامل الانتقال الحراري. في المحرك المشحون ميكانيكياً $\frac{P_k}{P_p} > 1$ وعند الشحن التوربيني تتعلق هذه النسبة بمردود نظام الشحن ويمكن أن تكون أقل أو تساوي أو أكبر من الواحد.

عندما تكون $\frac{P_k}{P_p} < 1$ فإنه بزيادة عدد الدوران يزداد انخفاض الضغط عند السحب وعند الطرد ويزداد الضياع في عملية التبادل الغازي وينخفض η_v . وعند زيادة ضغط الشحن تزداد النسبة $\frac{P_k}{P_p}$ لأن الضياع النسبي للضغط في مجرى السحب وفي الصمام ينخفض. وفي الوقت ذاته بزيادة ضغط الشحن يزداد معامل السحب قليلاً.

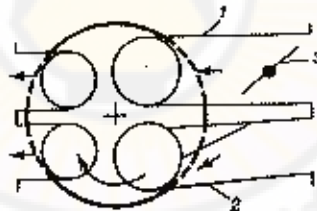
- المقاومة خلال السحب :

كلما ازداد الضياع ΔP_o انخفض الضغط P_o ، وازدادت كثافة الشحنة في الأسطوانة ومعامل السحب وضياعات عمليات السحب والطرد أيضاً. تؤثر على ΔP_o مقاومة مجرى السحب وسرعة الشحنة. وتتعلق مقاومة مجرى السحب بمقاومة صمام السحب أولاً، وبوجود مبرد الهواء (عند الشحن) الأكواع، والتنظيفات الموجودة في المجرى وخشونة سطوح المجاري في رؤوس الأسطوانات، ومقاومة المغذي، ومصفاة الهواء وغيرها. وتكون المقاومة في مجرى السحب في محركات الديزل وفي محركات البنزين ذات الحقن المباشر أقل من المحركات ذات المغذي.

وتدل العلاقة 3.10 على أن الضغط P_o يؤثر على η_v بشكل أكبر من P_r لذلك تجري المحاولات لزيادة قطر صمام السحب ما أمكن، وزيادة أعداد صمامات السحب بالمقارنة مع صمامات الطرد، وفي الديزل الذي تكون فيه

حجرة الاحتراق ضمن المكبس ، وعندما تتوضع البخاخات في المركز ، وفي المحركات العاملة بالشرارة في السيارات السباحية يلاحظ زيادة معامل السحب باستخدام أربعة صمامات (اثنان للسحب ، اثنان للطرد) في الأسطوانة ، وأحيانا ثلاثة صمامات دخول أو اثنان وواحد للطرد في الأسطوانة الواحدة وعندما يكون عدد صمامات السحب في الأسطوانة $(D = 82 \text{ MM})$ 1, 2, 3، تتناسب مساحات مقاطع التصريف فيها كمايلي: 1 : 1,3, 1,5 وهذا يفسر زيادة المعامل η_v بزيادة عدد الصمامات .

وفي بعض الحالات يتم تشكيل حركة مضطربة كثيفة للشحنة في الأسطوانة بجعل أشكال قنوات السحب في رأس الأسطوانة لولبية أو مائلة أو تركيب صفائح إضافية متحركة ، غير أن مقاومة هذه القنوات تزداد قليلاً. ويمكن التحكم الجيد بالحركة النشيطة للشحنة في الأسطوانة عند استخدام صمامين للسحب، في هذه الحالة تجعل قناة السحب إلى أحد الصمامين لولبية وإلى الآخر - مستقيمة وفي القناة المستقيمة تركيب صفيحة متحركة تولد الاضطراب المطلوب شكل-٢٤.



شكل - ٢٤

عند تنوير الصفيحة فإن شحنة أكبر تجري في القناة اللولبية وتقوى الحركة المضطربة للشحنة، مما يحسن عملية اشتعال واحتراق المزيج فسي المحرك العامل بالشرارة (على الحمولات الجزئية) ويستخدم تأثير المقاومة الهيدروليكية لمجرى السحب على η_v للتحكم الكمي بالحمولة لدى المحركات

العاملة بالشرارة .

وعند تدوير صحيفة الخثق من حالة الانفتاح الكامل إلى حالة الانفتاح الأدنى ينخفض η_v من (٠,٧٥ - ٠,٩) على (٠,١٥ - ٠,٢٥) وتزداد بشكل كبير في نفس الوقت الضياعات خلال التبادل الغازي مما يشكل أهم سسلييات التحكم الكمي بالحمولة.

عند استثمار المحركات يجب منع الاتساخ الزائد لمصافي الهواء ، زيادة الخلوص في آلية تشغيل صمامات السحب، وكذلك منع تآكل حديدات محصور الكامات، لأن ذلك يسبب انخفاض قيمة المقطع - الزمن لصمامات السحب الذي يؤدي إلى زيادة المقاومة في أثناء السحب، وتبعاً لذلك تنخفض مؤشرات الاستطاعة لدى المحرك.

- التحكم بمنظومة السحب :

من أجل توسيع مجال أنظمة السرعة التي يعمل عليها المحرك المشحون ديناميكياً ، تستخدم أنظمة سحب مزودة بتجهيزات تحكم ، وأنظمة ذات أطوار متغيرة للتوزيع الغازي.

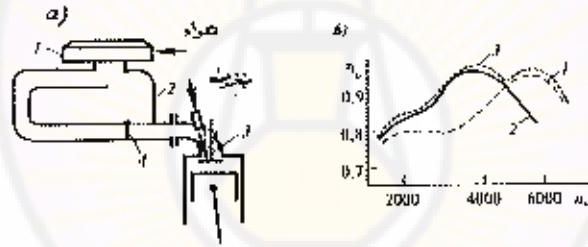
بزيادة زمن الدوران يفضل زيادة أطوار التوزيع الغازي ، وتخفيض طول مجرى السحب. وعند دوران معين ويتوافق معين بين أطوار التوزيع الغازي وطول مجرى السحب يمكن الحصول على η_v أعلى من الواحدة (١,٠٥ - ١,٠٨).

على الشكل - ٢٥ a يظهر مخطط نظام سحب يسمح بتغير طول مجرى السحب بالتحكم المباشر بواسطة الصفيحة ٤ .

وعند عمل المحرك سريع الدوران بسرعات متوسطة أو منخفضة تقع الصفيحة في الوضعية الأفقية ، ويدخل الهواء عبر المصفاة ١ إلى المجمع ٢ وبعدها يجري على طول القناة مما يؤمن عملية السحب المتمم للأسطوانة

بشكل جيد .

وعند السرعات العالية تنتقل الصفيحة آلياً إلى الوضعية العمودية وتجعل حركة الهواء تجري في القناة القصيرة مما يحسن عملية السحب المتمم وهناك أنظمة تستخدم صفيحتين ٤ متوضعيتين على التسلسل مما يحسن عملية التحكم بالسحب. وتستخدم الأنظمة المزودة بتجهيزات التحكم أساساً بالمواكبة مع عملية حقن البنزين وباستخدام صمامين للسحب في كل أسطوانة لأنه في هذه الحالة تنخفض المقاومة الإجمالية لنظام السحب بسبب انخفاض ضياعات الضغط في الصمامات وفقدان الهدر الناجم عن المغذي وجودة التجهيزات الديناميكية تزداد وتظهر على الشكل - ٢٥ b تغيرات المعامل η عند استخدام الأنظمة المزودة بتجهيزات تحكم .



شكل - ٢٥

-المقاومة في أثناء الطرد:

وهي مقاومة صمام الطرد ، وكاتم صوت ، ومخفض التلوث ، ودولاب التوربين في نظام الشحن وجملة المجاري . عند زيادة المقاومة في أثناء عملية الطرد يزداد ضياع العمثل على التبادل الغازي، ويتأثر الضغط P_r بالمقاومة ، فعند زيادة P_r (عند زيادة السرعات) وثبات T_r تزداد كثافة الغازات وكتلتها المتبقية وتنخفض درجة امتلاء الأسطوانة. وتدفق الغازات

عبر مجرى الطرد (ودولاب نظام الشحن) G_T ، مرتبط بتدفق الهواء (غطاء الضاغط) G_k وتدفق الوقود G_F وبالتسرب أيضاً G_y ويساوي:

$$G_T = G_k + G_F - G_y$$

وعند الاستثمار يجب فحص وعيار الخلوصات في آليات تشغيل صمامات الطرد في الوقت المناسب، لأنه عندما تزداد الخلوصات عن الحد الأعظمي المسموح به، يمكن أن ينخفض امتلاء الأسطوانة واستطاعة المحرك بسبب انخفاض معامل المقطع - الزمن

وكذلك يؤثر أيضا الضغط P_T عندما تتراكم الأوساخ على كاتم الصوت أو مخفض ثلوث الغازات .

أما الحرارة T_T فتأثيرها على المعامل η_v ليس كبيراً : مثال عند التبريد من الحرارة المرتفعة T_T عندما يجري التبادل الحراري مع الشحنة الجديدة ينخفض حجم الغازات المتبقية بشكل كبير ، وتفسح المجال أمام دخول الشحنة مما يوازن الزيادة المرافقة للحرارة T_{T2} .

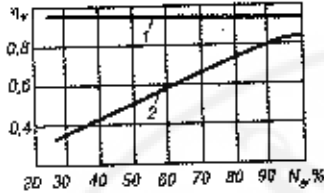
- نظم العمل :

على الشكل - ٢٦ يظهر تغير η_v تبعاً للحمولة : للدیزل ١ ، ولمحرك البنزين ٢ ، وذلك عند ثبات زمن الدوران . والعلاقات $\eta_v = f(N_e)$ في هذه المحركات لها صبغة مختلفة نتيجة الاختلافات المبدئية في عملية التحكم بالاستطاعة.

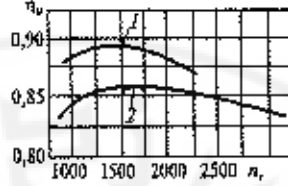
ففي الديزل : ولزيادة الاستطاعة نحقق في الأسطوانة كمية أكبر من الوقود ولذلك ترتفع الحالة الحرارية لأجزاء المحرك وتزداد سخونة الشحنة في مجرى السحب، ولهذا السبب (وبغض النظر عن ثبات مقاومة مجرى السحب عند زيادة الحمولة) فإن المعامل η_v ينخفض قليلاً .

وعملية الخنق المستخدمة في محرك الشرارة لتخفيض الحمولة يرافقتها

انخفاض الضغط في مجرى السحب في الأسطوانة، ويزداد تسخين الشحنة الجديدة ΔT .



شكل - ٢٦



شكل - ٢٧

في عملية الخنق عدد المولات M_{Ic} للغازات يتغير قليلاً في الوقت الذي تنخفض فيه كمية المولات للخليطة الجديدة M_{Ic} وكذلك توجد حالة ازدياد معامل الغازات المتبقية. ولهذه الأسباب فإن انخفاض الحمولة في مجرى الشرارة مرتبط بانخفاض قيمة η_v .

والصيغة العامة للعلاقة $\eta_v = f(n)$ لكل النوعين من المحركات عند الحمولات العظمى واحدة مبدئياً شكل - ٢٧ وتحدد العوامل التالية :

أولاً: عند زيادة زمن الدورات تزداد سرعة الشحنة في مجرى السحب و ΔP_{II} تبعاً لذلك . ولهذا السبب بزيادة زمن الدوران عن القيمة الموافقة للقيمة العظمى للمعامل η_v يبدأ المعامل بالانخفاض، بغض النظر عن زيادة السحب المتمم وانخفاض تسخين الهواء (المزيج) في مجرى السحب.

ثانياً: عند السرعات المنخفضة للدوران عندما يتأخر إغلاق صمام السحب تتولد حالة طرد معاكس للشحنة من الأسطوانة على مجرى السحب، هذا الطرد يزداد كلما انخفض زمن الدوران. ازدياد ΔT يؤدي إلى انخفاض η_v . وانخفاض η_v عن القيمة العظمى (عند تخفيض أو زيادة زمن الدوران)

يمكن الحد منه بعملية التحكم بأطوار التوزيع الغازي و (أو) مجرى السحب.

-الظروف الجوية:

كلما كانت الحرارة منخفضة والضغط الجوي مرتفعاً ازدادت كمية الشحنة M_{1c} التي تدخل إلى الأسطوانة، أي تزداد الكمية النظرية للشحنة M_{1c} . وتدل التجارب على أن زيادة الضغط P_o عملياً لا يؤثر كثيراً على قيمة η_v ، من جهة أخرى (وبنتيجة التجارب) يبدو أن معامل السحب يتناسب طردياً مع المقدار $\sqrt{T_o}$ حيث أن $m=2-4$. وبذلك فإن زيادة الحرارة T_o تؤدي إلى زيادة η_v .

لكن عندها تنخفض كثافة الهواء بشكل واضح وتنخفض معها الشحنة الجديدة:

$$G_{Be} = \eta_v \cdot V_h \cdot \rho_o$$

ومن هنا ينتج أن زيادة η_v لا يعني بالضرورة أن تدخل شحنة كبيرة إلى الأسطوانات . وفي الوقت نفسه فإن الاستطاعة التي يمكن أن يعطيها المحرك تتعلق بكمية الهواء (عند كمية معينة للوقود). وبذلك يجب التفريق بين الخاصية النسبية للامتلاء التي يدل عليها η_v والامتلاء الكتلي الذي تدل عليه الكمية المطلقة للشحنة G_B . كغ/ سا التي تدخل إلى الأسطوانة خلال ساعة.

$$G_B = \frac{120}{\tau} \cdot i \cdot V_h \cdot n \cdot \rho_o \cdot \eta_v$$

وتبعاً للظروف الجوية تتغير G_B طردياً مع تغير كثافة الهواء والانخفاض الكبير لـ P_o و G_B . وانخفاض الاستطاعة يمكن مصادفته عند حركة السيارات على المرتفعات الجبلية.

٢- عملية الضغط:

عملية ضغط الشحنة نحصل بواسطتها على زيادة الحالة الحرارية للدورة الحرارية الفعلية وتحسين عمليات الاشتعال والاحتراق ، والحصول على عمل كبير خلال عملية التمدد ورفع مستوى اقتصادية عمل المحرك.

يحصل ضغط الشحنة (شوط الانضغاط) عندما يتحرك المكبس من ن. م. س إلى ن. م. ع بعد إغلاق صمام السحب (نوافذ السحب) ويرافق العملية عملية تبادل حراري.

وتتغير وجهة انتقال الحرارة في أثناء العملية، ففي البداية تنقل الحرارة q' من جدران الأسطوانة الحارة إلى الشحنة (المنحني a1 شكل - ٢٨) باعتبار أن عملية السحب تنتهي في النقطة a بعدها وباستمرار حركة المكبس إلى ن. م. ع وازدياد درجة الحرارة يبدأ الانتقال الحراري إلى الجدران من الأسطوانة q'' (المنحني c 1) وبذلك فإن عملية الانضغاط تجري بولتيروبياً بأس متغير.

في البداية يكون $n_1 > k$ ثم يصبح $n_1 = k$ بعدها $n_1 < k$. ويكون الأس الوسطي لبولتيروب الانضغاط في مجال $1,2 < n_1 < 1,4$. وبزيادة دوران عمود المرفق يزداد n_1 وتقترب العملية من الأدبيات ويحدث ذلك أيضاً عند زيادة أبعاد الأسطوانة. ويحدث ذلك بسبب انخفاض القيمة النسبية لسطح التبريد في الأسطوانة. وبهذا تفسر صعوبة إقلاع المحرك الذي يحتوي على أسطوانات صغيرة الأبعاد وبزيادة الحمولة وعند استخدام عملية شحن المحرك يزداد الأس n_1 . وعند تبريد المكابس أو عند زيادة سطح التبريد النسبي للأسطوانة ينخفض n_1 .

وباعتبار أن عملية الانضغاط بولتيروبية يمكن حساب الضغط والحرارة فسي نهاية العملية وحساب العمل (شكل - ٢٨ a).

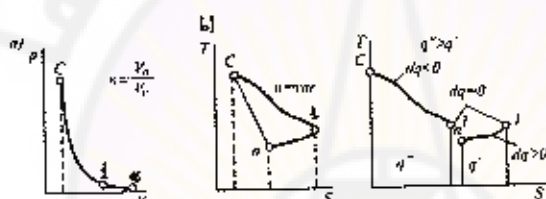
$$P_c = P_a \left(\frac{V_a}{V_c} \right)^{n_1} = P_a \cdot \epsilon^{n_1}$$

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{n_1 - 1}$$

وبذلك يرتفع الضغط والحرارة بزيادة T_a, P_a وبزيادة ϵ والأس n_1 . ويرافق عملية الانضغاط تسرب الغازات نتيجة عدم توفر الأحكام

المطلق في الأسطوانة وهذا يؤدي إلى انخفاض T_c, P_c مما يسبب انخفاض η_1 .

وحتى نهاية الانضغاط في الديزل يلزم في جميع الحالات، ومنها إقلاع المحرك البارد وبلوغ الحرارة التي يشتعل خلالها الوقود المحقون في الأسطوانة بشكل جيد . وهذا هو الذي يحدد الحد الأدنى لنسبة الانضغاط. ويزيادة نسبة الانضغاط تتحسن عملية الاستفادة من الحرارة. في الوقت نفسه تتحدد نسبة الانضغاط بسبب زيادة الحمولة من قبل قوى الغازات على أجزاء المحرك المتحركة والثابتة وكذلك الحمولة الحرارية لهذا الأجزاء.



شكل - ٢٨

في محركات الديزل التي تحتوي على حبرات احتراق منفصلة، وأبعاد منخفضة للأسطوانة، وغير مشحونة تتميز بنسبة انضغاط عالية : جدول ٢.

العوامل	ديزل غير مشحون	ديزل مشحون	محرك بنزين
نسبة الانضغاط ϵ	١٥ - ٢٣	١٢ - ١٥	٦,٥ - ١٢
أس البوليتروبي الوسطي	١,٣٨ - ١,٣٥	١,٣٧ - ١,٣٣	١,٣٨ - ١,٣٥
η_1	٢,٩ - ٦,٠٠	حتى ٨,٠٠	١,٢ - ٢,٢
الضغط MPa, P_c	٧٠٠ - ٩٠٠	١٠٠٠	٦٠٠ - ٩٠٠
الحرارة K, T_c			

في المحركات البنزينية تتعلق نسبة الانضغاط ϵ أساساً بعدد الأكتان وقطر الأسطوانة، وإذا كان عدد الأكتان غير كاف يحصل خلل في عملية الاحتراق وتظهر عملية الصفع. ويزداد تقكك نواتج الاحتراق.

٣. مفاهيم أساسية وقوانين الاحتراق:

- عملية الاحتراق وانتشار موجه الاحتراق في الحجم:

تتحول الطاقة الكيميائية للوقود إلى حرارية عند الاحتراق داخل أسطوانات المحرك وتسبق العمليات الكيميائية عمليات تبخر ومزج للوقود مع الهواء. السرعة الإجمالية للتفاعلات الكيميائية W_x في أثناء الاحتراق تحدد بالعلاقة المعروفة التالية:

$$W_x = K_0 \cdot C_T^m \cdot C_o^n \cdot e^{-\frac{E_0}{R.T}}$$

حيث K_0 - (عامل) ثابت سرعة التفاعل الكيميائي.

C_o, C_T - تركيز الوقود المؤكسد (الأكسجين).

m, n - أسس تسلسل التفاعلات بين المركبات المشاركة في التفاعل.

E_0 - طاقة النشاط المفيدة (الجارية).

R - الثابت الغازي.

T - درجة الحرارة.

الحد $e^{-\frac{E_0}{R.T}}$ يبين نسبة الجزيئات التي تمتلك طاقة أكبر من E_0 عند الحرارة

T مضروباً بالعامل K_0 والذي يسمى ثابت سرعة التفاعل الكيميائي.

في أثناء التفاعل الكيميائي تنخفض تراكيز المركبات الأولية وتزداد تراكيز نواتج الاحتراق. ويحصل في فترة لاحقة من التفاعل أن تتساوى سرعات التفاعل المباشر والعكسي وتسمى هذه الحالة "التوازن الكيميائي" وتسمى التراكيز متوازنة.

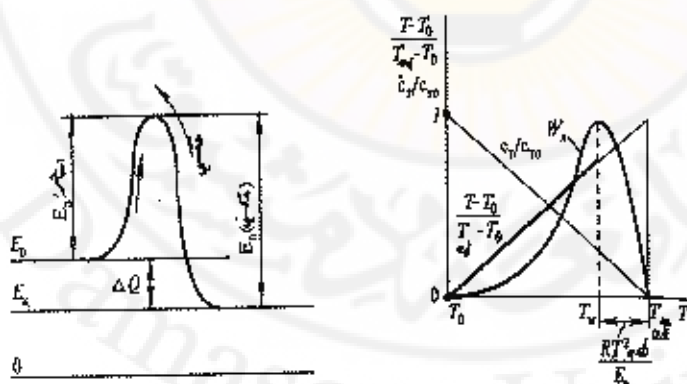
والتفاعل الكيميائي يحصل غالباً في حجم محدود وبكميات أولية معينة للمركبات المختلفة (في حجرة الاحتراق) وعند الاحتراق توجد رابطة (تمثل) بين استهلاك المركبات الأولية وارتفاع الحرارة، ويعبر عنها عبر علاقة تركيز أحد المركبات (المرتبط بتركيز المركب الآخر) مثال الوقود C_T وحرارة العملية T نسبة لأي من العوامل المميزة للتفاعل الكيميائي، مثال الحرارة نفسها شكل - ٢٩ هنا.

$$-\frac{C_T}{C_{T_0}}, \frac{T - T_0}{T_{ad} - T_0}$$

C_{T_0}, T_0 - الحرارة والتركيز الأوليان.

T_{ad} - السرعة العظمى للاحتراق.

وهناك ما يسمى التفاعل الكيميائي الحركي الذي تقاس سرعته بازدياد الحرارة والتفاعل التداخلي وتقاس سرعته بنسبة انخفاض تراكيز المركبات. وتتأثر هذه التفاعلات بالعوامل الفيزيائية (حرارة المركبات ، اضطراب الشحنة ، وغيرها) لكن بشكل مختلف.



شكل - ٢٩

تتميز ظاهرة الاحتراق بكونها متماسكة ذاتياً ، وهي تشغل حيزاً صغيراً من حجم حجرة الاحتراق ، وسرعة الاحتراق تكون معتدلة .
ويختلف توزيع المركبات داخل الحجرة من محرك لآخر ، ففي المحركات ذات المزج الخارجي تتوزع المركبات بشكل متوازن داخل الحجرة .
وفي محركات الديزل (المزج الداخلي) تتوزع المركبات بشكل غير متوازن .
وفي المحرك الأول (البنزيني) تفصل منطقة الاحتراق مابين منطقة المزيج الأولى ومنطقة نواتج الاحتراق ، وتسمى جبهة اللهب ، وتنتشر الجبهة في الحجرة وفق عدة آليات كيميائية - فيزيائية .

- ١ . نقل الطاقة من بقعة الاحتراق إلى منطقة الشحنة الأولية (آلية حرارية) .
- ٢ . تداخل العناصر النشيطة (الجذور) من بقعة الاحتراق إلى منطقة الشحنة .
ويحدد دور هذه الآلية أو تلك بخصوصيات التفاعل الكيميائي .
في الحالات المذكورة فإن سرعة انزياح بقعة الاحتراق التي تسمى (سرعة انتشار اللهب) تتعلق بمعامل الانتقال (a - معامل الانتقال الحراري أو D - معامل التداخل) ، وسرعة التفاعل الكيميائي W_r . إذا كان زمن الانتقال على مسافة l يساوي $\tau_c = \frac{l^2}{D}$ وزمن العملية الكيميائية $\tau_r = \frac{l}{W_r}$ ويضرب هذه العلاقات ، (إذا رمزنا بـ $U_a = \frac{l}{\tau}$ سرعة اللهب) نحصل على $D = a.U_a$ ويساوي $\sqrt{DW_r}$ أو $U_c = \sqrt{a.W_r}$. وبذلك فإن معاملات الانتقال وسرعة التفاعل الكيميائي تؤثر تأثيراً موحداً على سرعة انتشار اللهب .
- ٣ . نقل الطاقة من مكان موجة الصدم ذات السعة الكافية لتسخين المزيج في البقعة إلى القيم التي تؤمن تماسك واستمرار العملية .
هذه العملية تسمى الصفع . وسرعة انتشار موجة الصفع تساوي سرعة الصوت بعد جبهة الموجة في الوسط المعني .

آلية الاحتراق المشابهة يمكن مشاهدتها في المحركات العاملة بالشرارة وهي تخل بعملية الاحتراق الطبيعية.

٤. نظام تحريض عملية انتشار الاحتراق الذي يلاحظ فقط كانهيار بقعة الاحتراق، وتتلخص آلية نظام التحريض في الاشتعال المتسلسل لجميع مجالات المزيج، التي تختلف بقيمة طسور التحريض (أو طور تأخير الاشتعال) والسرعة الظاهرة لانتشار اللهب وفق هذه الآلية ويمكن أن تتغير من $\infty - 0$.

هذه الآلية يمكن أن تظهر في عملية اكتساح اللهب لمخروط الوقود في الديزل. تفصل في الخلائط غير الممزوجة جيداً جبهة اللهب، والوقود والمادة المؤكسدة (أحياناً بعد احتراق طبقة الوقود التي امتزجت حتى اللحظة مع الهواء). وتتداخل هذه الخلائط من جهات مختلفة إلى جبهة اللهب المتداخل. في هذه الحالة تتحدد سرعة الاحتراق التي يعبر عنها من خلال سرعة استهلاك المركبات الأولية في الحالة المستقرة والمتداخلة، بالعملية البطيئة من عمليتي الانزياح التداخلي والتفاعل الكيميائي.

هذا الاحتراق يسمى احتراقاً تداخلياً ويستمر في محركات الديزل، وإذا أصبحت نسب تيار الوقود والهواء مختلفة عن المزيج المتوازن المتجانس تنزاح جبهة اللهب التداخلي إلى جهة التيار غير الكافي، وتعيد حالة التجانس للتيارات المطابقة للتفاعل الكيميائي.

وتؤثر الحالة الديناميكية الغازية للشحنة على عملية الاحتراق بشكل كبير. إذ إن اضطراب الشحنة يرفع نشاط الانتقال الحراري و سرعة الاحتراق سواء في الخلائط الممزوجة جيداً أو غير الممزوجة. ويسمى اللهب الحاصل في الوسط المضطرب " اللهب المضطرب" وهناك آلية اضطراب سطحية وأخرى حجمية للاحتراق المضطرب، ويمكن الوصول إلى الآلية المشتركة لاضطراب

النوعين، فعند ارتفاع الحرارة وتكثيف الاضطراب يمكن أن يحصل الاضطراب الحجمي.

وهناك ما يسمى عامل أغناء المزيج في جبهة اللهب لأحد المركبات (الوقود أو الهواء) الذي يمتلك، بالمقارنة مع المركب الآخر ، معامل تداخل جزيئي أكبر .

هذا المؤثر يؤمن إمكانية احتراق الخلائط الفقيرة بالوقود الخفيف الذي يزداد فيه معامل التداخل الجزيئي عن معامل الهواء.

وعند احتراق الخليط غير المتجانس ترفع عملية الاضطراب نسبة نقل المركبات إلى جبهة اللهب التداخلي، وكما في الحالة الأولى بزيادة سرعة التفاعل (زيادة درجة الحرارة) ينخفض عرض جبهة اللهب ويحصل التفاعل في منطقة التداخل.

وبذلك فإن عملية الاحتراق تتوضع في حجم صغير في جبهة اللهب المنتشرة في حجرة الاحتراق (عند الخليط المتجانس) وفي جهة اللهب التداخلي (عند الخليط غير المتجانس) .

- عمليات المزج في المحركات العاملة بالشرارة الكهربائية:

تؤثر عملية المزج (الخلط) على عملية الاحتراق لأن سرعة الاحتراق وشدته تتعلقان بتركيب المزيج وجودته، والتي تتأثر بعملية تبخر الوقود واختلاطه بالهواء.

وتتعلق عمليات المزج والاحتراق في محركات الشرارة بالخصائص الفيزيائية والكيميائية للوقود، وبطريقة التغذية (بالمغذي، بالحقن، بخلاط الوقود الغازي)، إضافة لتنظيم عمل المحرك وعندما يحقن البنزين نحصل على استطاعة أعلى ومؤشرات بيئية واقتصادية أفضل.

- تشكيل الخليطة المتجانسة:

عملية تشكيل المزيج في المحرك العامل بالشرارة الكهربائية هي مجموعة عمليات مرتبطة مع بعضها تحصل عند الإمداد بالوقود والهواء، وتذير الوقود وتبخره واختلاطه بالهواء.

وفي محرك الشرارة رباعي الأشواط تجري عملية تشكيل المزيج خارج الأسطوانات، وفي المحركات ثنائية الأشواط تجري عملية التشكيل داخل الأسطوانات وتمنع هدر الوقود في طور تهوية الأسطوانات. وبسبب ذلك تظهر حالياً محركات رباعية تعمل بالشرارة وتستخدم طريقة التشكيل الداخلي للمزيج.

وفي المحركات رباعية الأشواط تبدأ عملية المزج في وحدة الحقن أو المفحم أو في خلاط الوقود الغازي، وتستمر العملية في مجرى السحب وتنتهي داخل الأسطوانات.

وتتشابه آلية تشكيل المزيج كثيراً عند الحقن المركزي أو عند وجود المفحم شكل - ٣٠ a وتشابه كثيراً لأن الوقود في الحالتين يعطى في تيار الهواء و في المكان نفسه في مجرى الدخول.

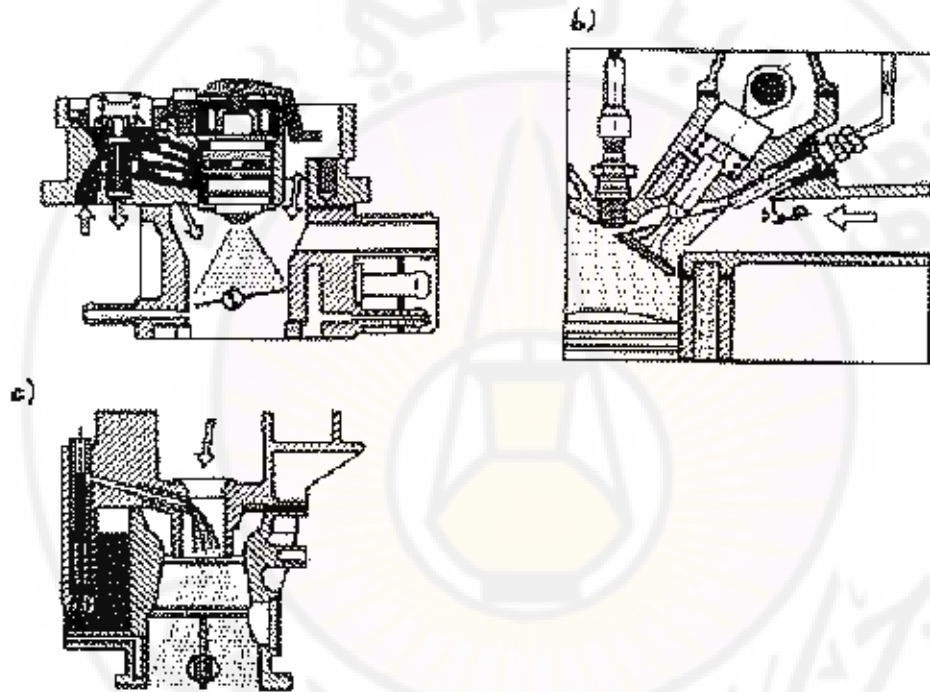
- تذير الوقود:

يعطى الوقود (البنزين) في نظم الحقن بضغط معين في مجرى الدخول (الحقن المركزي) أو في قنوات الدخول في رأس الأسطوانة (الحقن الموزع) شكل - ٣٠ a, b.

في كلتا الحالتين تتعلق دقة التذير بضغط الحقن وبشكل فتحات الحقن في واحدة الحقن (البخاخ) وسرعة البنزين في الفتحات (الثقوب) وبلزوجة الوقود والتوتر السطحي فيه.

في نظم حقن البنزين تستخدم بكثرة وحدات حقن كهرو - مغناطيسية، يصلها

الوقود بضغط ٠,٢-٠,٤ ميغا باسكال. مما يؤمن الحصول على قطرات،
قطرها الوسطي وفق (زواتسر) من ٢٢٠-٤٠٠، أو ٢٠٠-٢٧٠، أو ٥٠-١٠٠
ميكرون عند استخدام وحدات حقن مختلفة: وهي على التسلسل (واحدة سيلان
أو تدفق - واحدة بثقب واحد - واحدة مركزية).



شكل - ٣٠

إن تحسين عملية التذير يرفع مساحة السطوح الإجمالية للقطرات، ويسهل
عملية التبخر ويسرعها، وهذا شرط ضروري للحصول على مزيج متجانس.

وعلى أنظمة الحمولة الجزئية للمحرك تتخفض سرعات كل من الهواء والوقود، وتتنخفض جودة عملية المزج، ولذلك عند الحقن الموزع يتم تسريب كمية قليلة من الهواء بسرعة عالية عبر جسم واحدة الحقن، ويخرج الهواء منها مع البنزين المتدفق، وتتحسن عملية المزج. وبعد خروج البنزين مسن وحدة الحقن أو المغذي أو غيره تبدأ مباشرة عملية تساقطه تحت تأثير قوى المقاومة الإيروديناميكية، حيث إن سرعة الهواء عند الحقن المركزي أو عند استخدام المفحم تكون أكبر بكثير من سرعة الوقود وتسمى العملية : التذير الهوائي نظراً لاستخدام الطاقة الحركية للهواء في عملية تفتيت الوقود.

القطر الوسطي للقطرات على مخرج المفحم يمكن اعتباره مساوياً ١٠٠ ميكرون، ويمكن تحسين تذير الوقود في المفحم بزيادة سرعة الهواء في الاختناق. وبالعكس تتراجع دقة التذير وتجانسه عندما تزداد اللزوجة ويزداد معامل التوتر السطحي للوقود.

- تشكيل طبقات الوقود وحركتها:

إن اتجاه حركة الوقود عند خروجه من وحدات الحقن، والقوى الناشئة من التأثير المتبادل بين القطرات وتيار الهواء وقوى التثاقل جميعها يؤدي إلى ترسب جزيئات الوقود على جدران مجرى الدخول وتراكمها عليه، وفي قنوات رأس الأسطوانات. وعند الحقن الموزع الذي ينتهي قبل بداية انفتاح صمام السحب يترسب جزء كبير من الوقود على صحن الصمام، وتتشكل طبقة رقيقة من الوقود بتسربها على الجدران. وعندما تكون الطبقات كثيرة يمكن لتيار الهواء أن يجرف منها قطرات مختلفة، أي تتولد وتتشكل قطرات الوقود بعملية ثانية. وتؤثر على طبقات الوقود قوى التماسك مع الجدران وقوى مماسية من جهة تيار الهواء وقوى الضغط الستاتيكي على محيط المقطع وقوى التثاقل، وقوى التوتر السطحي. ونتيجة تأثير هذه القوى يأخذ منحى حركة طبقات الوقود شكلاً معقداً، أما سرعة حركة الوقود فهي أقل

بعشرات المرات من سرعة تيار المزيج.

وترتبط كمية الطبقات المتشكلة عند حقن البنزين بمكان تركيب وحسدة الحقن، وطول مخروط الوقود، وبدقة تذرير الوقود، وببداية عملية الحقن (عند الحقن الموزع).

وتدل التجارب على أنه في الحالات المختلفة لعملية الحقن يترسب من ٦٠-٨٠ % من الوقود. وتتشكل الكمية الأكبر من الطبقات عند العمل على نظم الحملات العظمى والدوران الأدنى، وذلك عندما تكون سرعة تيار الهواء دقة التذرير ليستا كبيرتين نسبياً.

وفي هذه الحالات فإن كمية طبقات الوقود على مخرج مجرى السحب (عند الحقن المركزي أو باستخدام المغذي) يمكن أن تبلغ ٢٥ % من استهلاك الوقود.

وعند استخدام عملية الخنق في المحرك تبدو طبقات الوقود المتراكمة أقل، بسبب التذرير الإضافي الحاصل حول الصفيحة الخائقة وزيادة الحرارة في داخل مجرى السحب (عند التسخين بالماء).

- تبخر الوقود:

للحصول على مزيج متجانس يجب تبخير الوقود أولاً، لأنه في حالة المزيج وحيد الطور تجري عمليات المزج التداخلي (أبخرة الوقود والهواء) بنشاط كبير ومتكامل.

وقبل وصوله إلى الأسطوانة يكون المزيج ثنائي الأطوار، لأن الوقود يكون في الحالة السائلة (الطور السائل).

ويتبخر الوقود عن سطح القطرات والطبقات عند الحرارة المنخفضة نسبياً. والقطرات تتواجد في مجرى الدخول إلى المحرك حوالي ٠,٠٢ - ٠,٠٥ ثانية تقريباً وخلال هذه الفترة الوجيزة تتبخر القطرات الدقيقة فقط.

والسبب الرئيسي لانخفاض سرعة التبخر في القطرات هو الانتقال الحراري الجزيئي والكتلوي، لأن القطرات تتحرك أغلب الوقت عند التدفق البطيء للهواء. ولذلك يؤثر على عملية التبخر عامل دقة التذير وحرارة الوقود الأولية، ويكون تأثير حرارة تيار الهواء محدوداً.

والدور المهم يؤديه التبخر الجاري عن سطوح الطبقات التي يشتد حولها تدفق الهواء. وتؤدي عملية الانتقال الحراري من جدران المجرى دوراً كبيراً في تبخر طبقات الوقود. ولذلك عند الحقن المركزي أو بوجود المفحم يتم تسخين مجرى السحب بماء المحرك أو بغازات العادم.

وتبعاً لتصميم مجرى السحب ونظام عمل المحرك فإنه عند الحقن المركزي أو عند استخدام المفحم يتواجد (عند مخرج مجرى السحب) في المزيج أبخرة من الوقود تصل إلى ٦٠-٩٠ %.

وتستمر عملية التبخر في الأسطوانة خلال عمليات السحب والانضغاط، وحتى بداية الاحتراق تكون العملية قد اكتملت تماماً .

وعند الحقن الموزع على جدران قناة السحب تزداد فترة التبخر بسبب انخفاض سرعة طبقة الوقود، وتزداد نسبة الوقود المتبخر من ٥٠-٧٠ % وكلما ازدادت سرعة الدوران انخفض زمن التبخر انخفضت نسبة البنزين المتبخر.

وعند الحقن الموزع لا نحتاج لتسخين مجرى السحب، لأنه لا يحسن عملية المزج بل يسبب انخفاض عملية امتلاء الأسطوانة بالثحنة .

وأشوء ظروف التبخر هي المرافقة لنظام عمل اللاحمل عندما تكون حرارة كل من الوقود و مجرى السحب والهواء منخفضة، ويمكن أن تنعدم عملية التذير (بوجود المفحم) عند عملية الإقلاع، ويمكن أن تنخفض نسبة الوقود المتبخر قبل الوصول إلى الأسطوانات (الإقلاع البارد للمحرك) إلى ٥-١٠ %.

- عدم توازن كمية المزيج بين الأسطوانات:

على نحو عام تكون سرعة حركة الهواء وبخار الوقود في مجرى السحب متساويين، وسرعة القطرات أقل بـ ٢-٦ م/ثا من سرعة الهواء. ونظراً لاختلاف المقاومة في شعب مجرى السحب إلى الأسطوانات يمكن أن تختلف عملية الامتلاء في الأسطوانات المختلفة ولكن بحدود لا تزيد عن ٢-٤ % . ويوزع الوقود في قنوات مجرى السحب وفي الأسطوانات لاحقاً (عند الحقن المركزي أو باستخدام المفحم في المحرك) ويمكن أن يؤدي إلى عدم توازن المزيج بسبب عدم التوزيع المتساوي لطبقات الوقود. وهذا يعني أن تركيب المزيج في الأسطوانات غير متساوٍ. وتقدر درجة عدم توازن المزيج كما يلي :

$$D_i = \frac{\infty_i - \infty}{\infty} 100\%$$

حيث ∞_i - معامل فائض الهواء في الأسطوانة i .

∞ - معامل فائض الهواء للمزيج المحضر عند الحقن المباشر للبنزين أو عند استخدام المفحم.

إذا كانت $D_i > 0$ فهذا يعني أن المزيج الكائن في هذه الأسطوانة أفقر وقوداً مما هو في المحرك أصلاً.

وتحدد قيمة ∞_i ببساطة من خلال تحليل غازات العادم الخارجة من الأسطوانة i .

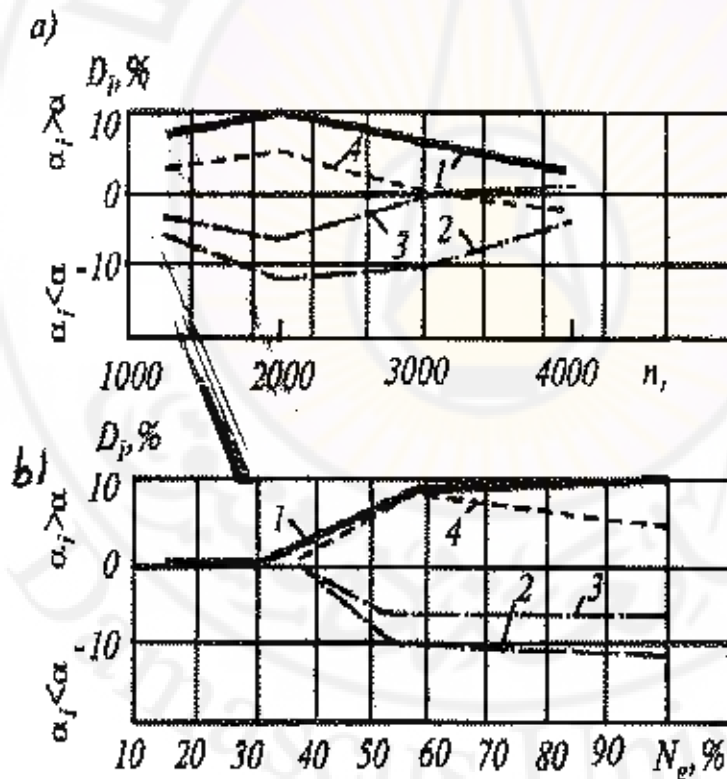
و يمكن أن تصل درجة عدم التوازن (الخلل) في تركيب المزيج إلى القيمة $D_i = \pm 20\%$ ، عندما يكون تصميم مجرى السحب غير موفق. وهذا يسيء إلى عوامل ومؤشرات المحرك الاقتصادية والطاقة وغيرها.

وللتوزيع المتوازن لتركيب المزيج بين الأسطوانات من المهم تحقيق التبخر الكامل للوقود قبل منطقة تفرع مجاري الدخول، وتعمل عملية تذيرر الوقود

على تحسين درجة عدم توازن المزيج.

ويرتبط الخلل في توازن المزيج بنظام عمل المحرك، ففي الحقن المركزي وباستخدام المفحم تتحسن عملية التذير عند زيادة عدد دورات المحرك ويتحسن التبخر، لذلك يتحسن توازن المزيج شكل - ٣١ a وتتحسن عملية تشكيل المزيج عند انخفاض الحمولة. ويعبر عن ذلك بانخفاض درجة الخلل (عدم التوازن) شكل - ٣١ b.

وتتبخر أطوار البنزين في المجال الحراري المحصور بين ٢٠٠-٣٥ درجة مئوية، لذلك تتفصل الأطوار التي تتبخر أولاً عند تشكيل المزيج أي الأطوار الخفيفة. (هي ذات أكتان منخفض) أما القطرات والطبقات فهي متوسطة وثقيلة نسبياً.



شكل - ٣١

ونتيجة التوزيع غير المنتظم (المتوازن) للطور السائل من الوقود في الأسطوانات يختلف المعامل ∞ بين الأسطوانات، وكذلك تركيب الأطوار (وعدد الأكتان تبعاً لذلك).

وفي المحركات ذات الحقن الموزع يتعلق عدم انتظام المزيج بين الأسطوانات بجودة الحواقي، وبكمية الوقود المحقون. وعموماً فإن عدم توازن المزيج يكون محدوداً، وتكون أكبر قيمة له في حالة العمل على نظام اللاحمل، ويمكن أن يصل إلى $\pm 4\%$.

وعند العمل على الحمولة العظمى لا تزيد نسبة عدم التوازن على $\pm 1,5\%$.

- خصوصية المزيج في المحرك الغازي:

لا يختلف المحرك الغازي رباعي الأشواط المستخدم في السيارات مبدئياً بطريقة تنظيم المزج الخارجي عن المحرك البنزيني الذي يستخدم الحقن المركزي أو المفحم.

يعمل المحرك الغازي على الغاز المضغوط أو السميع، وفي الحالتين يدخل الوقود والهواء بالحالة الغازية. وعند المزج الخارجي تتعلق جودة المزيج بدرجة حرارة التبخر، ومعامل نفاذ الغاز. ووفقاً لهذه المؤشرات فإن للوقود الغازي بعض الحسنات مقارنة بالبنزين، وإذ تتشكل في هذه المحركات خلائط متجانسة عملياً، ولا تتشكل فيها طبقات سائلة على جدران مجاري السحب. ولذلك لا تحتاج هذه المحركات إلى عملية تسخين مجاري السحب بل يتوزع المزيج بين الأسطوانات بشكل أكثر توازناً مما في محرك البنزين.

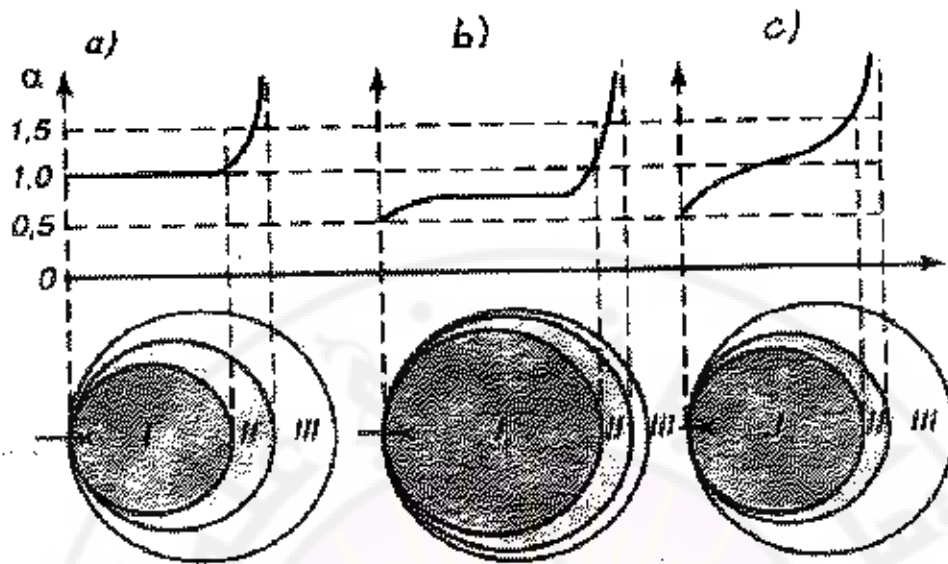
- تشكيل الشحنة الطبقة:

عند استخدام طريقة الإشعال الكهربائي يمكن تغيير تركيب المزيج المتجانس الذي يحترق بشكل جيد ومستقر في مجال ضيق ($\alpha = 0,6 - 1,3$) ولهذا السبب فإن التحكم النوعي بالحمولة التحكم الكمي (بواسطة الخائق) غير ممكن وعندما تنخفض الحمولة ينخفض η وتزداد الضياعات الميكانيكية. والطريقة المجدية التي تعالج الضياعات هي الامتناع عن التحكم بالخنق والانتقال إلى عملية التحكم النوعي (عند المزج الداخلي). ومن حسنات هذا الانتقال التي يمكن تحقيقها بالكامل (كما في الديزل) أنه عند تقسيم الشحنة إلى قسمين (قابل للاحتراق - وهواء غير قابل للاحتراق) فإن القسم الأول يجب أن يضم مزيجاً متجانساً ($\alpha = 1$) والقسم الآخر يضم الهواء والغازات المتبقية، شكل - ٣٢. ومن الضروري أن يكون الجزء المحترق من الشحنة موجوداً حول شمعة الاحتراق عند انبعاث الشرارة فيها.

والتحكم بالحمولة في هذه الحالة يقود إلى تغيير النسبة بين كمية الهواء في الجزء المحترق I وفي الجزء غير المحترق II من طبقات المزيج. وعندئذ يتميز التركيب العام للمزيج بالإفقر الشديد: ($\alpha = 3,5 - 4$) ولا يمكن الحصول على التغيير المنقطع لتوزيع الوقود عند الانتقال من طبقة إلى أخرى. وتبقى دائماً منطقة انتقالية III لا يستطيع الوقود أن يحترق فيها بسبب الإفقر الكبير للمزيج $\alpha > 1,6$.

لذلك فإن أكثر المسائل صعوبة عند التنظيم السليم للشحنة الطبقة هي تخفيض كمية الوقود في المنطقة الانتقالية إلى الحد الأدنى.

ومن جهة ثانية فإنه يجب استبعاد المناطق الغنية بالوقود والمناطق الفقيرة أيضاً من طبقة الوقود شكل - ٣٢، b, c، لأنهما يسببان فقداناً حرارياً نتيجة عدم اكتمال الاحتراق وزيادة إصدار الغازات CH_4, CO .



شكل - ٣٢

والتغيير الممكن لتركيب المزيج عند ابتعاد طبقة الوقود عن الشمعة إلى المحيط هو في المجال $\alpha = 1,0 - 1,5$. ويؤمن هذا التوزيع الطبقي للشحنة ظروفاً جيدة لإشعال المزيج ولانتشار اللهب في طبقة الوقود.

ولم تنجح كثير من التجارب العملية التي جرت للتنظيم الصحيح للشحنة الطبقيّة في حجرات الاحتراق غير المنفصلة.

وأمكن الاستخدام الصحيح للشحنات الطبقيّة من قبل شركات (تويوتا - ميتسوبيشي) في العام ١٩٩٧ عندما تم حقن البنزين في الأسطوانة وتم إجراء التحكم الميكروبريسبيسوري المتكامل بكمية التغذية بالوقود (وجبة الوقود)، وبزاوية بداية الحقن، وضغط الحقن، وبالحركة الاضطرابيّة للشحنة، والاختلاف الرئيسي في تصميم المحركات ذات الحقن المباشر للبنزين أملت ضرورة تحقيق المزيج الطبقي النوعي الجيد.

ومن التقنيات الحديثة لإشعال الخلطة الفقيرة هو دمج تصميم رأس عديد الصمامات للأسطوانات بصمام دخول واحد مباشر (مستقيم)، وصمام آخر

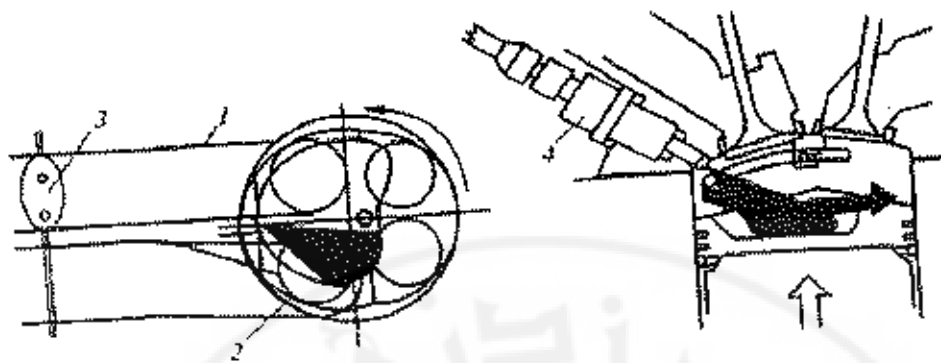
لولي، مع صفيحة للتحكم بشدة الدوامات الأفقية والعمودية في الأسطوانة. تتوضع هذه الصفيحة في قناة مستقيمة شكل -٢٣. وعند إغلاقها يدخل الهواء عبر القناة اللولبية، أي تشتت الدوامة الأفقية. وعندما تفتح هذه الصفيحة تضعف الدوامة الأفقية، وتزداد الدوامة العمودية بالوقت نفسه.

ويتم التحكم بالصفائح الدوامة والخانقة بواسطة الميكروبريسبوسوز، وبذلك يتم الربط الحركي بين مواقع هذه الصفائح من جهة ووضع دعة قيادة المحرك من جهة أخرى، بواسطة دعة الغاز الإلكترونية مما يسمح عند الضغط عليها بإبقاء وضعيتها ثابتة، ويكون فتحها وإغلاقها وفق قانون معقد. يركب الحاقن الذي يولد الاضطراب للبنزين في رأس الأسطوانة، وله وصلة كهربائية مغناطيسية ذات تحكم إلكتروني في الميكروبريسبوسوز، وتتغير لحظة البداية (زاوية التسبيق) من ١٦٠-١٨٠ درجة قبل ن.م.س (شوط السحب، الحمولات العظمى والقريبة منها) وحتى ١٠-٢٠ درجة قبل ن.م.ع (شوط الانضغاط، اللاحمل).

وعلى بعض المحركات يركب الحاقن حول الشمعة، وتحصل الشحنة الطبقية من خلال شكل (مخروط) الوقود.

ويؤدي شكل حجرة الاحتراق التي تحفر في رأس المكبس دوراً هاماً في تنظيم طبقات الشحنة وعملية الاحتراق.

وبما أن تنظيم طبقات الشحنة يلزم أولاً في حالات الحمولة المنخفضة (كميات وقود منخفضة) فإن الحقن يبدأ في النصف الثاني من عملية الانضغاط عندما يكون المكبس بالقرب من الحاقن، ويبلغ ضغط الغازات في الأسطوانة ١ ميغاباسكال، ولذلك تتحسن عملية المزج القصيرة جداً.



شكل - ٣٣

يجب زيادة ضغط الحقن بالمقارنة مع حالات الحمولة الكبيرة عندما لا نحتاج إلى المزيج الطبقي. ويحقن البنزين في شوط السحب بضغط (في الأسطوانة) أقل مما هو في نهاية الانضغاط.

ويبدأ تشكيل سخاية المزيج (طبقة الوقود) عند خروج البنزين من الحاقن، وتظهر بالقرب من الشمعة في لحظة انبعاث الشرارة.

وهذا التوقيت لعمليات المزج والإشعال يحصل بتوافق مع سرعة جريان

الشمعة في الأسطوانة، ولحظة بداية الحقن، وزاوية تسبيق الإشعال شكل - ٣٤ ويؤدي شكل حجرة الاحتراق دوراً هاماً في ذلك.

ويتم تأمين الحركة الضرورية لسخاية المزيج إلى شمعة الاحتراق في

المستوى الأفقي عبر الدوامة الأفقية وتأمين الحركة العمودية - عبر الدوامة

العمودية بمساعدة النتوء الموجود في وسط حجرة الاحتراق في المكبس.

والمخطط السابق للتوقيت بين تشكيل وحرقة الشحنة يشترط أن تكون الشمعة

مركبة على محور الأسطوانة، والحاقن بالقرب من جدرانها.

وبالمقارنة بعملية الحقن في مجرى السحب، فإن الحقن المباشر يتميز في الأسطوانة بمسألة إيجابية هامة وهي إمكانية الحصول على الحقن المرحلي (بمرحلتين). مثلاً: يمكن الحقن أولاً في شوط السحب، والحقن الثاني في شوط الانضغاط مع تشكيل سحابة المزيج الغني في منطقة الشمعة.

وتتشكل في هذه الحالة الشحنة الطبقة : قسم من الشحنة - من المزيج الفقير نسبياً، والقسم الثاني - من المزيج الأكثر إغناء (يشتعل بشكل جيد)، وهو شحنة نصف طبقية.

وعموماً فعند تنظيم الشحنة الطبقة يجب الاهتمام بما يلي :

- يجب التحكم بعملية تشكيل الطبقات: عند الحملات الكبرى يجب أن يكون المزيج متجانساً (لا يسمح بالمزيج الطبقي) وعند الحملات المتوسطة والصغرى يمكن الحصول على فائدة كبيرة عند تشكيل الطبقات.

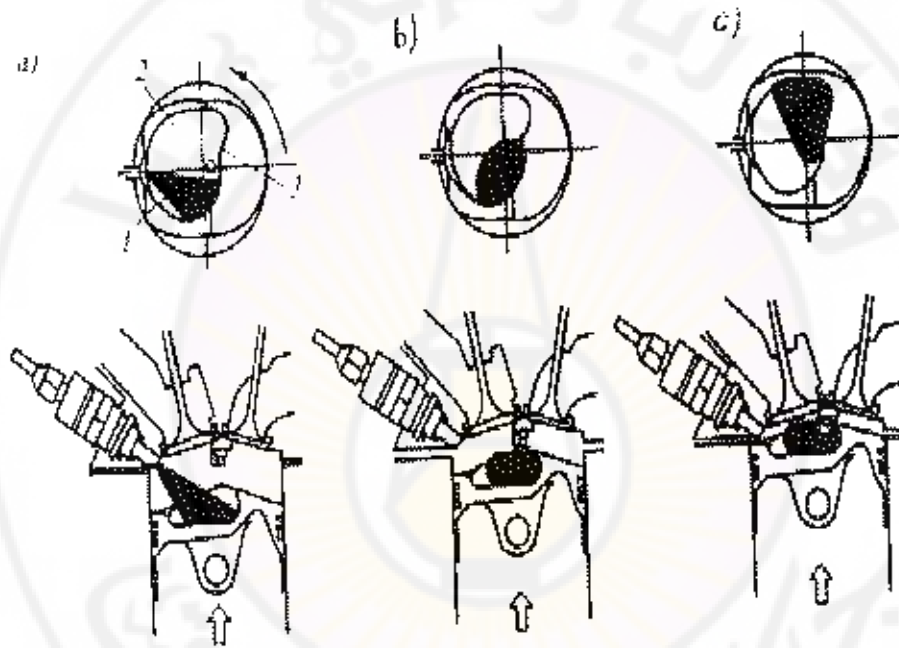
- جودة عملية تشكيل طبقات الشحنة تتعلق بكمية الوقود الموجودة في المنطقة الانتقالية (بين منطقة الوقود ومنطقة الهواء) وكلما كانت الكمية أقل كانت عملية التشكيل الطبقي أفضل. ومن جهة أخرى يكون التشكيل الطبقي أفضل عندما تكون كمية الوقود في المنطقة / (الوقود) أقل $1 < \infty$.

- التشكيل الطبقي غير الجيد للمزيج بسبب انخفاض المردود η وزيادة إصدار CH.

ويزداد هذا الإصدار في المحركات ذات التشكيل الطبقي، وعند زيادة كمية

الوقود في المنطقة الانتقالية أو عند وقوع الوقود على جدران حجرة الاحتراق الباردة. (عند الإقلاع، والتسخين).

- الخاصية الإيجابية لعملية الحقن في الأسطوانة هي إمكانية الحصول على الحقن ثنائي المراحل، والتنظيم المناسب لعملية تشكيل المزيج.



شكل - ٣٤

١.٣- إشعال واحتراق الوقود في محركات الشرارة الكهربائية:

-أطوار عملية الاحتراق وطبيعة انبعاث الحرارة:

يرتبط المردود البياني (الدليلي) للمحرك باكتمال عملية الاحتراق،

وسرعتها، وجريانها في الوقت المناسب، ويتم الحكم على هذه الخصائص بتحليل المخطط البياني، ولهذا السبب توضع عليه ثلاثة أطوار شرطية. شكل- ٣٥.

-الطور الأول θ_1 :

ويبدأ لحظة انبعاث الشرارة الكهربائية وينتهي عندما يصبح الضغط في الأسطوانة أعلى منه مما في عملية الانضغاط (بسبب انبعاث الحرارة) قبل ن.م.ع بدون حدوث احتراق، ويسمى الطور الأول للاحتراق أو طور تشكيل جبهة اللهب.

في هذا الدور الزمني تتحول بؤرة الاحتراق المتشكلة في منطقة الحرارة العالية بين قطبي الشمعة، بالتدريج إلى جبهة متطورة للهب المضطرب، وتطور الاحتراق في هذا الطور يحدد أساساً قوانين الاحتراق المضطرب المحدود في مساحته. ونسبة الوقود المحترق في الدور θ_1 أقل من ٢-٣ % ولذلك الدليل لا يسجل زيادة الضغط نسبة لقيمة الضغط في أثناء عملية الانضغاط.

وتؤثر على فترة θ_1 (بالدرجات) العوامل التالية:

- تركيب المزيج:

القيمة الصغرى θ_1 تطابق تركيب المزيج الذي تكون فيه سرعة الاحتراق أعظمية (0,9 - 0,8 = ∞). وعند الإفتقار الشديد للمزيج يزداد θ_1 بشكل ملحوظ ويتراجع استقرار الإشعال لدرجة تظهر فيها انقطاعات في بعض الأسطوانات.

الحركة المضطربة للشحنة:

إن استخدام قنوات دخول لولبية أو مماسية مائلة يولد دوامة قوية للشحنة في الأسطوانة وهو ما يسبب زيادة اضطراب محدود المساحة، وهذا يسدوره يقود إلى اختصار فترة الطور الأول θ_1 .

- نسبة الانضغاط :

بزيادة θ يزداد ضغط جسم التشغيل وحرارته مما يؤدي إلى زيادة السرعة الطبيعية للاحتراق، وانخفاض الفترة الزمنية لـ θ_1 .
ولهذه الأسباب يقود انخفاض زاوية تسبيق الإشعال إلى بعض الانخفاض لـ θ_1 .

- شحن الهواء:

إن تأثير عملية شحن الهواء مشابه لتأثير نسبة الانضغاط، لأنه عند الشحن يتم تخفيض زاوية تسبيق الإشعال φ_0 وهذا يولد انخفاضاً إضافياً لـ θ_1 .
- زمن الدوران:

تدل التجارب على أن $\theta_1 \approx n^m$ حيث $m = 0,5 - 1,0$ كلما ازدادت بقوة النبضات صغيرة المساحة (عند زيادة زمن الدوران n) انخفضت قيمة المعامل m

- حمولة المحرك:

عند إغلاق صفيحة الخنق تزداد كمية الغازات العادمة نسبياً وينخفض ضغط جسم التشغيل، وكل هذا يقود إلى زيادة الفترة الزمنية لـ θ_1 وتراجع جودة تماسك الإشعال.

- طبيعة شحنة الشرارة الكهربائية:

كلما ازداد الجهد الكهربائي وفترة الشحنة وتماسكها انخفضت θ_1 . لذلك فإن نظم الإشعال الإلكترونية (ترانزيستورات) تحسن عملية الإشعال والاحتراق

بالمقارنة مع نظم الإشعال التماسية العادية، ولا سيما عند التسارع أو عند الإفقار الشديد للمزيج.

- الطور الثاني θ_{II} :

يسمى الطور الأساسي للاحتراق، وتحسب الفترة الزمنية له ابتداء من نهاية الطور الأول لحظة بلوغ الضغط الأعظمي في الدورة الحرارية.

وتحدد فترة θ_{II} بقوانين الاحتراق المضطرب على نطاق واسع. والسرعة العظمى لانتشار اللهب في هذا الطور يمكن أن تصل إلى ٦٠-٨٠ م/ثا. ونسبة الوقود المحترق ٨٠-٨٥ % وتدل التجارب على أن θ_{II} لا تتعلق كثيراً بالتركيب الفيزيائي والكيميائي لجسم التشغيل بل عند الخنق القوي يلاحظ بعض الزيادة في θ_{II} .

ووفقاً لنسب شدة اضطراب الشحنة في الأسطوانة طردياً مع زمن الدوران، لذلك بزيادة n تنخفض فترة الطور الثاني بالزمن طردياً مع تغيير زمن الحرارية (أي أنه بالدرجات لا تتغير عملياً).

وبتركيب الشمعة بالقرب من مركز حجرة الاحتراق تنخفض فترة θ_{II} . ويحدث ذلك أيضاً عند تركيب شمعتين في الحجرة أو عند زيادة الاضطراب في داخلها.

وتبين التجارب أنه عند الزاوية المثالية لتسبيق الإشعال يكون الجزء الأساسي للطور θ_2 الجاري قبل ن.م.ع حوالي ٣٠-٤٠ % من الفترة الإجمالية للطور.

وعند العمل على الخنق التام تبلغ قيمة η_{max} العظمى عندما ينتهي الطور الأساسي للاحتراق بعد ١٢-١٨ درجة بعد ن.م.ع وعندها تكون $\theta_{II} = 20 - 25$ درجة.

ولا ينتهي الاحتراق بنهاية الطور الثاني، ولذلك فإن الحرارة الوسطية

الغازات تستمر بالارتفاع حتى الدرجة العظمى في النقطة ١ (شكل ٣٥).

وتحدد سرعة الانبعاث الحراري في الطور الثاني شدة ارتفاع الضغط $\frac{dp}{d\phi}$

وهي التي تعبر عما يسمى قساوة عمل المحرك.

- الطور الثالث θ_{III} :

أو طور الاحتراق المتمم، ويبدأ في لحظة بلوغ الضغط في الدورة قيمته العظمى.

ويحترق المزيج في هذا الطور أساساً في الطبقات القريبة من جدران حجرة الاحتراق، حيث تكون شدة الاضطراب ودرجة الحرارة منخفضة نسبياً بشكل ملحوظ.

وتحترق بعض نقاط المزيج خلف جبهة اللهب، وخاصة عندما تكون بقعة الاحتراق المضطرب طويلة نسبياً.

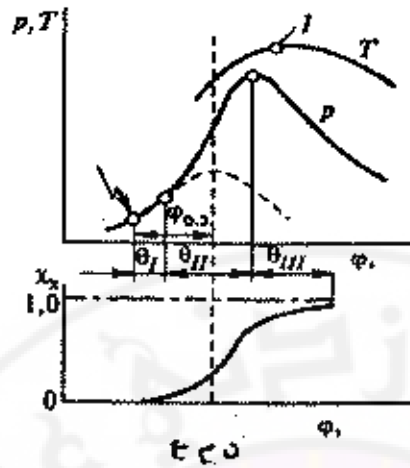
تتخفض سرعة انبعاث الحرارة في هذا الطور ويزداد انتشار الغازات (بسبب حركة المكبس إلى ن.م.س)، وهذا يحدد درجة انخفاض الضغط في الأسطوانة إضافة لعامل الانتقال الحراري إلى الجدران المحيطة.

وتؤثر على فترة الطور θ_{III} العوامل المؤثرة على الطور θ_I .

وبزيادة تردد نسبة المزيج المحترق في الطبقات المجاورة لسطوح الأسطوانة وفي الخلوصات الكائنة بين رأس الأسطوانة والمكبس. وهذا يؤدي دوراً بارزاً في امتداد الطور الثالث.

ولتحديد لحظة نهاية الطور θ_{III} التي تنتهي فيها عملية انبعاث الحرارة نحتاج لحسابات خاصة ولمعالجة المخطط البياني.

والوسائل الأساسية لتغيير وضعية أطوار الاحتراق هي التحكم بزاوية تسبيق الإشعال.



شكل - ٣٥

و يظهر احتراق الوقود مقاساً بالزمن من خلال المنحني χ شكل - ٣٥، معامل انبعاث الطاقة، ويساوي نسبة الحرارة المنبعثة حتى اللحظة المعينة Q_x إلى الحرارة المنبعثة في الدورة في كامل الوقود $Q_{T,c} = V_c \cdot \rho_T \cdot H_u$

وينتقل جزء من الحرارة Q_x إلى الجو المحيط والجزء الأساسي Q_{ax} (الانبعاث الحراري النشط) يتوزع لإتجاز عمل جسم التشغيل في الدور من بداية الانبعاث الحراري $L_x = \int p \cdot dV$ وازيادة الطاقة الداخلية $\Delta U_{c-\varphi}$.

- معامل الانبعاث الحراري النشط:

$$\zeta_{ax} = \frac{Q_{ax}}{Q_{T,c}} = \frac{\int p \cdot dV + \Delta U_{c-\varphi}}{Q_{T,c}}$$

وبذلك التابع $\zeta_{ax} = f(\varphi)$ يعبر عن الرابطة بين عملية الاحتراق والاستفادة من الحرارة المنبعثة في الدورة.

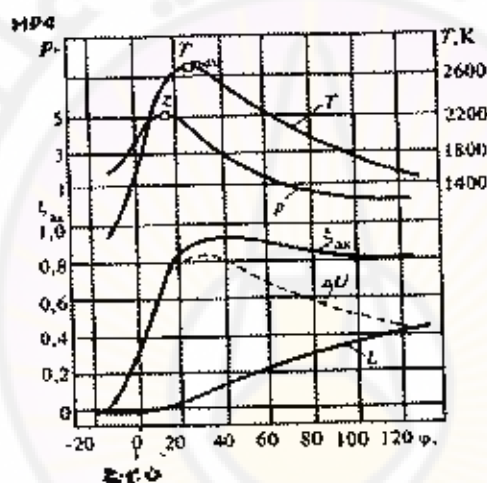
ويحدد المعامل ζ_{ax} بالمعادلات الترموديناميكية والمخطط البياني.

مثال على الشكل - ٣٦ تظهر نتائج الحساب $\Delta U_{c-\varphi}$ ، L_x ، ζ_{ax} وحتى لحظة نهاية الطور الثاني للاحتراق (النقطة Z) ينبعث ٧٥ % من الحرارة النشيطة

$\zeta_{av} = 0,75$ ، والدرجة الحرارية الوسطية الأعلى (النقطة T_{max}) تحصل بعد ١٢ درجة بعد النقطة Z وحتى هذه اللحظة $\zeta_{av} = \zeta_{max} = 0,915$ ، والجزء المتبقي من الحرارة 8,5% يهدر في عملية الانتقال الحراري إلى الجدران، وفي مسألة عدم إتمام الاحتراق.

وبانخفاض الحمولة ينخفض ζ_{av} ويبلغ قيمته الخاصة بعد ن.م.ع. المعاملات $\zeta_{av}, \chi_{\alpha}$ ترتبط مع بعضها

$$\chi_{\alpha} = \zeta_{av} + \frac{Q_n}{Q_{T,\alpha}}$$



شكل - ٣٦

حيث: Q_n - الحرارة المنقولة من الشحنة إلى سطوح حجرة الاحتراق خلال الفترة الممتدة بين لحظة الإشعال حتى اللحظة الجارية.

- ظواهر الخلل في عملية الاحتراق (في المحرك البنزيني):

- الاحتراق غير الطبيعي (احتراق الصفع):

يسخن قسم من جسم التشغيل الذي يقترب من جبهة اللهب في المراحل

الأخيرة للاحتراق نتيجة ازدياد الضغط الناجم عن الاحتراق إلى درجة تزيد على درجة حرارة الاشتعال الذاتي، ولا يحصل الاحتراق الذاتي لعدم توفر الزمن الكافي لذلك.

وإن كانت فترة تأخير الاشتعال الذاتي بالمقارنة مع زمن انتشار اللهب قصيرة جداً فإنه في الجزء الأخير من الشحنة تظهر بؤر اشتعال نتيجة هذا الانضغاط الإضافي. وهذا الاشتعال يمكن أن يأخذ طابع الانفجار. وعندئذ فإن إمكانية ظهور وانتشار موجات صدم في الشحنة تكون كبيرة، وتكون قسادة من جهتها على توليد اشتعال ذاتي إذا كان المزيج جيد النوعية.

ويرافق احتراق الموجات الأخيرة من الشحنة في المحرك البنزيني، بعد الاشتعال الذاتي، ظهور موجات صدم تسمى الصفع.

سرعة موجات الصدم يمكن أن تبلغ ١٥٠٠ م/ثا أي تزيد على سرعة انتشار جبهة اللهب المضطرب بعشرات المرات.

وعند ارتداد الموجات عن جدران حجرة الاحتراق تظهر أصوات دقات معدنية تدل على ظهور الصفع. ونلاحظ على المخططات البيانية عند حدوث الصفع تأرجح الضغط والسعة والتواتر الذي يرتبط بشدة الصفع شكل ٣٧- a, b. وعند الصفع الشديد تزداد حدة الأصوات، وتزداد عملية تفكك نواتج الاحتراق، وتتخفف استطاعة المحرك، ويظهر اللون الأسود في غاز العادم.

ويرافق عمل المحرك عند الصفع الشديد حمولات حرارية وميكانيكية على بعض أجزائه، ونتيجة لذلك فقد تحترق حواف المكبس وحلقة الإحكام في رأس الأسطوانة، وأقطاب شمعة الاحتراق.

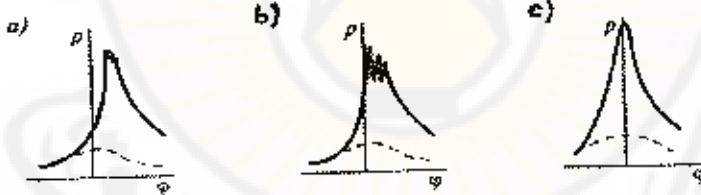
و تفكك الموجات الصدمية طبقة الزيت الموجودة على سطح الأسطوانة في

الأعلى، وتتآكل الأسطوانة بشكل حاد. ولا يسمح بالعمل على المحرك عند ظهور الصفع. وهذه الظاهرة هي العائق الرئيسي أمام عملية زيادة نسبة الانضغاط ϵ . وتعد عملية استخدام الشحن القسري للهواء في المحرك العامل بالشرارة. وللتغلب على الصفع يمكن اعتماد الوسائل المختلفة المثالية التي ترفع من فترة تأخير الاشتعال الذاتي في الجزء الأخير من الشحنة.

- استخدام وقود عالي الأكتان:

العدد الأكتاني الذي يميز الأطوار الخفيفة من البنزين أقل من أكتان الأطوار المتوسطة والثقيلة.

عند زيادة تسارع السيارة (فتح صمام المزيج بسرعة) تدخل الأطوار الثقيلة إلى الأسطوانات متأخرة مما يسبب ظهور الصفع في بداية التسارع نتيجة الانخفاض الآني لأكتان الوقود الوارد إلى الأسطوانة. وإذا كان الصفع في السيارة المتسارعة محدوداً أو كان ينقطع بسرعة فإن هذا يدل على صحة تسبيق الاشتعال.



شكل - ٣٧

- تخفيض زاوية تسبيق الاشتعال:

عند ذلك ينخفض الضغط الأعظمي وسرعة ازدياد الضغط $\frac{\Delta P}{\Delta \phi}$ في الدورة

الحرارية.

أي ينخفض الانضغاط المتمم للشحنة الموجودة أمام جبهة اللهب.
وعند انخفاض الزاوية $\varphi_{0.3}$ ينخفض تسبيق الاشتعال (بتدوير غطاء الموزع-
المتقطع) على جميع أنظمة المحرك، وتنخفض المؤشرات الاقتصادية
للمحرك.

- دليل الصفع:

إذا حدث الصفع لأسباب طارئة كاستخدام وقود منخفض الأكتان مثلاً، فإنه
باستخدام دليل الصفع في الأسطوانة التي يظهر فيها، تنخفض زاوية التسبيق
ألياً حتى تنتهي الظاهرة. وعندما تنعدم عوامل التأثير على الصفع فإن نظام
الإشعال يرفع زاوية التسبيق ألياً. وعندما يعمل المحرك بدون صفع لا يغير
الدليل من قيمة الزاوية $\varphi_{0.3}$ بل تبقى ثابتة.

- زيادة زمن الدوران:

في هذه الحالة تزداد سرعة انتشار الجبهة الرئيسية للهب وتبعاً لذلك
ينخفض الزمن المتاح أمام ظهور العمليات ما قبل اللهب في القسم الأخير في
الشحنة.

من جهة أخرى تنخفض شدة هذه العمليات بسبب زيادة نسبة الغازات المتبقية
في جسم التشغيل. ولهذه الأسباب فإنه بزيادة n ينخفض احتمال نشوء ظاهرة
الصفع.

- حمولة المحرك:

ترتبط عملية الخنق بانخفاض الضغط والحرارة في أثناء عملية الاحتراق
وبزيادة γ أيضاً، ونتيجة ذلك فعند انخفاض الحمولة ينخفض ميل المحرك إلى
ظاهرة الصفع.

- الوسائل التصميمية:

إن تخفيض نسبة الانضغاط يؤدي إلى انخفاض فرضية احتمال ظهور الصفح، وكذلك تؤثر عملية تخفيض قطر الأسطوانة وزيادة الاضطراب في الشحنة، وتحسين عملية تبريد الجزء الأخير من الشحنة، وتخفيض مسار جبهة اللهب من الشمعة إلى أبعد بقعة في حجرة الاحتراق (استخدام شمعتين في الحجرة).

- الاشتعال المبكر (قبل الأوان):

نتيجة تسخين القطب المحوري للشمعة من السطوح الحارة أو غيرها، ورأس صمام الطرد، والحواف الحادة للمكبس أو غطاء الأسطوانة يمكن أن يحدث اشتعال للمزيج خلال عملية الانضغاط قبل انبعاث الشرارة الكهربائية. والمزيج الذي اشتعل بفعل حرارة السطوح المجاورة $700-800^{\circ}\text{C}$ يستمر في الاحتراق بسرعة عادية. ولكن زمن هذا الاشتعال يبدو غير قابل للتحكم.

والكشف عنه بالمظاهر الخارجية أمر عسير لأنه يظهر عادة عند الدوران المرتفع، وترافقه ضجة مرتفعة.

وعند نشوء الاشتعال المبكر يزداد الضغط ودرجة الحرارة بشكل حاد، وتبلغ قيمها العظمى قبل ن.م.ع. شكل ٣٧- ج. مما يسبب انخفاض استطاعة المحرك وازدياد حرارته، ويمكن التغلب على الاشتعال المبكر في المحركات التي تستخدم الحقن المختلف للوقود بإيقاف الاشتعال، حيث تقطع عملية التغذية. وعند استخدام المفحم يجب إغلاق صمام المزيج بسرعة، وإلا يمكن أن يتعطل المحرك بسبب اهتزاز المكبس فيه بسرعة كبيرة. ولمنع ظاهرة الاشتعال المبكر يمنع استخدام الوقود غير المناسب، أو استخدام شمعات غير كفوءة.

- الاشتعال من الضغط عند إغلاق نظام الإشعال:

في بعض الحالات وبعد إغلاق نظام الإشعال قد لا يقف المحرك ذو المفحم عن العمل إذا كان حاراً لدرجة كبيرة، ويستمر العمل على نظام اللاحمل ويدوران منخفض، مع انخفاض كبير في استقرار المحرك.

وهذه الظاهرة تحدث عندما يكون $\varepsilon > 8,5$ وعندما تكون حرارة المزيج والزمن المتوفر غير كافيتين للاشتعال الذاتي (في نهاية الانضغاط وعند الدوران المنخفض $n=300-400$).

ولمنع حدوث ذلك تفصل عملية التغذية عبر دائرة نظام اللاحمل.

- تأثير العوامل المختلفة على عملية الاحتراق في المحرك البنزيني:

لتحليل عملية الاحتراق في المحركات تستخدم غالباً المخططات البيانية، ويبين تحليل المحركات البنزينية أن الاحتراق في الدورات الحرارية المتسلسلة يجري بشكل غير متماسك (غير مستقر) أي إن المخططات البيانية على منحنيات الاحتراق تكون مختلفة شكل - ٣٨. وطبقاً لذلك يلاحظ اختلاف القيم المختلفة لكل من $T_{\max}$, $\frac{dp}{d\varphi}$, P_z وطول فترة أطوار الاحتراق في الدورات المختلفة أيضاً.

تغيير طبيعة المخطط البياني في الدورات المتسلسلة $\eta = 6,2$, $n = 1500$, $\alpha = 1,23$ صمام المزيج مفتوح بالكامل) يظهر في الجدول التالي.

والسبب الرئيسي لعدم استقرار الدورات المتسلسلة هو عامل طارئ عندما تتجمع الشروط لظهور بؤرة احتراق أولية (قيم محلية γ , α)، شدة ومساحة الاضطراب في منطقة الشمعة، وعوامل شمعة الاحتراق).

العامل	قيم المقادير		
	الدنيا	المتوسطة	الغيا
$P_z \text{ MPa}$	٣,٨٦	٥,٢٥	٦,١٣
$T_{\text{max}} \text{ K}$	٢٥٢٠	٢٧٢٠	٢٨٠٠
بالدرجات θ_i	٩	١٥	١٧
θ_{II}	٢٨	٢٩	٣٠
$\zeta_{a \text{ max}}$	٠,٨٧	٠,٨٧٤	٠,٨٩
η_i	٠,٣٧	٠,٣٨٦	٠,٣٩٢

وهذه الخاصية في محرك البنزين تجعل عملية تحليل وتقدير خصائص عملية الاحتراق معقدة، لأنها تتطلب الاختيار الصحيح (لهذا التحليل) لمخطط بياني وسطي ما.

- زاوية تسبيق الإشعال φ_{e} :

وهي تؤثر كثيراً على عملية الاحتراق شكل - ٣٩ ، وكل نظام عمل للمحرك ينطبق مع زاوية تسبيق مثلى φ_{oe} يكون خلالها الطور الأساسي للاحتراق θ_{II} قريباً من ن.م.ع. يعمل المحرك خلالها بجودة عالية. أي يعطي الاستطاعة الأكبر في كل نظام عمل، ويكون الاستهلاك النوعي من الوقود أقل ما يمكن .

وترتبط الزاوية المثلى للتسبيق بفترات الأطوار (خاصة θ_i) في عملية الاحتراق: وكلما ازدادت الحاجة إلى إشعال المزيج مبكراً. وعند زيادة φ_{e} تزداد θ_i وهذا مرتبط بعدم تحسن شروط اشتعال المزيج بسبب انخفاض الحرارة والضغط في لحظة انبعاث الشرارة. أو بسبب انخفاض قدرة الشرارة.

لذلك عند الإفطار الشديد للمزيج أو عند فتح صمام المزيج (صمام التحكم بكمية المزيج) بشكل حاد يتم اختيار $\varphi_{0.0}$ وتؤخذ بعين الاعتبار متطلبات استقرار الاشتعال والاحتراق في الدورات المتسلسلة، أي تجعل $\varphi_0 < \varphi_{0.0}$ وعند العمل على الخنق التام ترتبط عملية زيادة φ_0 بخطر ظهور الصفع عند ارتفاع T_{max}, P_z .

ونظام الإشعال يؤمن التغيير الآلي φ_0 تبعاً لنظام عمل المحرك وحالته الحرارية ويسمح دليل الصفع بمنع الضياعات الناجمة عن ضرورة جعل $\varphi_0 < \varphi_{0.0}$ وذلك لموازنة (الاختلافات) في مواصفات آلات تسبيق الاشتعال وانخفاض العدد الأكتاني الفعلي للبنزين وغيرها.

- تركيب المزيج:

يؤثر تغيير ∞ على كمية الحرارة وسرعة انبعاثها عند احتراق الوقود. ويؤثر تركيب المزيج بشكل كبير على سمومية الغازات العادمة. عندما تكون $\infty = 0.85 - 0.93$ تبلغ قيم $\theta_1, \theta_{II}, \zeta_{a_{mid}}$ الحد الأدنى و P_1, P_2 الحد الأعلى. شكل ٤٠ - لأنه ينبعث في الأسطوانة أكبر كمية حرارة، وتكون سرعة الاحتراق عالية وكذلك معامل التغيير الجزئي.

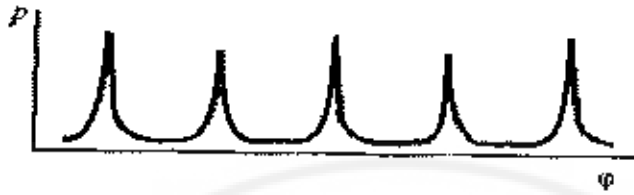
ويرافق عملية افطار المزيج البنزيني زيادة η_i ولكن عند $1.1 - 1.3 > \infty$ نتراجع وتندهور عمليات الاشتعال والاحتراق. ويلاحظ زيادة الخل وعدم التوازن في الدورات المتسلسلة.

ويمتلك الوقود الغازي وخاصة الهيدروجين مجالاً أوسع للاشتعال، ولذلك يمكن عندها احتراق الخلائط الفقيرة جداً بالوقود.

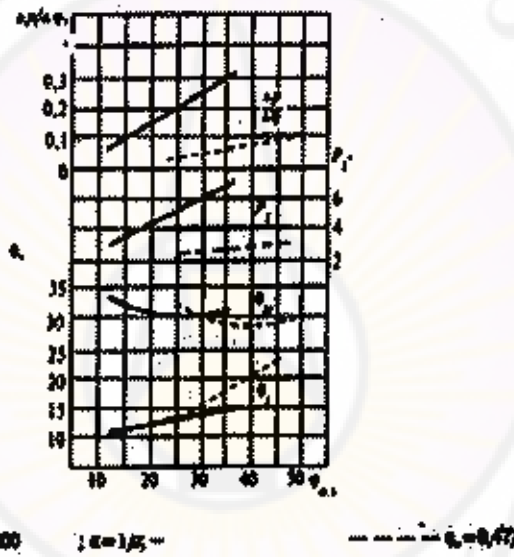
مثال: عند استخدام الهيدروجين كوقود في المحرك، يعمل المحرك $\eta_{i_{max}}$ عند $\infty \approx 2.5$ وترتفع قيمة $P_{i_{max}}$ عندما تكون $\infty \approx 1.0$.

وقيمة ∞ المطابقة لتقييم العظمى P_i, η_i تتعلق بنظام العمل وبالسعة. وعند عمل

المحرك يتم تغيير α بمساعدة نظام التغذية آلياً.



شكل - ٣٨



شكل - ٣٩

- الحمولة:

عند حدوث عملية الخنق دون تغيير نظام السرعة ينخفض الضغط وتزداد γ فتتخفض جودة شروط الاشتعال، ولذلك تزداد θ_1 ، وعند الخنق الزائد ينخفض تجانس الدورات المتسلسلة مما يتطلب إغناء المزيج لتحسين عملية

اشتعاله بالشرارة.

ويعدّ تدهور الاحتراق على الحمولات الخفيفة من أهمّ سببّات المحركات البنزينية لأنّه يؤدي إلى زيادة استهلاك الوقود وزيادة إصدارات HC,CO في الغاز العادم.

- زمن الدوران:

عند زيادة n تزداد سرعة المزيج في شقوق الصمامات وعند المخرج، ولذلك يزداد اضطراب الشحنة وهذا بالإضافة إلى تحسين المزيج يقود إلى ثبات θ_{II} .

وفيما يخص طول فترة θ_I فهي تزداد، ولذلك عند زيادة n تقتضي الضرورة زيادة ϕ . ومن جهة أخرى بزيادة n تزداد قليلاً فترة (θ_{III}) الاحتراق المتمم. لكن هذا يتوازن عبر انخفاض الهدر النسبي للحرارة في الجدران، وعموماً تزداد فاعلية الاحتراق بزيادة n .

- شكل حجرة الاحتراق:

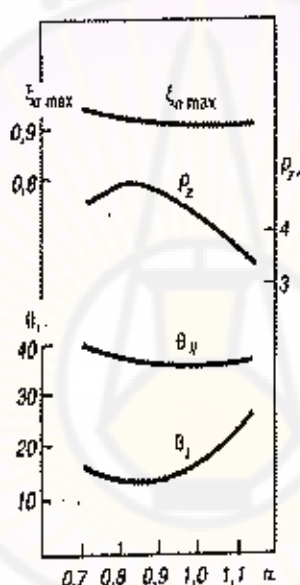
الاضطراب الذي يظهر في أثناء عملية السحب يمكن أن يستمر أو يتحسن عند جريان الشحنة إلى حجرة الاحتراق في نهاية شوط الانضغاط، وهذا ما تفعّله المخارج (الخلوصات بين سطوح رأس الأسطوانة وقعر حجرة الاحتراق). وتبعاً لمخطط وتصميم المحرك العام، تصمم حجرات الاحتراق بأشكال مختلفة شكل - ٤١، وهنا تتوضع المخارج بحيث تحسن عملية اضطراب الشحنة في المناطق التي تصلها جبهة اللهب من الشمعة في اللحظة الأخيرة.

ويؤدي هذا التوضع للمخارج إلى تسارع الاحتراق الإضافي للمزيج. ولا تزيد مساحة المخارج على ٣٠-٤٠ % من مساحة المكبس لأنّه عند المساحة الكبيرة للمخارج تزداد كمية الشحنة النسبية المتواجدة فيها، مما يؤدي إلى تدهور الانتقال الحراري، وانخفاض η_i .

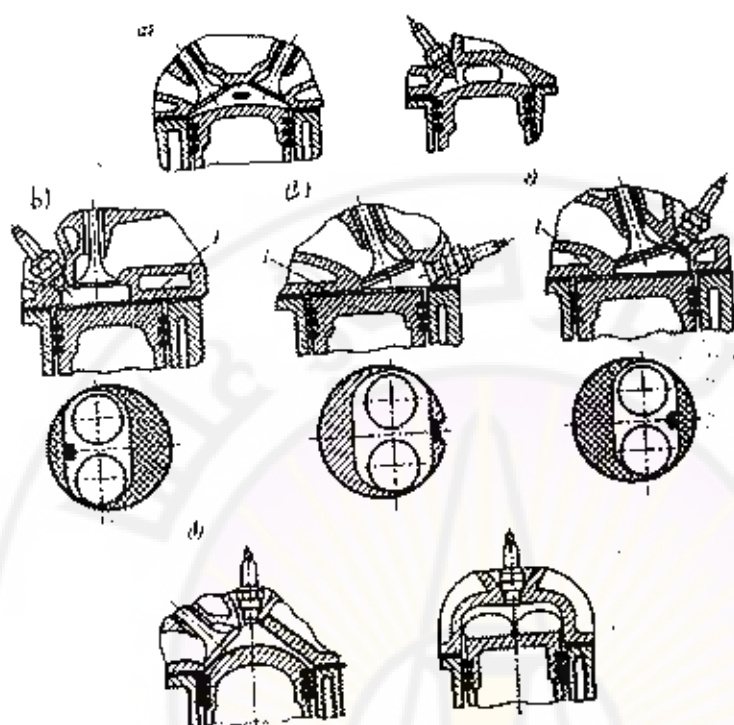
وعند اختيار مكان تركيب الشمعة يجب الحرص على تأمين التنظيف الجيد لمنطقة الشمعة من الغازات العادمة، ولهذا يوجه إليها جزء من تيار الشحنة الواردة من صمام السحب.

إضافة لذلك يفضل وضع الشمعة لتكون قريبة من مركز حجرة الاحتراق لاختصار طريق اللهب إلى النقاط البعيدة.

مثال: الحجرة المخططة شكل - ٤١ ذات التوضع المركزي للشمعة تتأمن مساحة كبيرة لجهة اللهب، وتبعاً لذلك سرعة انتقال حراري عالية.



شكل - ٤٠



شكل - ٤١

وعندما تتركب أربعة صمامات أو خمسة في هذه الحجرة يمكن الحصول على قيمة مرتفعة لـ η_v عند الدوران المرتفع. ولذلك يزداد استخدامها في المحركات البنزينية.

- نسبة الانضغاط ϵ :

كلما ازدادت ϵ ازداد معامل التمدد للغازات، وازداد الضغط والحرارة في جسم التشغيل لحظة انبعاث الشرارة، مما يسبب زيادة الطاقة. والعامل الإيجابي الثاني هو انخفاض المعامل γ . وبذلك فإنه بزيادة ϵ تتحسن ظروف اشتعال المزيج (اختصار θ_i) واتساع مجالات إفقار المزيج. وتتسبب الزيادات

الكبيرة للضغط والحرارة خلال عملية الاحتراق بزيادة سرعة الاحتراق في الطور الأساسي، واقترب نهايته من ن.م.ع.

وكل هذا يؤدي إلى أنه بزيادة ε تنخفض φ_{H} ويزداد η_i ، ومن جهة أخرى وعند القيم الكبرى لـ ε تزداد نسبة سطوح حجرة الاحتراق إلى حجمها، وهذا يعني أن كمية المزيج في الطبقات المجاورة للجدران وفي المخارج تزداد. أي إن نسبة المزيج المحترق في الطور الثالث تصبح أكبر.

- الشحن القسري:

عند شحن المحركات البنزينية يجب تخفيض نسبة الانضغاط إلى $\varepsilon = 8-9$ والضغط P_k يتم رفعه إلى $0.2-0.13$ ميغا باسكال. وعندها تزداد الاستطاعة الليترية بحدود $30-50\%$ لأن $\varphi_{\text{H}} < 0.0$.

وعند استخدام البنزين عالي الأكتان في المحرك المشحون، فإنه بزيادة T_k ، P_k تنخفض فترة الطور الأول للاحتراق، والزاوية φ_{H} تنخفض بمقدار $1-1.5$ درجة لكل 0.1 ميغا باسكال يزداد بها الضغط P_k .

فترة θ_{H} لا تتغير عملياً بزيادة P_k . والشحن الميكانيكي لا يسبب زيادة الضغط المعاكس عند الخروج، وفي هذه الحالة تميل θ_{H} إلى الانخفاض القليل بزيادة P_k .

ويسبب الشحن خللاً في عملية الاحتراق بنشوء الصفع، ولمكافحته يتم تخفيض نسبة الانضغاط وزاوية تسبق الاشتعال. وفي هذا الاتجاه تؤثر أيضاً عملية تبريد الهواء المشحون بعد الشاحن في إغناء المزيج.

والطريقة الفاعلة لمعالجة الصفع عند الشحن القسري هي تخفيض نسبة الانضغاط الفعلية بطريقة الإغلاق المتأخر لصمام السحب، وللحصول عندئذ على الاستطاعة المطلوبة يجب زيادة ضغط الشحن، وفي نفس الوقت يبقى عامل التمدد مستقراً، أي لا تتدهور اقتصادية المحرك.

ومهما كان هدف الشحن القسري (تحسين مواصفات الشد والسرعة للسيارة أو زيادة المواصفات الاستثمارية الاقتصادية) يبقى دائماً البحث عن الحل الأمثل عبر تناعم اختيار العوامل $\phi_n \propto P_n, E, i, V_n$ وذلك لبلوغ الاحتراق الحالي من الصفع.

- تشكيل الشحنة الطبقيّة عند حقن البنزين في الأسطوانة:

كما في المحركات التقليدية، تتعلّق عملية الاحتراق (عند استخدام الحقن في الأسطوانة) وكذلك عملية تشكيل الشحنة الطبقيّة بمسألة الاضطراب في الشحنة.

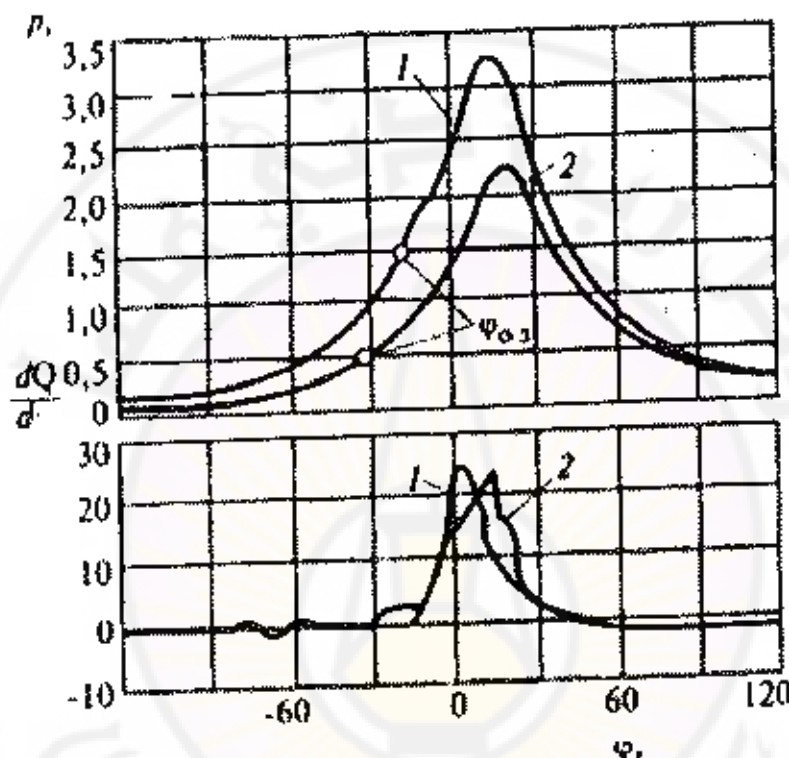
فالحركة العمودية للشحنة المتولدة عند السحب باتجاه الأسفل والتي تحددها قناة الدخول المستقيمة، عند التأثير المتبادل للتيار مع حجرة احتراق خاصة يغير التيار حركته بالاتجاه المعاكس، أي تستمر الشحنة بالحركة لكن إلى الأعلى.

وفي نهاية شوط الانضغاط تتفكك الدوامة العمودية وتزداد الحركة المضطربة للشحنة، وتتعلّق درجة تحول الحركة أيضاً بشكل حجرة الاحتراق. والحركة الأفقيّة (الدوامة) تحافظ على سحابة الشحنة الطبقيّة، أي تمنع الزيادة الكبيرة الطارئة في أبعادها ونتيجة لذلك تمنع إفقار المزيج. ويؤدي شكل حجرة الاحتراق دوراً هاماً في المحافظة على شدة الدوامة الأفقيّة.

وهكذا فإن اختيار شكل الحجرة ينحصر في إيجاد توازن ما للحصول على المتطلبات والظروف المناسبة للتنظيم الأمثل لعملية تشكيل الشحنة الطبقيّة واشتعالها واحتراقها.

سرعة الاحتراق (وانبعاث الحرارة) للشحنة الطبقيّة أعلى من الشحنة المتجانسة شكل ٤٢؛ لذلك تنخفض زوايا تسبيق الاشتعال، ويزداد التماسك والاستقرار بالإضافة إلى زيادة $\propto$ التي ترفع من قيمة المردود البياني.

وعند الشحنة الطبقيّة، فإنّ قسماً من سطح الانتقال الحراري يغطيه هواء الشحنة الذي يتميز بالحرارة المنخفضة، وهذا يؤدي إلى انخفاض ضياع الحرارة في عملية الانتقال الحراري في الجدران وزيادة المردود البياني.



شكل - ٤٢

والإفقار الأعظمي للمزيج يلزم عند العمل بالحمولة. وبما أن المحرك يعمل في ظروف الانفتاح الكامل لصفحة الخنق (صمام المزيج) فإن الحرارة تنخفض بشدة في الأسطوانة وعلى المخرج (عند الطرد)، والمحفز، ولمعالجة مسألة انخفاض الحرارة غير المسموح في المحفز يتم زيادة نسبة إعادة تدوير الغازات بنسبة ٣٠ % وعندئذ تنخفض نسبة إصدار CH , No_x في

الأسطوانة وتستقر الحرارة في المحفز في الحدود المقبولة. والقيمة العظمى ∞ عند اللاحمل تصل إلى 3-3,5 (عند التسوير الكبير للغازات) عند الحقن المباشر وتحويل الشحنة إلى طبقات فإن استقرار وثبات الاحتراق يسمح بالمقارنة مع الحقن الموزع بتخفيض الدوران عند العمل بدون حمولة بحدود 100 دورة في الدقيقة، وينخفض استهلاك الوقود بنسبة 40% تقريباً.

وبزيادة الحمولة (عند انفتاح صمام المزيج بالكامل) تتوفر إمكانية إغناء طبقات الشحنة حتى $1,5 \approx \infty$ باستمرار الإغناء، وكما في الديزل يظهر الدخان في غاز العادم. وهذا يتطلب الانتقال إلى المزيج المتجانس وإلى التحكم الكمي بالحمولة. وبذلك فإن عملية التحكم بالحمولة تأخذ طابعاً مركباً ومعقداً. وأبسط مخطط للتحكم تعرضه شركة يوش، عند الضغط على دعسة المزيج يبقى صمام المزيج مفتوحاً بالكامل، وتزداد كمية البنزين، ويحدث أغناء للشحنة الطبقة.

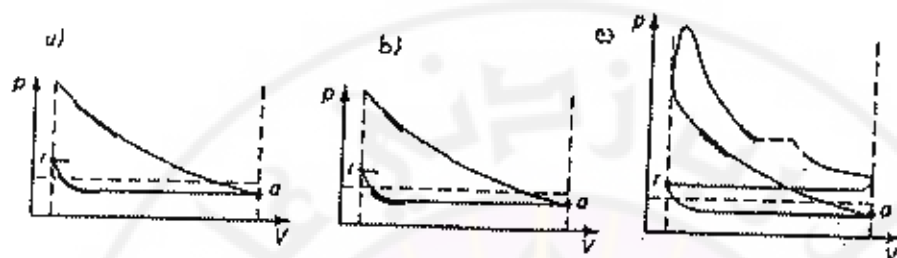
بعدها وعندما تصبح $1,5 \approx \infty$ يغلق الصمام بشدة، ويصبح الحقن مبكراً ويتحول المحرك إلى العمل بالمزيج المتجانس والمتوازن والتحكم الكمي بالحمولة.

عند الانتقال من الشحنة الطبقة إلى الشحنة المتجانسة تؤمن عملية التحكم التغير السلس لعزم الفتل.

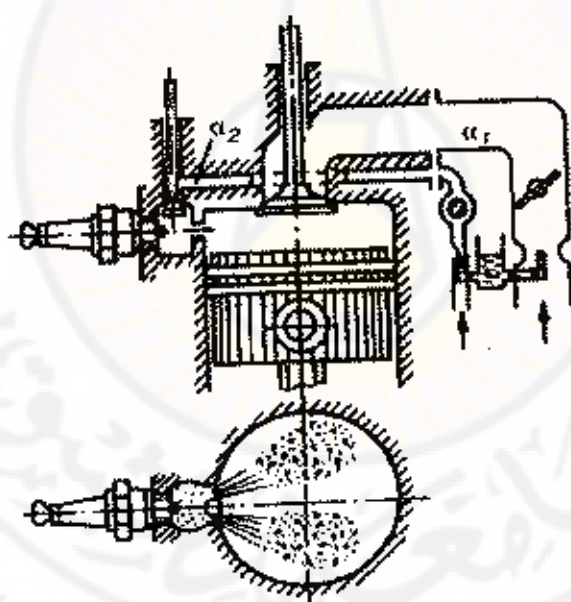
وأغلب الشركات تستخدم الشحنة الطبقة أساساً في مجال أنظمة العمل على الحمولات. ولانتقال من الشحنة الطبقة مع $1,5 \approx \infty$ إلى الشحنة المتجانسة $1,3 - 1,5 \approx \infty$ يمكن أن نحتاج إلى منطقة انتقالية ذات شحنة نصف طبقية.

وفي هذه الحالة يحقن القسم الأكبر من الوقود في بداية شوط السحب، ويشكل مزيجاً بـ $1,5 > \infty$ وهذا المزيج لا يتم إشعاله بالشرارة، ولذلك يحقن الجزء

الثاني الأقل من الوقود في نهاية الانضغاط شكل - ٤٣. وتتشكل سحابة من مزيج قابل للاشتعال بشكل جيد، وهي تتحرك في منطقة الشمعة حيث تحترق بواسطة، وبعدها تنتشر جبهة اللهب المتولدة في المزيج الفقير.



شكل - ٤٣



شكل - ٤٤

وعند العمل بدون عملية الخنق ومزيج فقير طبقي يزداد الضجيج خلال

السحب والاحتراق بالمقارنة مع المزيج المتجانس، لأن زيادة الضغط في الأسطوانة يسبب زيادة قوى الغازات.

ويسمح حقن البنزين في الأسطوانة بزيادة نسبة الانضغاط إلى ١٢-١٣ ويختفي الفرق من هذه الناحية بين محرك الديزل والمحرك البنزيني. أولاً- هذا يؤدي إلى انخفاض حرارة الشحنة في الأسطوانة نتيجة تبخر البنزين وزيادة سرعة الاحتراق بسبب الاضطراب الحاصل في الشحنة.

ثانياً - زيادة نسبة الانضغاط تسمح باستخدام الحقن بمرحلتين، ويحقن الجزء الأول (٢٠-٤٠)% في شوط السحب شكل -b٤٣ ويشكل مزيجاً فقيراً لا تظهر فيه الظواهر ما قبل الصفع بسرعة كما في المزيج الغني وبعدها وفي نهاية الانضغاط (٥٠-٨٠ درجة) قبل ن.م.ع يحقن الجزء الآخر من الوقود. ولا تتوفر إمكانية بروز ظواهر عملية الصفع بسبب عدم كفاية الفترة الزمنية اللازمة.

- الإشعال بواسطة الحجرة المسبقة:

تستخدم في بعض المحركات حجرات منفصلة وعمليات إشعال مخروطية في حجرات أولية شكل -٤٤ قليلة الحجم $4-0,03 = \frac{V_k}{V_c}$ وتركب شمعة الاحتراق وصمام سحب صغير نسبياً يعطي مزيجاً غنياً جداً ($0,1-0,2 = \alpha$). يوجد في الحجرة الأساسية صمام خاص يعطي مزيجاً فقيراً ($1,4 > \alpha$) على جميع نظم العمل تقريباً.

والحجرات مرتبطة معاً بقناة أو أكثر ذات مقاطع صغيرة. وفي نهاية الانضغاط وبنتيجة انزياح المزيج الفقير إلى الحجرة المسبقة يتشكل مزيج غني $0,6-0,8 = \alpha$ يتمتع بأفضل الشروط الضرورية للاحتراق الجيد.

يزداد الضغط في الحجرة المسبقة بسرعة وتتدفق الغازات النشيطة التي تستمر في احتراقها بسرعة عالية إلى الحجرة الأساسية.

وتستمر عملية الاحتراق في الحجرة الأساسية لمخاريط المزيج الفقير بشكل جيد وفي أن معاً في جميع نقاط الحجرة. ومما يحسن الاحتراق هو الاضطراب الإضافي الناجم عن اندفاع مخاريط المزيج بسرعة عالية.

وعملية الاحتراق هذه تسمح بالحصول على مؤشرات اقتصادية وطاقية وبيئية عالية على الحملات الجزئية، وعلى إصدارات منخفضة لـ No_x, co .

غير أن هذه المحركات تتميز بالتعقيد وبشروط عمل غير جيدة للمجمعات، واختلاف توزيع المزيج بين الأسطوانات.

٢.٣ - عمليات المزج والاحتراق في محركات الديزل:

١.٦.٣ - الحقن والتذير:

للحصول على الدورة الحرارية الفعلية، في نهاية عملية الانضغاط (قبل ن.م.ع) تبدأ عملية إعطاء الوقود في حجرة الاحتراق .

وتستخدم محركات الديزل نوعين من نظم التغذية : نظام الفعل المباشر ونظام المجمعات .

في كلا النوعين يحقن الوقود في الأسطوانة من عنصر التذير في الحاقن (البخاخ) بضغط مرتفع يسمى ضغط الحقن . ويتغير مقطع الجريان وضغط الحقن في مرحلة التغذية ولذلك تتغير سرعة التدفق ومقدار تدفق الوقود في وحدة الزمن .

وتختلف قيم وطبيعة التخير بالزمن (بدرجات دوران عمود المرفق) تبعاً لتصميم نظام التغذية، ونظم العمل وخصائص الوقود.

ولكي تجري العمليات اللاحقة بشكل فعال يجب تحقيق بعض المتطلبات والشروط من قبل نظام التغذية :

- ضرورة حقن الوقود خلال طور محدد في الدورة الحرارية . بداية التغذية تحدد زاوية تسبيق الحقن، ونهاية التغذية أو فترة العملية يجب أن يتحقق فيها الاستخدام التام للطاقة الحرارية للوقود.

في ديزل الجرارات والسيارات عند الحمولات العظمى تساوي زاوية تسبيق الحقن ٣٠-٥ درجة وعملية التغذية ٢٠-٤٥ درجة بدوران العمود المرفق .

يجب التنويه إلى أنه في نظم التغذية العادية ليس متاحاً دائماً بلوغ اللحظات المثلى لبداية ونهاية الحقن في جميع نظم عمل الديزل . وفي هذه الحالة توضع الأطوار المثالية لعملية الحقن المناسبة على الأنظمة الاستثمارية .

وتستطيع أنظمة التغذية الإلكترونية التحكم بزاوية التسبيق وبضغط الحقن، وتقرب عندئذ أطوار الحقن من القيم المثالية في كل مجال أنظمة العمل .

تؤمن عملية الحقن الحصول على جودة التذير ، وتوزيع الوقود في حجرة الاحتراق بسبب الحاجة الضرورية السريعة لجريان العمليات الفيزيائية والكيميائية بعد دخول الوقود إلى حجرة الاحتراق : عمليات التسخين ، التبخر ، الخلط ، الأكسدة ، وغيرها .

ومن المستحب أن تنتهي عملية الحقن بحدّة دون السماح بتسرب الوقود من الحاقن أو ما يسمى (الحقن المتأخر) بعد نهاية الحقن الرئيسي .

و يجب أن تتلائم وجبة الوقود الدورية مع نظام عمل المحرك (السرعة والحمولة) وهنا يجب أن تجري عملية التغذية بشكل موحد في جميع الدورات، وفي جميع الأسطوانات .

ولتقويم عوامل الحقن وتحديد كمية الوقود تستخدم الخصائص التفاضلية والتكاملية لعملية الحقن .

- الخاصية التفاضلية :

الحقن هو العلاقة بين سرعة الوقود الحجمية أو الكتلية المتدفقة من الحاقن من جهة والزمن أو زاوية دوران عمود الكامات في مضخة الوقود ذات الضغط العالي من جهة أخرى .

وعند تحليل العمليات في المحرك ترسم الخاصية التفاضلية للحقن كعلامة تابعة لزاوية دوران العمود المرفقي (شكل - ٤٥ المنحني ١) وتوضع زوايا الدوران على المحور الأفقي، وتوضع على المحور العمودي كمية الوقود نسبة لدرجة واحدة من زاوية الدوران $(\frac{dV_{cn}}{d\varphi})$ حيث $\varphi_{o.cn}, \varphi_m, \varphi_{ke}, \varphi_{n.cn}$ لحظات بداية، نهاية، استمرارية، وزاوية تسبيق الحقن .

- الخاصية التكاملية :

تحدد كمية الوقود المتدفقة من الحاقن من لحظة البداية إلى أي لحظة من فترة التغذية .

إذا رمزنا لعلاقة الخاصية التفاضلية للحقن نسبة لزاوية الدوران $f(\varphi)$ فإن حجم الوقود المحقون هو:

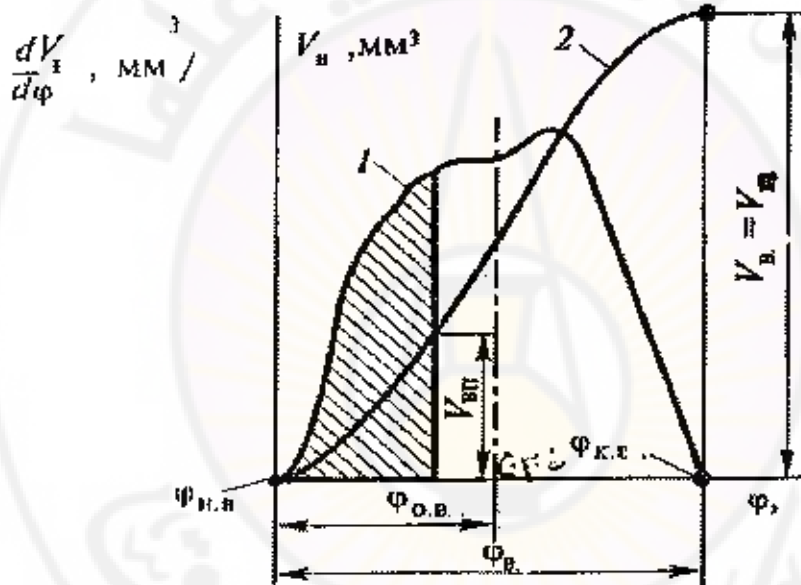
$$V_m = \int_{\varphi_{o.cn}}^{\varphi_m} f(\varphi) d\varphi \dots \dots \dots (3.13)$$

و V_m هي عبارة عن المساحة المخططة على الشكل - ٤٥ والخاصية التكاملية للحقن تظهر عبر المنحني ٢ . وعندئذ يوضع حجم الوقود V_{cn} على المحور العمودي. وعندما تكون $\varphi = \varphi_{k.cn}$ نحصل على خاصية التكامل كمية الوقود المعطاة للأسطوانة في دورة واحدة $V_m = V_c$ وتسمى الوجبة الدورية. ويعطى حجم V_c (مم^٣ سم^٣) ويتبع نظام عمل المحرك وبمعرفة كثافة الوقود ρ_T تحسب وجبة الوقود (غم. غ) بالعلاقة:

$$G_{T.C} = \rho_T \cdot V_c \dots \dots \dots (3.14)$$

كما يظهر من الشكل - ٤٥ فإن خاصية الحقن تعطي إمكانية حساب

كمية الوقود المحقون والأطوار الفعلية وفترة الحقن .
 إذا كانت أبعاد تقوُّب الحقن معروفة كان بالإمكان حساب سرعة التدفق والضغط والطاقة الحركية لتدفق الوقود عبر خاصية الحقن والمعادلات الهيدروليكية.
 وعند إجراء هذه الحسابات تجزأ عملية الحقن إلى عدة أجزاء، ويعتبر الجريان مستمراً ونافذاً، وتتخذ القيم المتوسطة للعوامل .



شكل - ٤٥

ويظهر على الشكل - ٤٦ جميع أنواع خصائص الحقن النموذجية .
 على الشكل - a تتزايد سرعة التغذية بالتدريج وينتهي الحقن بشكل حاد .
 وعلى الشكل - b كمية الوقود المعطاة على الجزء الأولي (في البداية) أقل مما في الخاصية - a.

والخصائص التي تتزايد سرعة التغذية فيها ببطء أكثر ملائمة لعمل السديزل الذي يعطي الوقود فيه في حجم حجرة الاحتراق .

في الخاصية شكل - e سرعة التغذية كبيرة في البداية ، وتحقق كمية كبيرة من الوقود عند السرعة المنخفضة.

حجم الوقود المعطى خلال تزايد السرعة يطابق المساحة - 1 ، والمعطى خلال انخفاض السرعة هي المساحة - 2 .

في الخاصية شكل - r تطول نهاية الحقن وعلى الشكل - d يظهر حقن أساسي (المنحني 3) وحقن متمم (المنحني 4) .

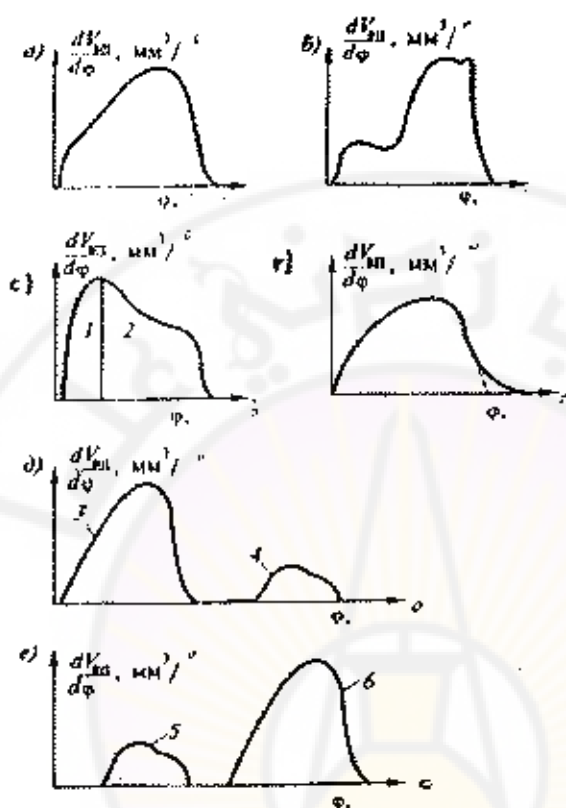
ويظهر الحقن المتمم في بعض نظم العمل بسبب الظواهر الموجية على امتداد طول الضغط العالي في نظام التغذية .

وفي هذه الحالة يعد الحقن الإضافي شديد الخطورة لأن الطاقة الحرارية المنبعثة بعد ن.م.ع على منحني التمدد تكون قليلة الفائدة .

على الشكل - e قبل الحقن الأساسي (المنحني 6) يعطي أولاً جزءاً من الوقود (المنحني 5) يؤمن الاحتراق اللاحق وبشكل سلس للوقود الرئيسي ، ويحقق إمكانية استخدام وقود بعدد ستيان منخفض ، أو استخدام مستحلب الوقود بالماء.

ومن الخصائص المستحبة يمكن أن تكون خصائص الحقن التي تضم الحقن الأولي والحقن الأساسي والحقن الإضافي . ويمكن إعطاء الوقود على شكل وجبات متتالية متعددة.

والحصول على عمليات متعددة للحقن أو على الحقن المنفصل ، والتحكم بفترات التغذية تستخدم نظم التغذية التجميعية ذات التحكم الإلكتروني .



شكل - ٤٦

- تفتيت الوقود، عوامل الدقة والنعومة، وتجانس عملية التذير:
عند تدفق الوقود عبر ثقب الحقن إلى حجم مملىء بالغاز يحصل تفتيت
للوقود، ويتحول إلى قطرات مختلفة الأبعاد .
ننظر إلى تفتت الوقود المتدفق عبر ثقب دائرية بسرعات مختلفة . عند
حركة التيار في الثقب نظهر على سطح السائل (الوقود) معوقات أولية .
وعند السرعات البطيئة تقود هذه الإعاقات إلى ظهور اهتزازات غير

متناظرة، وبازدياد سعة هذه الاهتزازات ينقطع الوقود المتدفق ، وتتشكل قطرات بكمية محدودة ، وتزداد سعة الاهتزازات بفعل قوة ضغط الغاز المختلفة المؤثرة على التموجات المختلفة المتشكلة على السطح الخارجي للوقود الجاري (خيوط الوقود المتدفق) .

وبزيادة سرعة الجريان، يفقد خيط الوقود تماسكه وتظهر تمددات موجية لمحوره مما يسبب تفتيتاً موجياً . وبزيادة السرعة أكثر يبدأ تفتيت نوعي تتشكل خلاله كميات كبيرة من القطرات بالقرب من فتحة الحقن . و يسمى هذا التفتيت (التذير) .

وحدود الانتقال من شكل معين للتفتيت إلى شكل آخر تتعلق بسرعة التدفق وبالمواصفات الفيزيائية لسائل وبالمؤثرات الأولية التي تظهر في تيار الوقود عند حركته في عنصر التذير (المذرر) .

وعند تفتيت تيار الوقود إلى قطرات دقيقة تزداد سطوح السائل (القطرات) بشكل حاد. وتساوي نسبة سطوح كامل القطرات على سطح القطرة الواحدة التي تساوي جميعاً بالكتلة الجذر التكعيبي لكمية القطرات . وتصل كمية القطرات الناتجة عن التذير إلى 10^6 (0,5-20). مما يرفع مساحة القطرات إلى (٨٠-٢٧٠) مرة وهذا مايجعل عمليات الانتقال الحراري وانتقال الكتلة الجارية بين القطرات والهواء في حجرة الاحتراق عالية الحرارة .

وفي عملية الحقن وكما يظهر من الشكل -٤٦ تتغير سرعة تدفق الوقود من عنصر التذير في مجالات واسعة ، لذلك يمكن أن تتواجد الأنواع الثلاثة من تفتيت التيار .

والنوع الأساسي للتفتيت هو التذير .

وفي بعض محركات السيارات والجرارات التي تحتوي على حجرات احتراق منفصلة، يستخدم فيها عنصر تذير بفتحة واحدة . وفي هذه الحالة

ينفذ الوقود إلى حجرة الاحتراق من خلال ثقب حلقى يتشكل بين سطوح فتحة التذير . وجسم عنصر التذير .

و تجري حركة الوقود في المرحلة البدائية على سطوح المخروط . ونتيجة الاهتزازات المتولدة على سطوح الوقود ، وانخفاض سماكة طبقات الوقود (بسبب زيادة السطح الجانبي للمخروط) يفتت وتتشكل قطرات ذات أبعاد مختلفة .

والعوامل المؤثرة في عملية التذير هي المؤثرات الأولية في تيار الوقود التي تظهر عند حركته في عنصر التذير . وتتعلق المؤثرات بتصميم عنصر التذير، وبسرعة الجريان في القنوات وفي مقاطع الخنق ، وبالشكل الهندسي لتقريب التذير، والحواف الحادة للدخول ، والصفات الفيزيائية للوقود .

و يتبخر تيار الوقود بتأثير المؤثرات الأولية وقوى المقاومة الإيروديناميكية إلى جزيئات منفردة وخبوط وقطرات صغيرة وكبيرة . والجزيئات التي تتحرك في الوسط الغازي تتمدد بتأثير القوى الإيروديناميكية وقوى التوتر السطحي، وتؤدي الأخيرة إلى تجزئة طبقات الوقود وخبوطه وتشكيل القطرات منها .

و تبدأ أيضاً القطرات الكبيرة التي تتحرك بسرعة كبيرة في وسط غازي متماسك بالتمدد وتحت تأثير قوى المقاومة تتفكك القطرات إلى قطرات دقيقة . غير أن تمدد القطرات وتفتتها تقاومها قوى التوتر السطحي ولزوجة الوقود. لذلك فإن عملية التفتت تستمر حتى تصبح قوى استقرار القطرة أعلى من القوى المسببة للتفتت .

إن سرعة حركة جزيئات الوقود في مقطع تيار الوقود وفي لحظات معينة للحقن تكون مختلفة، وتختلف ظروف حركة الجزيئات والطبقات والخبوط والقطرات في داخل حجرة الاحتراق وفي النهاية يتشكل طيف واسع لأقطار

القطرات .

ولتقدير التذيرر المتنوع والسطوح الناتجة وكمية القطرات ، تستخدم الأقطار الوسطية، وهو القطر الوسطي الحجمي d_{08} هو القطر الأكثر استعمالاً، والقطر الوسطي للقطرات (d_3) أو مايسمى قطر زوائر.

القطر الحجمي للقطرة يستخدم لتقدير دقة التذيرر والكمية الفعلية للقطرات المتشكلة، يحسب من شروط مساواة كمية القطرات ومجموع حجوم القطرات الفعلية والوسطية.

ويحسب القطر الوسطي للقطر وفق زوائر من مساواة مجموع سطوح وحجوم القطرات الفعلية والوسطية .

وبذلك القطر الوسطي للقطرة وفق زوائر يمكن استخدامه لحساب عمليات تسخين وتبخر القطرات في تيار الوقود . لأن حجم التسخين ، ومساحة السطوح التي تستقبل الحرارة تكون واحدة للقطرات الفعلية والوسطية .

ويبدل انخفاض الأقطار الوسطية للقطرات على دقة عملية التذيرر .

لكن الأقطار الوسطية لايمكنها توصيف تجانس عملية التذيرر بالكامل .

ولتقدير الدقة وتجانس التذيرر في أن معاً تستخدم العلاقة الهندسية بين أقطار القطرات المختلفة ونسبة تواجدتها .

وهذه العلاقات تسمى مواصفات التذيرر . وعند رسم خصائص التذيرر، توضع الأقطار على المحور الأفقي وعلى المحور العمودي نسبة كمية القطرات ذات الأقطار المختلفة (من الحد الأدنى إلى الحد المعني) ، إلى حجم كافة القطرات .

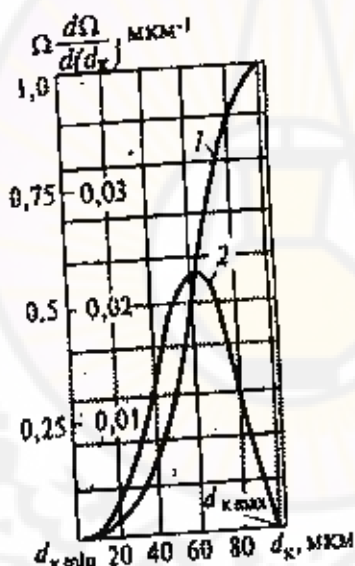
هذه النسبة يرمز لها بـ Ω ولذلك تكون (للقطر الأكبر للقطرات) الكمية الإجمالية النسبية لها مساوية للواحد .

وتطبق العلاقة $\Omega = f(d_k)$ على الشكل -٤٧ مع المنحني ١ .

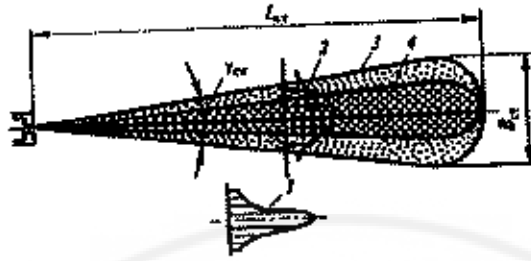
وكلما كان منحنى التذير مائلاً وقريباً من المحور العمودي ، كان التذير دقيقاً ومتجانساً ومكان الحجم على المحور العمودي يمكن وضع الكتلة النسبية للقطرات.

ترسم منحنيات التذير بشكل منحنيات تواتر الحجم النسبية (الكتل) للقطرات نسبة لأقطارها (المنحني ٢ شكل-٤٧-). ويمكن الحصول عليها بعملية تفاضل الخصائص الإجمالية لعملية التذير.

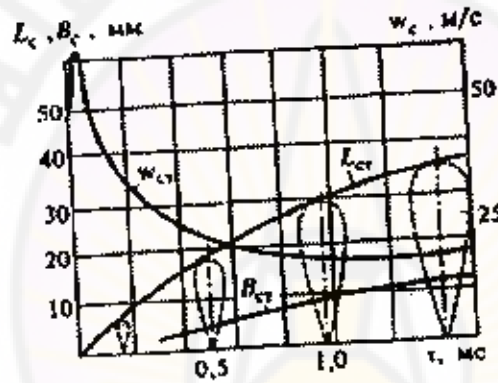
تحسين دقة التذير وتجانسه تنطبق مع إزاحة الجزء الأعظمي لمنحني التردد باتجاه المحور العمودي وزيادة الحجم النسبية للقطرات الأقل قطراً.



شكل -٤٧



شكل - ٤٨



شكل - ٤٩

- تطوير تدفق الوقود وبنيته:

عند الحقن تتولد مجموعات من القطرات المتحركة.

ويتميز مخروط الوقود المفتت عوامل هندسية عديدة شكل - ٤٨ - طول المخروط، L_{ct} وعرضه B_{ct} وزاوية الانتشار γ_{ct} . وتقدر عملية تطوره بسرعة الحركة للجبهة الأمامية W_{ct} .

وتتميز بنية المخروط بأهمية كبيرة، والمقصود بها توزيع الوقود في

المقاطع العرضية وعلى طول المخروط. وتبين التجارب أن توزع القطرات في المخروط وتراكيز الوقود الموضعية غير متوازنة، فالقطرات المنشكلة في بداية الحقن تفقد سرعتها بسرعة عندما تصطدم بالوسط الغازي المتماسك والمستقر، وتحرك القطرات لاحقاً فقط بسبب حركة الغاز. والغاز الذي تؤثر فيه طاقة القطرات يبدأ بالحركة على طول محور المخروط والقطرات التالية تتقابل مع مقاومة أقل ويكون سرعتها الأولية كبيرة عند خروجها من ثقوب الحقن. وتلتحق بالقطرات المتباطئة وتدفعها إلى أطراف الطبقات الخارجية للمخروط.

وعمليات الفرملة والإزاحة للقطرات إلى الأطراف تحصل بشكل مستمر في الجبهة الأمامية عند تطور المخروط. ونتيجة ذلك تزايد سرعة القطرات وأعدادها في المقاطع العرضية للمخروط، وذلك كلما اقتربنا من محوره.

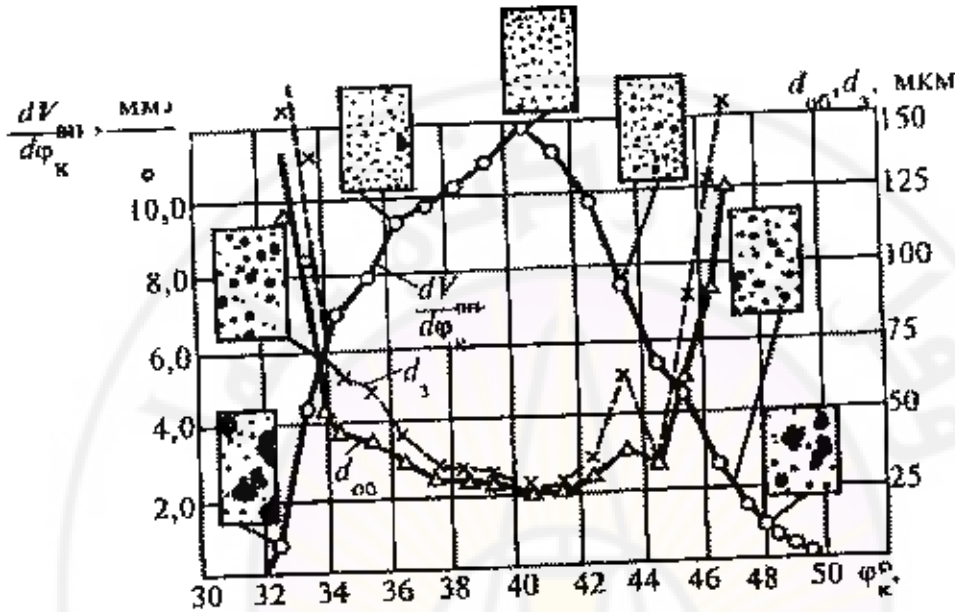
ويظهر على الشكل-٤٨ توزيع الوقود (المنحني ١) وسرعة الجزيئات (المنحني ٢) في المقطع العرضي للمخروط، حيث تتوضع شرطياً الطبقات الخارجية ٣ والداخلية ٤ للمخروط، كل القيم المميزة لعملية تطور المخروط تتغير بالزمن وباستمرار عملية التغذية شكل-٤٩- إذ أن الطسول والعرض يزدادان باستمرار، وسرعة الجبهة الأمامية في الجزء الأمامي تزداد بشكل حاد ثم تنخفض، وعلى الجزء الوسطي لتيار التغذية يمكن ملاحظة زيادة السرعة W_{cr} عند زيادة تنفق الوقود من الثقوب.

- تأثير العوامل المختلفة على دقة التذير وبنية المخروط :

على الشكل -٥٠- تظهر مواصفات الحقن والصور المكروية مع صور القطرات المطابقة للفترات المختلفة لعملية التغذية، وتغير الأقطار الوسطية d_3 ، d_{ob} الحاصلة تجريبياً. وترسم خاصية الحقن طبقاً لزاوية دوران محصور

الحدبات في مضخة الوقود .

ومن الرسم نرى أن القطر الوسطي للقطرات يتناسب عكساً مع سرعة تدفق الوقود .



شكل - ٥٠

ولذلك فإن دقة التذير وتجانسه، يؤثر فيها ضغط الحقن. ففي نظام التغذية العادي يتعلق الضغط بالعوامل التصميمية (قطر مكبس المضخة، شكل حدبة مضخة الوقود، المساحة الكلية لثقوب الحقن وغيرها). وكذلك نظم العمل والقيم العيارية .

في الجزء الأولي لعملية الحقن تتعلق دقة التذير وتجانسه بالضغط P_{∞} بداية ارتفاع الإبرة في عنصر التذير . وهذا الضغط الموافق للأبعاد المختارة لمخروط الإبرة مفره يحدد بالقوة التي تمنع الإبرة من الحركة .

وللبخاخات ذات النابض الممانع هذه القوة وهذا الضغط $P_{\text{ه}}$ يمكن عيارهما بتغيير قوة شد النابض الأولية، وبزيادة هذا الضغط تتحسن عملية التذير. وقد ينخفض هذا الضغط أثناء الاستثمار مما يسبب زيادة أقطار القطرات.

وفي نظام التغذية ذات المجمع يحدد ضغط الحقن انطلاقاً من الضغط في المجمع والذي يمكن أن يتغير أو أن يبقى ثابتاً تبعاً للمتطلبات الاقتصادية والبيئية الأفضل لمحرك الديزل .

وتدل التجارب أنه بزيادة $P_{\text{ه}}$ يتحسن التذير في البداية بشكل ملموس . وفي مجال الضغوط العالية 180-150 ميغا باكسل تصبح عملية التحسن أقل. ويفسر ذلك أن القطرات الدقيقة المتشكلة بعد الثقوب لا تنفث بعدها بسبب زيادة قوى التوتر السطحي عن القوى الداخلية والخارجية التي تحاول تفثيت القطرات.

وفي مقاطع عنصر التذير يتولد اضطراب في مخروط الوقود، وتسبب زيادة طاقة الدوامات ونبضات الاضطراب تسبب تفثيت المخروط وتحسين دقة وتجانس التذير، وزيادة زاوية انتشار المخروط أيضاً

لذلك يتحسن التذير عند وجود حواف حادة في عنصر التذير . وخلال الاستثمار تتآكل الحواف الحادة وتسبب بانخفاض دقة التذير. وتؤثر على التذير نسبة طول ثقب التذير L_c على قطريه، والتذير الأق

$$\frac{l_r}{d_e} = 3-4 \text{ يحصل عندما تكون}$$

وفي الثقوب الطويلة تخمد المؤثرات في مخروط الوقود . وفي الثقوب القصيرة ينخفض اضطراب الوقود عند حركته داخل الثقب .

ومن العوامل الأساسية المحددة لطول مخروط الوقود - الطاقة الحركية للوقود المتدفق من الثقوب، وهي تتعلق بكتلة الوقود وسرعة التدفق والتي يحددها شكل منحنيات الحقن (أو ضغط التذير) والمقطع العرضي لثقوب الحقن. لذلك فإن منحنيات الحقن تؤثر بشكل كبير على تطور مخروط الوقود

وطوله .

وعندما يحقن الوقود بوجبات منفصلة متسلسلة يكون طول المخروط أقل لأنه بين الوجبات المتفتنة إلى قطرات يتسرب الغاز من حجرة الاحتراق مسبباً زيادة في مقاومة حركة المخروط. ويؤثر تصميم عنصر التذير بشكل كبير على مخروط الوقود . ففي العنصر عديد المخاريط وعند تدفق الوقود من ثقب أسطوانى يكون تركيز الوقود أعظمياً على محور المخروط .

أما عنصر التذير وحيد الثقوب فيعطي مخروطاً أجوفاً ويكون تركيز الوقود مركزاً في السطوح الجانبية . وزاوية انتشار المخروط عند تعدد ثقوب الحقن يمكن أن تتغير قليلاً تبعاً لنسبة طول الثقب على قطره . وعند الثقب الواحد يمكن أن تتغير هذه الزاوية في مجال واسع بزيادة أو تخفيض زاوية مخروط ثقب الحقن في جزئه الأخير، وبزيادة زاوية الانتشار ينخفض طول مخروط الوقود .

وبزيادة قطر ثقب الحقن مع المحافظة على مساحة المقطع الإجمالية الفعالة للتدفق، وهي تساوي جداء معامل تصريف الثقب μ_e في المساحة الإجمالية للثقوب $f_e(\mu_e \cdot f_e = const)$ وعند تعداد الثقوب يزداد طول مخروط الوقود. ويفسر ذلك بالكتلة الكبيرة التي تولد طاقة حركية كبيرة . وأعداد الثقوب وتبعاً لذلك فإن أعداد عندئذ تتناقص المخاريط. وعند اتساع ثقوب الحقن تنخفض كمية الوقود المارة فيها وينخفض طول المخروط الناتج .

وتؤثر مواقع مقاطع الدخول في ثقوب الحقن بشكل كبير على تطور مخروط الوقود. فإذا كان مقطع ثقوب الحقن على مخروط القاعدة شكل-b ٥١ . فإن كتلة الوقود (وخاصة في بداية الحقن) وطول مخروط الوقود ستكون أقل بالمقارنة مع المذرر (عنصر التذير) الذي يدخل إليه الوقود من فسراغ حجمي. ويظهر على الشكل a ٥١ ويفسر ذلك بالمقاومة الهيدروليكية العالية

المؤثرة عند تسرب الوقود من الخلوص القائم ما بين مقر الإبرة ومخروطها شكل - ٥١ b إلى الثقوب .

وبالمقارنة مع المذرر شكل - ٥١ a فإن طاقة تيار الوقود هنا تهدر على الحركة الدوامة النشطة والاضطراب الذي يحصل للوقود في ثقب التذير مما يؤدي إلى زيادة مخروط التيار وإلى زيادة دقة التذير. ويجب ملاحظة مايلي: أنه كلما كان الخلوص بين مخروط الإبرة والمقر كبيراً ازداد تأثيره على تطور مخروط الوقود وتوزع الوقود بين الثقوب .

وتؤثر أبعاد مقر الإبرة ومخروطها في مقدار الخلوص ، ويؤثر مقدار ارتفاع الإبرة وانزياح محورها والتواءه نسبة لمحور جسم المذرر ، ونظم عمل دائرة التغذية أيضاً .

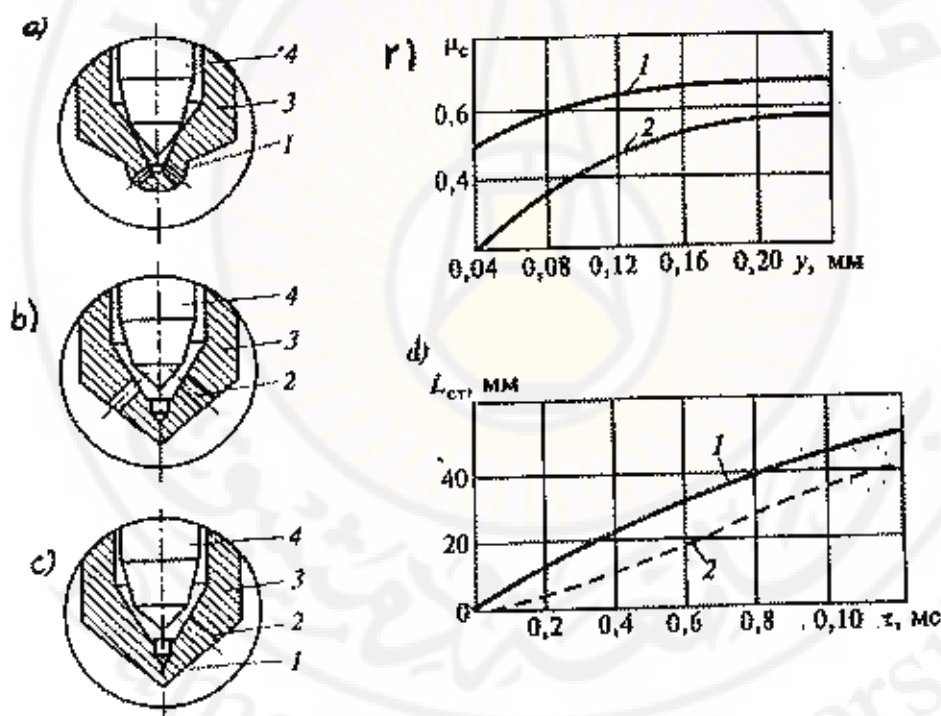
على الشكل - ٥١ d, r تظهر مقارنة بين تغيرات معاملات التصريف لدى ثقب التذير، وطول مخروط الوقود تبعاً لمدى ارتفاع الإبرة والزمن الذي يدخل تيار الوقود فيه في آن معاً من الخلوص ومن الفراغ الحتمي شكل - ٥١ c عند الارتفاع البسيط للإبرة يكون معامل التصريف μ للثقب (١) شكل - ٥١ c أكبر بشكل ملموس مما لدى الثقب ٢ وباستمرار ارتفاع الإبرة يقل الفرق (المنحني ١-٢ شكل - ٥١ r) . ويتطور الحقل بالزمن تتزاح الإبرة من مقرها إلى مستدها، وتبعاً للمنحني $\mu = f(y)$ تتغير حركة تيار الوقود (المنحنيات ١-٢ شكل - ٥١ d) الخارج من الثقبين الأول والثاني.

ومن خصائص الوقود المؤثرة على دقة التذير وتجانسه اللزوجة، إذ تخفف التأثيرات في تيار الوقود عند حركته في المذرر، وبزيادة اللزوجة تنخفض دقة التذير وتجانسه . وتعرقل قوى التوتر السطحي تفتيت التيار والقطرات، لكنها تسبب تفتيت طبقات الوقود وخيوطة، لذلك فإن تأثير هذه القوى أقل نسبياً .

وبزيادة اللزوجة وقوى التوتر السطحي تنخفض زاوية انتشار مخروط الوقود وعرضه، ويزداد طوله، أما كثافة الوقود فتؤثر بشكل ضعيف على عوامل التذير، إذ يزداد طول المخروط بزيادة كثافة الوقود وبقاء الظسوف الأخرى مستقرة .

ويؤثر نوع الوقود على عملية التذير وتطور مخروط الوقود، وكذلك درجة حرارة الجو المحيط ، وعند انخفاضها تزداد لزوجة الوقود في نظام التغذية مما يؤثر سلباً على دقة وتجانس عملية التذير حتى ترتفع حرارة المحرك .

والحالة الفيزيائية للشحنة في حجرة الاحتراق في لحظة الحقن تميزها القيم التالية :



شكل - ٥١

الضغط في بداية الحقن (٢,٥ - ٥) ميغا باسكال والحرارة (٧٥٠ - ١٠٠٠) K،
كثافة الغازات في حجرة الاحتراق تزيد على كثافة الجو المحيط بـ ١٢ -
٣٠ مرة .

وتزداد الحرارة والضغط في الحجرة بعد بداية الاحتراق بشكل حاد .
وتؤدي زيادة كثافة الوسط الغازي الذي يحقن الوقود فيه إلى زيادة المقاومة
الإيروديناميكية لحركة القطرات ، مما يسبب تفتت تيار الوقود ، والقطرات
الأكبر نسبياً . لكن عند زيادة كثافة الوسط الغازي فإن القطرات تتباطأ ويمكن
أن لا تتمكن من بلوغ الشكل النهائي المستقر . وهذه القطرات لن تتفتت لأنه
عند انخفاض سرعتها تصبح قوى المقاومة أقل من القوى الناجمة عن التسوثر
السطحي التي تعرقل تمدد القطرات .

وتدل التجارب على أنه بزيادة كثافة الوسط الغازي تتغير دقة التذير بشكل
قليل والتأثير الهام لكثافة الوسط الغازي هو على طول المخروط وزاوية
انتشاره وعرضه . وبزيادة الكثافة ينخفض الطول بشكل حاد (زيادة قوى
المقاومة) . وفي نفس الوقت عند التذير عديد الثقوب وعند انخفاض الطول
تزداد زاوية الانتشار ويتوازن توزيع الوقود في المقاطع العرضية .

وعند استخدام المنزر وحيد الثقب يؤدي زيادة كثافة الوسط الغازي إلى
انخفاض زاوية انتشار المخروط وعرضه ، ويفسر ذلك بأن المخروط في هذه
الحالة يحتوي على كمية كبيرة من الغاز تسحب إلى غلاف المخروط . ونتيجة
الضغط على السطح الداخلي يصبح الغاز فيه أقل منه على السطح الخارجي
فيقلص المخروط . ويزداد التقصص بزيادة ضغط الوسط الغازي .

وأما المنزر عديد المخاريط فإن زيادة حرارة الوسط الغازي تؤدي إلى
انخفاض طول المخروط .

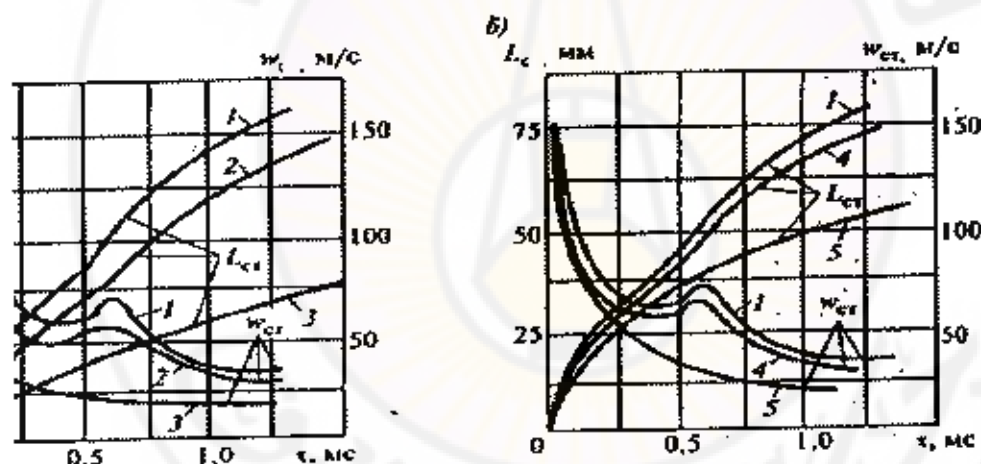
وبوجود الشحنة المتحركة داخل حجرة الاحتراق في الديزل يزداد التأثير

بشكل كبير على تطور مخروط الوقود وبنية .

وفي أنظمة الوقود العادية تؤدي زيادة سرعة دوران محور الكامات في مضخة الوقود إلى زيادة ضغط الحقن وسرعة تدفق الوقود من المذرع وفي النهاية يصبح التزوير أكثر دقة وتجانساً.

وبزيادة الطاقة الحركية لمخروط الوقود عند التدفق من المذرع إلى زيادة طول المخروط .

ويظهر على الشكل - ٥٢ مقارنة طول وسرعة الجبهة الأمامية للمخروط لعدد من سرعات الدوران. ويظهر أنه بزيادة دوران محور الكامات بمرتين (من ٥٥٠ دورة - المنحني ٣ إلى ١٠٥٠ دورة المنحني ١) إلى اللحظة $\tau = 1 \text{ ms}$ تزداد سرعة الجبهة الأمامية بمقدار ٢,٥ مرة .



شكل - ٥٢

على الشكل - ٥٢ يظهر تأثير تغيرات كمية الوقود، على طول المخروط وعلى سرعة حركة الجبهة الأمامية، وهذه المعطيات تعود إلى نظام وقود معين عندما تزداد وجبة الوقود فيه حيث لا تتغير بداية الحقن بل تتأخر نهايته وتزداد فترته.

وبتطوير عملية الحقن وزيادة كمية الوقود يزداد الفرق بين منحنيات الطول وسرعات الحركة للجبهة الأمامية. ويفسر ذلك أنه زيادة كمية الوقود في البداية يزداد ضغط الحقن قليلاً. وطبقاً لذلك تزداد سرعة تدفق الوقود قليلاً، وكذلك الطاقة الحركية في هذا الجزء.

ولكن احتياط الطاقة الحركية للمخروط يزداد بزيادة وجبة الوقود مما يؤدي إلى زيادة التباعد بين المنحنيات $W_{el} - L_{el}$.

وبما أن ضغط الحقن يزداد بزيادة وجبة الوقود فإن التذير يصبح أكثر دقة وتجانساً، وبمقارنة المعطيات شكل - ٥٢ نرى أن التأثير الكبير على ديناميّة تطوّر المخروط يقع من جانب تغير نظام السرعة، ويشكل أكبر من تغيرات وجبة الوقود.

وفي نظم التغذية بالمجمعات تتعلق عوامل التذير وتطوّر مخروط الوقود بالضغط داخل المجمع، وتتحسن العوامل (الدقة والتجانس) بزيادة الضغط، وتزداد سرعة حركة الجبهة الأمامية ويزداد طول مخروط الوقود.

- عملية المزج وعملية انبعاث الحرارة، وأطوار عملية الاحتراق:

تجري عمليات المزج في محركات الديزل داخل الأسطوانات، وتضم فيما بينها عملية التذير، وعملية تطوّر مخروط الوقود، وعملية التسخين والتبخّر، وتسخين بخار الوقود ومزجها بالهواء.

وتبدأ عملية المزج عملياً في لحظة حقن الوقود وتنتهي بانتهاء عملية

الاحتراق . -

وتتحدد عمليات تطوّر المزج واكتماله بخصائص الحقن والتذير، وسرعة حركة الشحنة في حجرة الاحتراق، وخصائص الوقود والشحنة تتمثل بشكل وأبعاد ودرجة حرارة حجرة الاحتراق، وتوضع مخاريط الوقود نسبة لسطوح الحجرة، وغيرها .

وتتعلق درجة العوامل المختلفة بنوع حجرة الاحتراق .
وتتطلب عملية المزج الجارية في الديزل والتي تؤثر بشكل رئيسي في عملية انبعاث الطاقة الحرارية، لأن سرعة الاحتراق حتى ٩٠% من كمية الوقود عند العمل على أنظمة الحمولة الأكبر تتعلق بسرعة تحضير المزيج .

وأهم المتطلبات من عملية المزج:

- تأمين ظروف الاحتراق التام في الوقت المناسب للوقود، التي لا تولد إصدارات كبيرة للجزيئات الصلبة وللغازات السامة NO_x , H_c , Co وغيرها .
- محدودية كمية المزيج المحضر في فترة تأخير الاشتعال وفي الدور الأول لظهور الاحتراق، بهدف تخفيض سرعة تزايد الضغط والضوضاء الناتجين عن عملية الاحتراق، وإصدار أكاسيد الآزوت .

وقد حصل في السنوات الأخيرة تخفيض حاد للتراكيز المسموحة للغازات السامة في الغاز العادم، وتم إنتاج وتصميم نظم وقود تسهل فيها عملية التحكم بعملية الحقن، ومن خلالها التحكم بعملية التذير والمزج والانبعاث الحراري. وفي الوقت ذاته تغير نوع حبرات الاحتراق كثيراً، وطرائق المزج الحاصلة بمساعدتها .

وفي محركات الديزل الصغيرة بدأ استخدام حبرات احتراق ذات حقن مباشر للوقود .

وفي ديزل الشاحنات والباصات انتشرت حبرات أخرى مختلفة وجديدة .
... على الشكل -٥٣ تظهر حبرات احتراق منفصلة نموذجية لمحركات الديزل المصممة في الأونة الأخيرة للسيارات الخفيفة وهي حبرات ذات - حقن مباشر .

- عمليات المزج في الحبرات المنفصلة:

تتألف حبرات الاحتراق المنفصلة من حبرتين أساسية ومساعدة متصلتين معاً

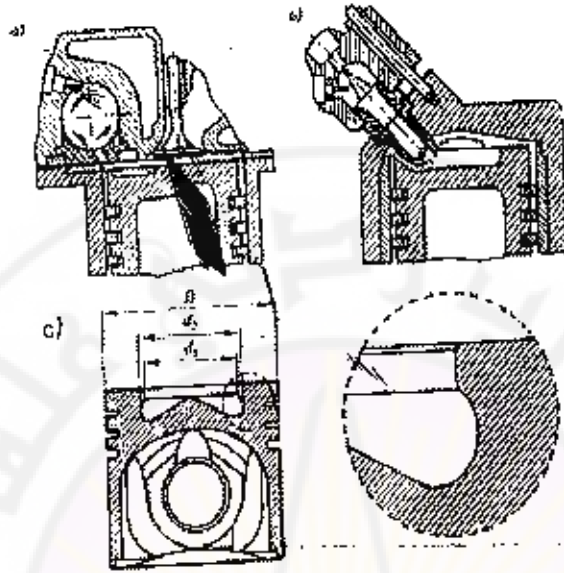
بقناة معينة .

وتستخدم حالياً الحجرات الدوامة والحجرات المسبقة، والاختلاف المبدئي بين الحجرات المختلفة هو طبيعة حركة الشحنة في الحجرة المساعدة. وعند وجود الحجرة الدوامة، يتجه محور القناة الواصل بين الحجرتين بشكل مائل إلى السطح الداخلي للحجرة الدوامة الكروية أو الأسطوانية شكل - ٥٣ a لذلك يتولد فيها حركة دوامة موجهة للشحنة. وسرعة حركة الشحنة عبر القناة المشتركة، والسرعة العظمى للشحنة في الحجرة الدوامة حوالي ١٠٠ - ٢٠٠ م/ثانية. تبعاً لنسبة حجم الحجرة المساعدة على حجم الحجرة الأساسية $\frac{V_h}{V_c}$ وتبعاً للقيمة النسبية لمقطع قناة الوصل $\frac{f}{f_n}$ حيث K_n - مساحة المكبس.

والوقود يحقن عبر حاقن وحيد الفتحات بالاتجاه المبين على الشكل - ٥٣ a. والوقود الذي تحركه الشحنة ينضغط على جدار حجرة الاحتراق الدوامة. وبذلك يوجد في هذه الحالة مكان للمزيج المتشكل بالقرب من الجدار. ويقصد بذلك المزج الذي يتوزع فيه جزء من الوقود مباشرة في طبقة ملاصقة للجدران. والجزء السفلي للحجرة الدوامة يصمم أحياناً كجزء منفصل بذاته ومعزول حرارياً، ويمكن أن تبلغ درجة حرارة القناة في الحجرة الدوامة ٦٠٠-٦٥٠ درجة مئوية .

والهواء الذي يجري خلالها يسخن إضافياً، ويتحسن المزج النشط، ومما يحسن ذلك أيضاً هو أن الوقود موجود في حالة تماس مع الجزء السفلي الحار من الحجرة الدوامة .

وبزيادة زمن الدوران ترتفع الحالة الحرارية للحجرة وللشحنة الموجودة في داخلها مما يسرع عملية المزج. وبما أن $V_{h,k} \leq (0,5-0,6)V_c$ فإنه في هذه الحجرة التي تحقن فيها وجبة الوقود يحصل إغناء للمزيج وخاصة عند



شكل - ٥٣



شكل - ٥٤

ولا يمكن حدوث احتراق كامل بطبيعة الحال، وانعدام الهواء الفائض يمنع
تشكل أكاسيد الآزوت. وبنتيجة الاشتعال يزداد الضغط داخل الحجرة. وتبدأ

الشحنة الحارة بالانتقال إلى الحجرة الرئيسية المحفورة في السطح العلوي للمكبس، التي يتمركز فيها الهواء بكمية كبيرة. وعند الاختيار الصحيح لشكل وتوضع كلتا الحجرتين والقناة الواصلة بينهما يحصل في الحجرة الأساسية مزج تام وسريع يتبعه احتراق تام.

والحجم النسبي للقناة ومقطعها في حالة الحجرة المسبقة (شكل-٥٣) أقل عادة من الحجرة الدوامية، وتولد النسبة $\frac{f_c}{F_n}$ ضياعاً إضافياً مرافقاً لجريان الشحنة بين الحجرتين .

واتجاه محاور الثقوب الواصلة بين الأسطوانة والحجرة المسبقة يكون محدداً فعند جريان الشحنة خلال شوط الانضغاط تتولد حركة غير منتظمة للشحنة في الحجرة المسبقة وتبلغ سرعة جريان الشحنة بين الحجرتين ٣٠٠ م/ثا أو أكثر .

ويحصل الحقن بمقابلة تيار الشحنة (الهواء) الوارد من الأسطوانة. ويقوم الاضطراب النشط للشحنة في الحجرة المسبقة بتحسين عملية مزج الوقود بالهواء .

ونتيجة الاحتراق السريع وغير التام للمزيج الغني يزداد الضغط بصورة حادة في الحجرة المسبقة، وتبدأ حركة الشحنة الحارة إلى الحجرة الأساسية، حيث تكتمل عملية الاحتراق بسرعة بفضل المزج القوي الحاصل، وحتى عند انخفاض معامل فائض الهواء $\alpha = 1.15 - 1.2$.

وكما في حالة الحجرة الدوامية فإن زيادة الحرارة في الحجرة المسبقة والشحنة فيها، التي تحصل عند زيادة زمن الدوران والحمولة تسبب تنشيط عملية المزج وتسريع عملية الاشتعال.

ويصرف النظر عن زيادة الضغط بشكل حاد في الحجرات المساعدة فإن

زيادة الضغط فوق المكبس تحصل بصورة متباطئة نتيجة الجريان المتدرج للشحنة الحارة إلى الحجرة الرئيسية. ويكتمل احتراق الوقود في هذه الحجرة، وقسم كبير منه يحترق بعد ن.م.ع مما لايسبب زيادة حادة للضغط بداخلها.

- مميزات وسلبات الحجرات المنفصلة للاحتراق :

- المميزات الإيجابية :

١ . السرعة الخفيفة لتزايد الضغط في الحجرة الرئيسية وهو ما يؤدي إلى ضجة منخفضة في أثناء عملية الاحتراق، وهذا هو المطلوب. وانخفاض فترة تأخير الاشتعال بالدرجات عند زيادة عدد دوران المحرك والذي يتبعه استمرار نسبة المزيج واستقرارها والذي يحضر خلال فترة التأخير، وهذا هام بسبب المجال الواسع لزمن الدوران للعملية ($n = 1000 - 4500$) .

٢ . المزج النشط تحت تأثير السرعات العالية للشحنة، وزيادة تنفسيط الاضطراب بسبب انخفاض إصدار الجزيئات المختلفة، وكذلك إصدار أكاسيد الأزوت لأن الأكسجين الفائض في الشحنة يظهر في المراحل المتأخرة في عملية التمدد .

٣ . استخدام نظم حقن بسيطة وقليلة الكلفة نسبياً .

- الخصائص السلبية:

-الاستهلاك النوعي المرتفع من الوقود وزيادة إصدار ثاني أكسيد الكربون .
-التجاوب غير الجيد مع الشحن القسري المرتفع للهواء، بسبب الحمولات الحرارية الموضعية المرتفعة للأجزاء المختلفة .

-انخفاض جودة الإقلاع في الديزل، وذلك بسبب وقوع كمية من الوقود (عند الحجرة الدوامة خاصة) على الجدران الباردة للحجرة المساعدة، والضياعات الحرارية الكبيرة في سائل التبريد وانخفاض الضغط في الحجرة الإضافية بسبب اختناق التيار عند جريانه من الحجرة الأساسية.

وبسبب هذه السليبيات لا تستخدم الحجرات المنفصلة في الظروف الصعبة (الشاحنات، وآليات القطر، والباصات الكبيرة، والجرارات الثقيلة) ويتضاءل استخدامها بالتدريج في الآليات الأخرى وخاصة السيارات السياحية .
-عملية المزج والتبعات الحرارية في محركات الديزل ذات الحجرات غير المنفصلة:

ننظر في العمليات الجارية في حجرة الاحتراق في محرك ديزل للسيارة الخفيفة شكل-٥٣ ففي أغلب محركات الديزل، ومنها ديزل السيارات الخفيفة، يستخدم التوزيع الغازي رباعي الصمامات، ويستخدم الشحن التوربيني. ويسمح الأول بوضع البخاخ على امتداد محور الأسطوانة، وإجراء عملية مزج غير متناظرة. وفي هذه الحالة تبدو جميع مخاريط الوقود عملياً في ظروف واحدة ولذلك تتوفر إمكانية تحقيق شروط اشتعال واحتراق مثالية لجميع وجبات الوقود.

وفي ديزل السيارات السياحية الخفيفة تستخدم مخررات ذات ثقوب من ٥-٦، ذات حركة مضطربة، وعندئذ يستخدم في بعض الأنواع نموذجان منفصلان من قنوات الدخول، أحدهما مستقيم أو مائل والآخر لولبي .
وعلى الشكل-٥٤ تظهر هذه القنوات، القناة المائلة على مدخل الأسطوانة، ولها محور ممتد على طول محور الأسطوانة في المخطط، وتشكل زاوية حادة مع مستوى سطح رأس الأسطوانة. تدخل في النهاية تيار المزيج إلى الأسطوانة على مسافة من محور الأسطوانة، ومحور التيار لا يوازي المحور العمودي للأسطوانة. ولذلك فالتيار يتفاعل مع جدار الأسطوانة ويتحول إلى حالة دوامة دورانية حول محور الأسطوانة. وإضافة للمركبة المائلة (مماسية لدائرة الأسطوانة) لسرعة دخول الهواء إلى الأسطوانة، يمتلك الهواء أيضاً مركبتين أخريتين : قطرية ومحورية .

القناة اللونية ٥ لها شكل حلزون غير كامل إذ يكتسب فيها وتيار الهواء على مدخل الأسطوانة حركة دورانية حول محور الصمام وعند الدخول إلى الأسطوانة ويتفاعل مع سطوحها أيضاً، ويكتسب حركة دورانية حول محور الأسطوانة .

والطريقتان المتبعتان لتوليد الحركة الدوامة للشحنة يرافقهما انخفاض امتلاء الأسطوانة لأن استخدامها يؤدي إلى تولد مخططات سرعة غير منتظمة حول محيط مقرات الصمامات، وجزء من المقطع يستخدم بكفاءة أكبر (مثال للقناة المائلة- وهذا الجزء يتوضع باتجاه تسرب الشحنة إلى الأسطوانة). والجزء الثاني أقل كفاءة .

وبالنتيجة تنخفض فعالية المقاطع في الصمامات بسبب انخفاض معامل التصريف .

وعند حركة المكبس إلى ن.م.ع فإن القسم الأكبر من الهواء الذي يقوم بحركة معقدة يمتلك مركبة دوامة تجري إلى حجرة الاحتراق .
وحجرة الاحتراق لها فتحة تنضيق قليلاً ونسبة قطر الفتحة إلى قطر رأس المكبس $\frac{d_1}{D}$ عادة (للمنموذج المدروس) تقع ما بين ٠,٥-٠,٦ .

و تنسج تحت حزام فتحة الحجرة ، ونسبة $\frac{d_1}{d_2}$ تساوي من ٠,٨٥-٠,٨٨ شكل ٥٣ وترتبط عملية الجريان ببعض المفاقيد للطاقة، وكلما ازدادت تزداد الطاقة الأولية للحركة الدورانية المتولدة في القنوات (إلى ن.م.س) وكلما انخفضت النسبة $\frac{d_1}{D}$.

ونتيجة جريان الشحنة في حجرة الاحتراق تزداد سرعتها. وبسبب مفاقيد الطاقة المذكورة فإن زيادة سرعة الشحنة تحصل بدرجة أقل مما يجب أن تكون عليه وفق قانون المحافظة على ثبات عزم كمية الحركة. ويتسارع

دوران الشحنة أكبر عند النسبة $\frac{d_1}{D}$ الأصغر.

ويعد التضيق في فتحة حجرة الاحتراق أحد الأسباب الرئيسية لظهور دوامة أخرى في أسفلها، أي دوران الشحنة حول المحور الأفقي .

وعند زيادة زمن الدوران تنشيط الدوامتان، وهذا يؤدي إلى تغير بسيط في فترة عملية المزج، والانبعاث الحراري (مقاسة بالدرجات)، وهذا هام لمحركات السيارات الخفيفة التي تعمل في مجال واسع لزمن الدوران .

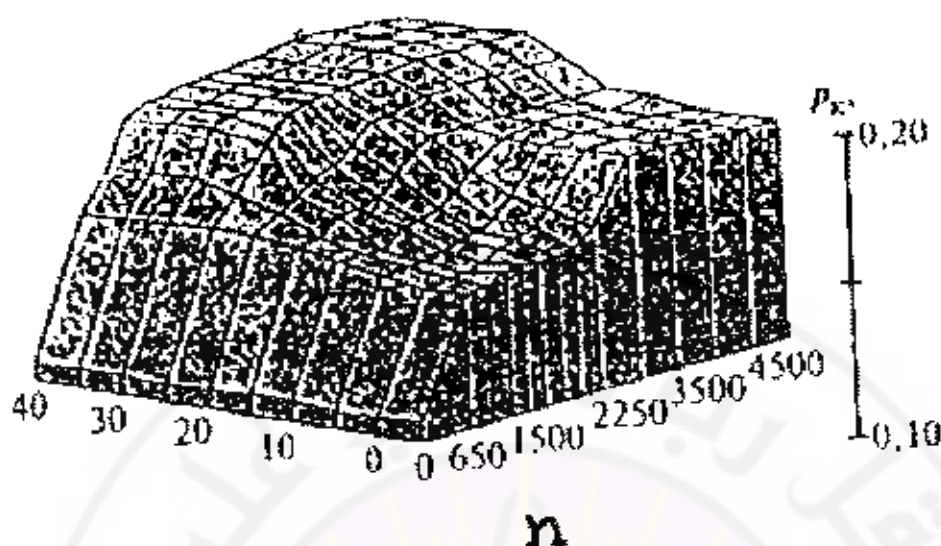
أما شدة الحركة الدوامة للشحنة حول محور الأسطوانة فمن المستحسن جعلها مثالية في مجال أنظمة عمل الديزل، وعندئذ يجب احتساب تغير كثافة الشحنة في الأسطوانة عندما يتغير نظام عمل الديزل المشحون توربينياً .

على الشكل - ٥٥ تظهر تغيرات ضغط الشحن تبعاً لكمية الوقود وزمن الدوران، ويظهر أن ضغط الشحن يتغير في مجالات واسعة، وبنسبة مشابهة تتغير كثافة الشحنة في الأسطوانة، لأنه عند التبريد المرحلي للهواء تتغير حرارته مع نظام العمل بنسبة أقل من ضغط الشحن.

ومن الطبيعي أن يؤثر تغير كثافة الشحنة في الأسطوانة على ديناميكية تطوير مخاريط الوقود في حجرة الاحتراق وعلى تفاعل المخاريط مع الشحنة المتحركة.

و تتناسب سرعة تحرك مخروط الوقود عكساً مع كثافة الشحنة بدرجة ٠,٣٥-٠,٤٥.

ويتغير الزمن الذي يتطور خلاله المخروط بفاعلية بتغير نظام العمل، هذا ولايستحسن وقوع كمية كبيرة من الوقود السائل على الجدار، لأن ذلك يؤدي إلى تشكيل مناطق مجاورة غنية بالوقود، ينتج عند احتراقها هباب الفحم بنسبة عالية.



شكل-٥٥

وخلال فترة تأخير الاشتعال تدور الدوامة الناتجة خلال السحب والانضغاط بزاوية تساوي الزاوية بين مخروطين متجاورين مطروحا منها زاوية مخروط الوقود $(\frac{360}{le} - \gamma_e)$ حيث i عدد المخاريط، γ_e -زاوية مخروط الوقود: مثال عندما يكون عدد المخاريط ٦ وزاوية المخروط ٢٥ درجة تكون زاوية دوران الدوامة ٣٥°.

وعندما تزداد سرعة الدوامة يمكن أن تنتقل أبخرة الوقود وقطراته من سحبات المخروط إلى سحبات المخاريط المجاورة باتجاه الدوران، مما يسبب خلل الشروط المثالية لعملية المزج.

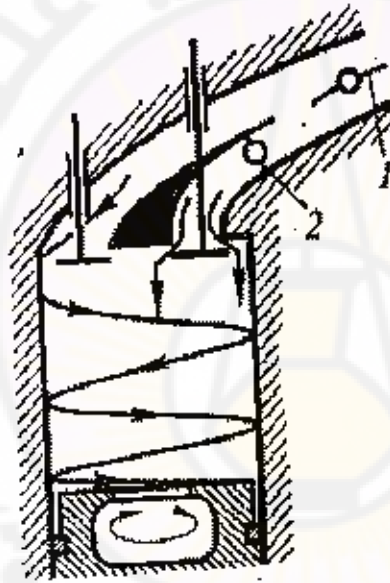
وعندما لا تتوافق أعداد فتحات التذير مع شدة حركة الدوامة يمكن أن تنخفض استطاعة الديزل إلى ٣٠% وتسمى هذه الظاهرة "الدوامة الفائضة".

و يتضح مما سبق أنه بتغير نظام عمل الديزل، ولتأمين شروط ملائمة لعملية المزج، من المستحسن استخدام طرق للتحكم بشدة الحركة الدوامة للشحنة .

على الشكل -٥٦ يظهر مخطط إعطاء الشحنة إلى الأسطوانة، يقوم بهذه المهمة أحد الصمامين حيث يعطي الهواء إلى الأسطوانة بشكل مائل والآخر

مباشرة من دون دوران.

وإضافةً لصفحة الخنق العامة ١ في قناة الدخول الموجودة قبل تفرع تيار الهواء، توجد صفحة ٢ في القناة تستخدم للتحكم بالغازات المدورة، ويدخل الهواء عبر الصفحة من دون دوران. وهي تغلق عند الدوران البطيء، وتؤمن بذلك الشدة اللازمة للدوامة في حجرة الاحتراق. وعند الحملولة المنخفضة يمكن استخدام دوران الشحنة لمنع وقوع مخاريط الوقود على الجدران.

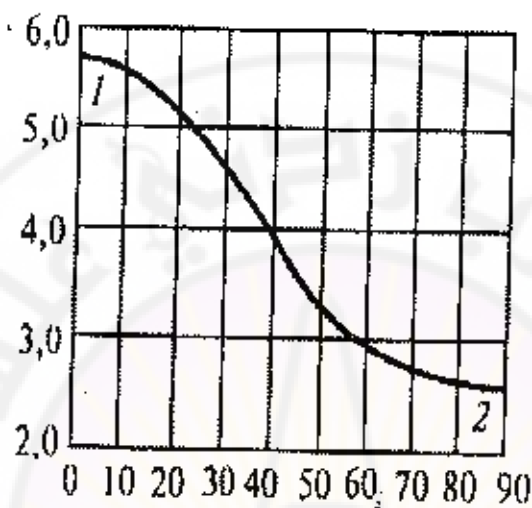


شكل-٥٦

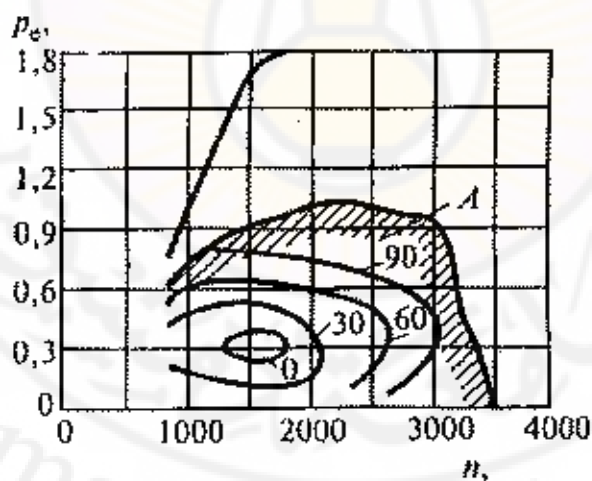
يظهر على الشكل -٥٧ أنه بتغيير وضعية الصفحة تتغير نسب الدوامة في ن.م.س، وهي نسبة عدد دوران الدوامة على عدد دوران عمود المرفق في الديزل.

ويمكن الحصول على تغير سلس لوضعية الصفحة في منطقة الحملولات الخفيفة والدوران المنخفض بالخاصية عديدة البارامترات شكل -

٥٨. وتدل المنحنيات على زاوية توضع الصفيحة من الوضعية المغلقة بالتمام (صفر) حتى الوضعية المفتوحة بالكامل (٩٠) على جميع الأنظمة الأخرى تكون الصفيحة مفتوحة بالكامل.



شكل - ٥٧



شكل - ٥٨

ومن مزايا الحقن المباشر للوقود في الديزل:

... الاقتصادية العالية نظراً لانعدام الضياع الناتج عن جريان الشحنة بسين
الحجرات المنفصلة للاحتراق وانخفاض الضياع الحراري إلى وسط التبريد
بسبب انخفاض مساحة سطوح الانتقال الحراري وسرعة الشحنة.

- الجودة العالية للإقلاع بسبب عدم وقوع مخروط الوقود على الجدران
الباردة لحجرة الاحتراق وانخفاض الضياع الحراري، وزيادة الضغط
والحرارة في أعلى المكبس حيث يحقن الوقود.

- التلائم الأفضل مع نظام شحن الهواء بسبب التوازن في التوزيع الحراري
على أجزاء الديزل.

- الانبعاث الحراري في الديزل:

يمكن تقسيم عملية الانبعاث الحراري إلى ثلاثة أطوار شكل - ٥٩. في
الطور الأول وفترته θ_{pr} ، يجري انبعاث الحرارة في آن معاً مترافقاً مع
تسخين شديد، وتبخر للوقود وتسخين أبخرته.

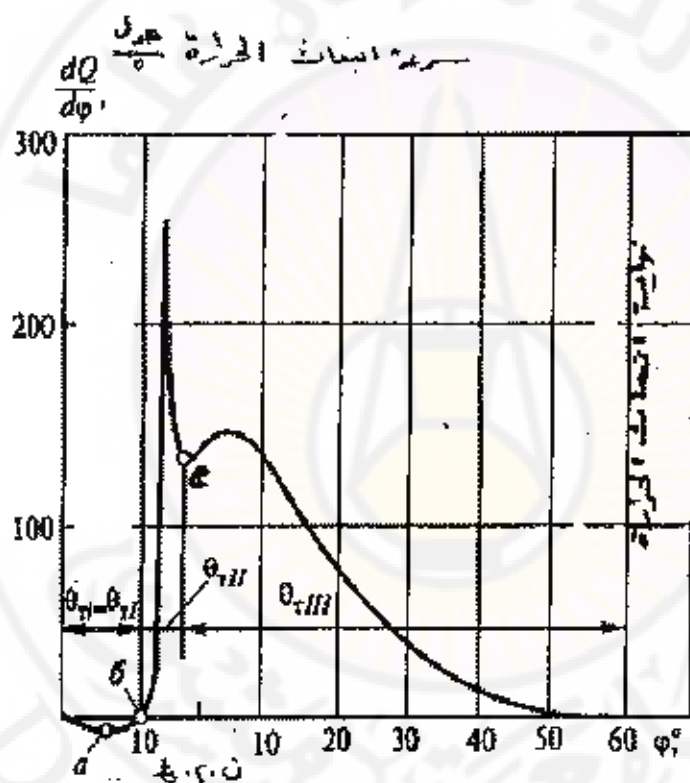
وحتى لحظة معينة (النقطة a) فإن هدر الحرارة على تسخين وتبخير الوقود
يفوق الانبعاث الحراري، وبدءاً من النقطة a يزداد الانبعاث الحراري.

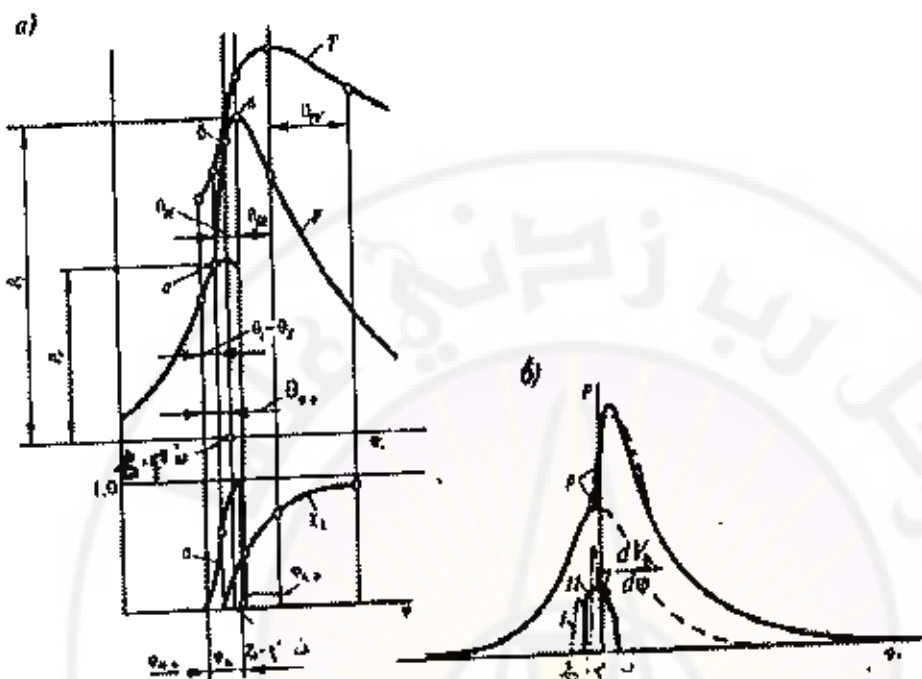
وتعتبر نهاية الطور الأول هي اللحظة التي يتساوى فيها الانبعاث الحراري مع
الضياعات على التسخين والتبخير (النقطة b).

ويجب التنويه إلى أنه خلال الطور الأول للانبعاث الحراري تكون سرعة
تبخر الوقود أعلى بكثير من سرعة احتراقها. لذلك تتجمع في حجرة الاحتراق
في الطور الأول كمية من الأبخرة ومن المزيج.

وفي الطور الثاني تساوي فترة الانبعاث الحراري θ_{pr} ، وفيها يحترق الجزء
الأكبر من المزيج المجمع وفق آلية معينة. ويحترق جزء من الوقود المعطى
للأسطوانة بعد انتهاء الطور الأول.

وبدءاً من النقطة يرتبط الانبعاث الحراري بالاحتراق التداخلي، عندما تتحدد سرعة الاحتراق، ليس بسرعة التفاعل الكيميائي العالية بل بسرعة التداخل. الانبعاث الحراري عند الاحتراق التداخلي هو أساس العمليات الجارية فسي الطور الثالث (θ_{III}) وللحصول على طبيعة الانبعاث الحراري تلزم معالجة خاصه للمخطط البياني مبنية على بعض الشروط. ويتم الاكتفاء بتحليل أطوار الاحتراق على المخطط البياني.





شكل - ٦٠

ولا تنطبق فترات أطوار الانبعاث الحراري والاحتراق على المخطط البياني. وهذا مرتبط بأنه على فترات الاحتراق (وفق المخطط البياني) تؤثر حركة المكبس (تغير حجم الشحنة).

- أطوار الاحتراق على المخطط البياني:

إن طبيعة الانبعاث الحراري، وضياغ الحرارة في وسط التبريد، والتسرب عبر حلقات المكبس بالتكامل مع سرعة تغير الحجم عند حركة المكبس، جميعها تحدد تغير الضغط في الأسطوانة الذي يؤثر على مؤشرات الديزل الاقتصادية والطاقيّة والحمولات الميكانيكية والحرارية، والإشعاع الصوتي.

تظهر على الشكل - ٦٠ a علاقات الضغط والحرارة الوسطية نسبة الحجم منسوبة لجسم التشغيل نسبة لزاوية دوران عمود المرفق.

وتحت العلاقات $T = f(\varphi)$, P تظهر الخصائص التكاملية للحقن ولالانبعاث الحراري الفعال .

وعلى الشكل-٦٠ b يظهر تأثير طبيعة الحقن المرحلي بالعلاقة $P = f(\varphi)$.

وعلى الشكل-٦١ تظهر السرعة العظمى لتزايد الضغط $(\frac{dp}{d\varphi})_{\max}$ (مماسية

على منحنى الضغط) وترتبط بهذه السرعة العظمى طبيعة تأثير القوى المؤثرة على أجزاء المحرك والإشعاع السمعي الناجم عن عملية الاحتراق

$$\cdot (\frac{dp}{d\varphi})_{\max} = tg\gamma$$

- الطور الأول للاحتراق :

ويسمى دور تأخير الإشعال، وهي الفترة الزمنية τ أو زوايا دوران عمود المرفق θ من لحظة بداية الحقن $\varphi_{H,b}$ حتى يصبح الضغط في الأسطوانة أعلى من الضغط في عملية انضغاط الشحنة الذي يمكن أن يحصل من دون إجراء عملية الحقن (النقطة a على مخطط الضغط شكل -٦٠ a) .

ويضم دور تأخير الإشعال عند حقن الوقود السائل الفترة الزمنية اللازمة لتفتيت تيار الوقود إلى قطرات، والحركة المحدودة للقطرات في حجم حجرة الاحتراق، وتسخين الوقود، والتبخير الجزئي له، ومزج الأبخرة مع الهواء. وكذلك أيضاً زمن التسارع الذاتي للتفاعلات الكيميائية .

ويؤثر عدم تجانس المزيج إيجاباً في تطور عملية الاشتعال لأنه يحدد: وجود شروط أكثر ملاءمة في مناطق معينة للاشتعال، وبالضبط فإن وجود المركبات المختلفة للمزيج وحرارته هي التي تحدد إمكانية الاشتعال وسطياً في المزيج الفقير جداً ($\infty \geq 6$) .

وعند الاستمرار ونتيجة زيادة تسرب الشحنة عبر حلقات الإحكام ودرجة حرارة الشحنة في نهاية الانضغاط جميعها تنخفض وتسبب زيادة θ_i .

٣. نموذج حجرة الاحتراق.

يؤثر على θ_i بسبب التنوع في توزيع الوقود في حجم الشحنة وفي المنطقة المجاورة للجدران وكذلك في حرارة جدران حجرة الاحتراق.

٤. شدة حركة الشحنة الموجهة. يمكن لشدة الحركة في الشحنة أن تختصر فترة تأخير الاشتعال.

٥. طبيعة الحقن والتدوير.

شدة الحقن وتسارع تطور مخاريط الوقود إلى حد معين تسبب اختصار θ_i قليلاً.

٦. تغير الحملولة.

تبعاً لتصميم نظام الوقود تتغير θ_i بشكل مختلف.

إذا لم تتغير بداية الحقن تبعاً للحملولة فإن θ_i تطول قليلاً عند انخفاض الحملولة بسبب انخفاض ضغط وحرارة الشحنة في لحظة بداية الحقن.

وإذا تأخرت بداية الحقن عند انخفاض الحملولة فإنه قد يحصل اختصار θ_i نتيجة زيادة ضغط وحرارة الشحنة في الأسطوانة في لحظة بداية حقن الوقود.

٧. زيادة عدد دوران المحرك:

زيادة n يسبب زيادة سرعة انضغاط الشحنة وتحسين عملية التدوير، وزيادة ضغط وحرارة الشحنة في لحظة بداية الحقن.

وفي الحجات المنفصلة للاحتراق تزداد حرارة القناة بين الحجرتين مما يسبب اختصار τ بزيادة n وخاصة في هذه الحجات.

وتزداد فترة الدور θ_i بالدرجات بنسبة أقل في حالة الحجات المنفصلة.

- الطور الثاني للاحتراق:

وهو طور الاحتراق السريع الذي يرمز عليه بـ θ_{II} شكل ٦٠- a ويبدأ من اللحظة المحددة للإشعال، ويستمر حتى يلوغ الضغط الأعظمي. وهذا الطور يمكن تقسيمه إلى قسمين: من بداية الاحتراق حتى النقطة b والجزء b-c شكل ٦٠- a.

في الجزء الأول يحترق جزء من المزيج المحضر خلال θ_I ويحصل انبعاث حراري سريع وزيادة في الضغط.

وخلال هذا الطور تبلغ سرعة ازدياد الضغط الحد الأعظمي فسي الأسطوانة $\left(\frac{dp}{d\varphi}\right)_{max}$.

ويؤثر على تطور الطور الثاني ومدته العوامل التالية:

١. كمية وحالة الوقود المعطى:

على المنحني ١ للحقن شكل-٦٠ b (المنحني b) يعطى وقود أقل خلال θ_I وبالنتيجة انخفاض $\left(\frac{dp}{d\varphi}\right)_{max}$. وكلما كان التذير أدق في الوجبات الأولى للوقود ازدادت شدة الانبعاث الحراري وازداد الضغط في الطور الثاني.

٢. سرعة حركة الشحنة:

بعد بلوغ تزايد سرعة الشحنة قيمة معينة يشتد الانبعاث الحراري في دور الاحتراق السريع. وعند الدوامة الشديدة تنخفض كمية الحرارة المنبعثة في الجزء الثاني من الطور الثاني للاحتراق ولا تنخفض شدة انبعاث الحرارة في الجزء الأول من الطور الثاني.

٣. نموذج حجرة الاحتراق:

تتأثر طبيعة تطور الطور الثاني للاحتراق بنوع حجرة الاحتراق بسبب تأثيره على الفترة θ_I ، وعلى كمية المزيج المحضر خلال θ_I ، وبعد بداية

الاشتعال.

٤. الحمولة:

عند انخفاض الحمولة تنخفض فترة الطور الثاني، بسبب انخفاض كمية الوجبة المحقونة من الوقود وطول فترة إعطائها.

٥. زمن الدوران:

عند زيادة زمن الدوران تنخفض τ_2 إذ أن فترة θ_2 المقاسة بالدرجات تزداد بنسبة أقل بكثير من نسبة تزايد الدوران. ويرتبط هذا بتحسين عملية تذير الوقود، وانخفاض فترة الحقن بالزمن، وزيادة شدة حركة الشحنة، وزيادة عوامل حالة الشحنة T,P التي تسرع التفاعلات الكيميائية.

الطور الثالث للاحتراق :

وهو طور الاحتراق التداخلي، ويظهر بوضوح عند الحمولات الكبيرة في محركات الديزل المشحونة، ويبدأ من لحظة بلوغ الضغط قيمته العظمى وينتهي في لحظة بلوغ درجة الحرارة قيمتها العظمى، والتي تحصل دائماً بعد حصول الضغط الأعظمى.

وفي الطور الثالث يحصل الاحتراق التداخلي عند حدوث المزج الشديد.

وتؤثر على تطور الطور الثالث العوامل التالية:

١. نوعية التذير وكمية الوقود التي تحقن بعد بداية الاحتراق:

إذا كان الحقن ينتهي قبل بداية الطور الثالث فإن كمية الحرارة المنبعثة خلال هذا الطور، وفترتها وهذا يحصل عند الحمولات الخفيفة للديزل.

٢. سرعة الشحنة:

زيادة سرعة الشحنة (الهواء) إلى القيمة المثالية ترفع كمية الحرارة المنبعثة في الطور الثالث. وعند الدوامة الفائضة للشحنة ينخفض الانبعاث الحراري، وهذا مرتبط بالخلل في توزيع الوقود في حجم الشحنة، ونقل نواتج الاحتراق من

منطقة مخروط معين إلى منطقة أخرى. وكلا العاملين يؤثران في الاحتراق التام للوقود، ويزداد الدخان في نواتج الاحتراق.

٣. شحن المحرك:

باستعمال الشحن القسري للهواء يزداد الانبعاث الحراري. ويمكن أن ينبعث من الحرارة في الطور الثالث كمية أكبر مما ينبعث منها في الطور الرئيسي الثاني، بسبب زيادة سرعة انبعاثها. وبتزايد درجة الشحن تزداد فترة الطور الثالث ويزداد الانبعاث الحراري.

٤. زيادة زمن الدوران:

بسبب زيادة n فإن إعطاء الوقود وتذريره يتحسنان وسرعة الشحن تزداد. وفترة الطور الثالث بالزمن تنخفض ويمكن أن تزداد بالدرجات.

- الطور الرابع للاحتراق:

(إنتمام الاحتراق) ويمتد من لحظة حصول الحرارة العظمى للدورة الحرارية حتى نهاية الانبعاث الحراري. وفي هذا الطور يحصل أيضاً الاحتراق التداخلي ولكن بسرعة أقل، لأن الجزء الأساسي من الوقود يكون قد تأكسد واستهلك.

وفي الظروف الجيدة يحصل احتراق تام للهباب المتشكل في الأطوار السابقة. ويؤثر في الطور الرابع العوامل التالية:

١. النبضات الاضطرابية في الشحنة:

حيث يزداد احتمال التماس المتوافقت بين جزيئات الوقود والهواء، وتتأمن السرعة النسبية بين جزيئات الهباب والهواء الضرورية لانتمام الاحتراق.

٢. جودة التذير للوقود المحقون في نهاية عملية الحقن:

كلما ازداد قطر القطرات ازدادت فترة الاحتراق المتمم. كما أن التخفيض المستمر لضغط الحقن، والحقن المتأخر يجعلان فترة الاحتراق أطول، فضلاً

من ظهور الهباب خلالها.

وعندئذ يضعف الانبعاث الحراري وتضعف وثوقية عمل الديزل بسبب انسداد فتحات الحقن.

٣. وقوع الوقود على الجدران الباردة ضمن الأسطوانة. ويمكن أن تطول بسببها عملية الاحتراق المتمم.

وتظهر على الجدول التالي قيم بعض العوامل المميزة لعملية الاحتراق:

المحركات	P_c ميغا باسكال	T_{ek}	λ	ζ_z	$\left(\frac{dp}{d\varphi}\right)_{max}$ ميغا باسكال/درجة
م. ديزل	١٠-٦	-١٨٠٠ ٢٣٠٠	٢,٢-١,٤	٠,٨٢-٠,٧	١,٢ حتى
م. الاحتراق بالشرارة	٦,٥-٣,٥	-٢٤٠٠ ٢٨٠٠	٤,٢-٣,٦	٠,٩-٠,٨	٠,٢٥-٠,١٥

٤- عملية التمدد .

تنتهي عملية الاحتراق داخل الأسطوانة في بداية شوط التمدد عندما ينزاح المكبس إلى ن.م.س وتبعاً لذلك وبصرف النظر عن زيادة الحجم عند حركة المكبس، وفي كل المحركات المكبسية تعتبر النقطة Z بداية شوط التمدد وليس النقطة الميتة العليا.

والتمدد الحاصل خلال الشوط الفعال للمكبس يعتبر في المحرك غير المشحون العملية الوحيدة التي تعطي عملاً مفيداً يحقق عزمًا دورانيًا مفيداً على عمود المحرك. وعلى العموم تتعلق استطاعة المحرك بقيمة العمل المنجز خلال شوط التمدد.

و يحصل التمدد عند قيم مختلفة لسطوح الانتقال الحراري وللضغط والحرارة في أعلى المكبس أيضاً. و يترافق مع ضياعات صغيرة من كمية جسم التشغيل عبر حلقات الإحكام.

وفي بداية الشوط تتجه الحرارة الناتجة عن الاحتراق أساساً لزيادة الطاقة الداخلية لجسم التشغيل طالما أن حركة المكبس ليست مرتفعة والعمل المنجز من قبل الغازات ليس كبيراً. والجزء الآخر من الحرارة ينقل عبر جدران حجرة الاحتراق إلى نظام التبريد. وبصرف النظر عن زيادة الحجم فوق المكبس، فإنه باستمرار دوران المحرك يزداد الضغط في الأسطوانة في بداية سير المكبس من ن.م.ع بسبب احتراق الوقود وانبعاث كمية كبيرة من الحرارة (أكبر من مجموع الضياعات على الانتقال الحراري والعمل المنجز). ونظراً لوجود انتقال حراري طويل نسبياً وبطيء في محركات الديزل، تستمر زيادة الضغط بعد اجتياز المكبس ن.م.ع لمدة أطول مما في المحركات البنزينية.

والفروق الكبيرة بين حرارة جسم التشغيل وحرارة جدران الأسطوانة تسبب في هذا الشوط ضياعاً حرارياً كبيراً في نظام التبريد. ونتيجة انبعاث الحرارة المسبب لزيادة ضغط الشحنة تكون قيم أس البولييتروب n_2 سالبة في بداية شوط التمدد.

وباستمرار انزياح المكبس باتجاه ن.م.ع تنخفض الحرارة المنبعثة عن الاحتراق، وتزداد الضياعات المختلفة.

والنتيجة الحاصلة من ذلك هي التباطؤ في زيادة الضغط وفي بلوغ قيمته العظمى، بعدها يبدأ الانخفاض الحاد في الضغط. وعندما يبلغ الضغط القيمة العظمى p_{max} تكون القيمة الآتية لأس البولييتروب n_2 مساوية للصفر، وباستمرار تمدد جسم التشغيل تصبح قيمة الأس سالبة.

وبسبب استمرار الانبعاث الحراري تبلغ الحرارة قيمتها العظمى في الأسطوانة متأخرة عن p_{max} .

ويتضح أنه ببلوغ T_{max} ، تكون الحرارة المنبعثة عن اتمام الاحتراق مساوية للعمل المنجز من قبل الغازات باستثناء الضياعات في الجدران المحيطة، أي يصبح التمدد عند بلوغ T_{max} متوازناً ($n_2=1$).

وباستمرار حركة المكبس إلى ن.م.س تبدأ حرارة الغازات بالانخفاض رغم استمرار عملية الاحتراق المتمم، ويفسر هذا أن العمل المنجز يبدأ بتجاوز الحرارة المنبعثة.

والحرارة المنطلقة ترافقها زيادة الانتروبي. والسطح (المتزايد باستمرار) الملامس لجسم التشغيل يولد زيادة الانتقال الحراري من نواتج الاحتراق إلى الجدران المحيطة.

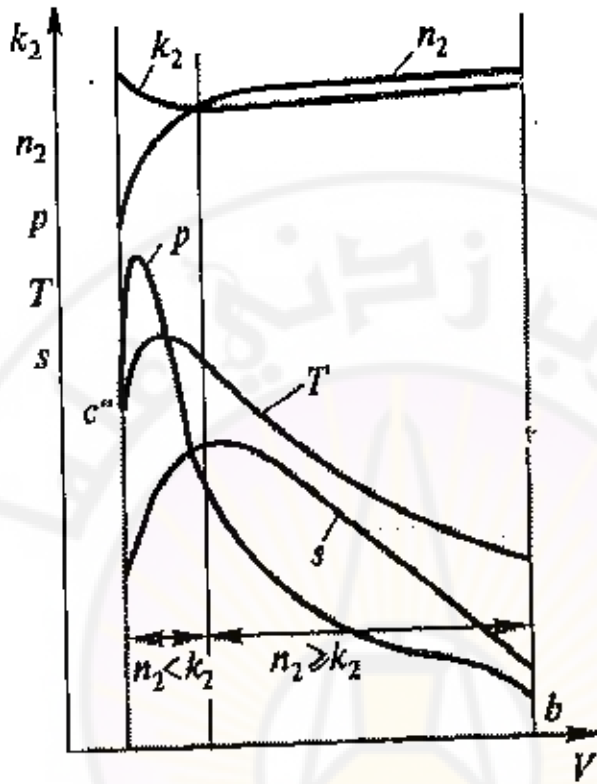
وفي لحظة معينة تصبح الحرارة المنبعثة مساوية لفقدان الحراري في الجدران. ويصبح الأس n_2 مساوياً لأس الأدبيات K_2 ($dq=0, ds=0$). بعدها ينتج العمل من حساب الطاقة الداخلية لجسم التشغيل. وباستمرار التمدد تزداد قيم أس البوليترروب n_2 عن قيم K_2 وتبدأ انتروبي الغازات الناتجة عن الاحتراق بالانخفاض شكل - ٦٢.

يساوي أس الأدبيات K_2 للغازات الناتجة ١,٢٥-١,٣. وهو يزداد باستمرار عملية إفقار المزيج الغازي المحترق وبانخفاض درجة الحرارة.

وتستخدم الحرارة المفقودة في بداية الشوط بنتيجة تفكك المواد المنبعثة من جديد بعد إعادة الاندماج الجزيئي لاحقاً بفعالية محدودة جداً (بعامل تمدد أقل) وأقل مما لو كانت عملية التفكك غير موجودة.

وعندما تنتهي عملية الاحتراق المتمم يزداد العمل المنجز من قبل نواتج الاحتراق. وفي عملية التمدد التالية يرافقها انخفاض حاد في الضغط والحرارة

ويستمر أس البوليتروب بالازدياد قليلاً.



شكل - ٦٢

وفي نهاية التمدد (قبل ن.م.س) تبدأ عملية التبادل الغازي عندما يفتح صمام الطرد (فتحات الطرد) وتجعل القيم المتغيرة لأس البوليتروب n_2 عمليات الحساب الحراري صعبة، ولذلك تؤخذ قيمة وسطية له.

ونتيجة معالجة نتائج التجارب العملية نحصل على معطيات تسمح باختصار قيمة وسطية لـ n_2 من أجل الحسابات المطلوبة، وذلك تبعاً للتصاميم المختلفة ونظم العمل المختلفة للمحركات.

إن عوامل جسم التشغيل في نهاية التمدد يمكن حسابها بالعلاقات البوليتروبية. وفي هذه الحالة تعتبر النقطة Z بداية الشوط و ن.م.س نهايته

وبذلك تكون:

$$P_b = P_z \left(\frac{1}{\delta^{n_2}} \right) \dots \dots \dots 3.15$$

$$T_b = T_z \left(\frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) \dots \dots \dots 3.16$$

حيث δ - معامل التمدد $\frac{V_b}{V_z}$ وفي المحركات البنزينية ($\delta = \varepsilon$).

$$P_b = P_z \frac{1}{\varepsilon^{n_2}} \dots \dots \dots 3.17$$

$$T_b = T_z \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \dots \dots \dots 3.18$$

- اختيار قيم أس البوليترروب n_2 :

الأس n_2 يتعلق بنوع المحرك وخصوصية تصميمه ونظام عمله. وتتأثر قيم أس البوليترروب بشدة الانتقال الحراري بين جسم التشغيل وجدران الأسطوانة. وتقود جميع الإجراءات التي تحد من عملية نقل الحرارة إلى جدران الأسطوانة إلى تخفيض n_2 وبما أن الضياعات الحرارية عبر جدران الأسطوانة تتعلق بالسطح المنسوب إلى وحدة الحجم $\frac{F}{V_a}$ فإن زيادة قطر الأسطوانة عند بقاء الحجم V_a ثابتاً يجب أن يرافقها تخفيض السطوح النسبية للانتقال الحراري، وبعدها الأس n_2 للمحركات ذات المسار القصير (للمكبس) يجب أن يكون أقل منه لدى المحركات ذات المسار الطويل وذات الحجم نفسه. و تنخفض قيمة الأس n_2 طردياً مع زيادة أبعاد الأسطوانة لأنه في هذه الحالة يجب أن تنخفض النسبة $\frac{F}{V_a}$ وهكذا يكون في محركات الشرارة الكهربائية.

وعند استخدام الشحن القسري تنخفض الضياعات النسبية للحرارة في جدران الأسطوانة من كتلة جسم التشغيل الكبيرة بسبب انخفاض أس البوليترروب n_2 .

وتكون n_2 في محركات الديزل أقل نسبياً من المحركات البنزينية بسبب ازدياد فترة جريان عملية الاحتراق.

ويؤثر زمن الانتقال الحراري على n_2 الذي يحدده زمن الدوران. فزيادة زمن الدوران ينخفض زمن الانتقال الحراري، وبفضل ذلك تنخفض قيمة n_2 . وفي نفس الاتجاه تؤثر عملية الإطالة في زمن الاحتراق مقاسه بالدرجات. و يحصل انخفاض الحمولة في الديزل بتخفيض كمية الوقود. وتبعاً لذلك عند انعدام تنظيم لحظة بداية الحقن تصبح كمية الحرارة المنبعثة على منحنى التمدد أقل وبفضل ذلك تزداد قيمة n_2 .

وفي محركات الشرارة، يلزم تخفيض الحمولة استهلاك كميات أقل من المزيج في ظروف غير مناسبة. وبالنسبة تمدد عملية الاحتراق وازدياد الضياعات النسبية للحرارة.

وتبعاً لذلك فإن n_2 عند إغلاق صمام التحكم (صفيحة الخنق) من ١٠٠ إلى ٥٠% لا تتغير عملياً. وعند الحمولات الأقل n_2 تزداد قليلاً.

وعند تسخين المحرك تزداد n_2 بسبب الضياع الحراري الكبير في جدران الأسطوانات.

إن استخدام مواد معينة ذات معامل انتقال حراري منخفض لصناعة المكابس والأسطوانات يجب أن يقود إلى تحسين عملية التبريد.

المحرك	n_2	Pb ميغا باسكال	Tb K
محرك بالشرارة	١,٢٣ - ١,٣٠	٠,٣٥ - ٠,٥٠	١٢٠٠ - ١٧٠٠
محرك ديزل	١,١٨ - ١,٢٨	٠,٢ - ٠,٤٠	١٠٠٠ - ١٢٠٠

الفصل الرابع

العوامل البيانية والفعلية

١. العوامل البيانية:

- الروابط الأساسية بين العوامل البيانية:

المردود البياني والضغط البياني الوسطي بينان الدورة الحرارية الفعلية المنجزة، حيث يبين المردود البياني مقدار الاستفادة من الحرارة الكامنة في الوقود خلال الدورة الحرارية، وتحولها إلى عمل بياني، وفي نفس الوقت يبين الضغط البياني الوسطي مقدار الاستفادة من الحجم الفعال للأسطوانة، وهو الذي يحدد أبعاد وكتلة المحرك.

ويمكن اعتبار الضغط الوسطي عاملاً اقتصادياً لأن الضغط كلما ازداد انخفضت كمية المواد المستهلكة لإنتاج واحدة العمل من الدورة الحرارية. ومن المعلوم أن المواد لها كلفة معينة، وللحصول عليها ولمعالجتها تستهلك طاقة معينة، إضافة إلى ذلك فعند زيادة المردود البياني والضغط البياني الوسطي تنخفض كمية الإصدارات الملوثة النوعية وثنائي أكسيد الكربون.

ومن هنا تظهر أهمية دراسة العوامل المؤثرة في P_i, η_i .

معامل فائض الهواء يحسب بالعلاقة التالية:

$$\alpha = \frac{G_{b,c}}{G_{r,c} \cdot l_o}$$

حيث G_b - كمية الهواء الجاف الوارد إلى المحرك خلال الدورة الحرارية.

$G_{r,c}$ - كمية الوقود المعطاة خلال الدورة الواحدة.

معامل جودة السحب (الجودة الحجمية) للمحركات ذات المزج الداخلي يحسب

كمايلي:

$$\eta_o = \frac{G_{bb}}{V_h \cdot \rho_{o(k)}}$$

حيث G_{bb} - كمية الهواء الرطب الوارد إلى المحرك خلال الدورة.

ρ - كثافة الهواء (عند انعدام الشحن ρ_v وبوجود الشحن ρ_k).

الوجبة الدورية للوقود $G_{f,c}$ مما سبق تحسب كمايلي:

$$G_{f,c} = \frac{P_i \cdot V_h}{\eta_i \cdot H_u}$$

ويمكن حسابها أيضاً بالعلاقة:

$$\frac{G_{b,c}}{\infty \cdot l_o}$$

وبذلك:

$$\frac{G_{b,c}}{\infty \cdot l_o} = \frac{P_i \cdot V_h}{\eta_i \cdot H_u}$$

ومن الترموديناميكا:

$$G_{bb} = G_{b,c} (1+d)$$

حيث d - نسبة احتواء الهواء الرطب من الرطوبة، وتؤخذ عادة $d=0$ ومنه:

$$G_{b,c} = \frac{G_{b,b}}{1+d}$$

وباستخدام هذه العلاقة نحصل على:

$$\frac{G_{b,b}}{\infty \cdot l_o (1+d)} = \frac{P_i \cdot V_h}{\eta_i \cdot H_u}$$

ومن معادلة معمل جودة السحب $G_{b,b} = \eta_v \cdot V_h \cdot \rho_{o(k)}$

وباستخدام هذه المعادلة نحصل على:

$$P_i = \frac{H_u}{\ell_o(1+d)} \cdot \frac{\eta_i}{\eta_v} \cdot \rho_{o(k)} \quad (4.1)$$

وللمحركات ذات المزج الخارجي إذا حسبنا η_v من خلال كمية المزيج الجديد (للمحركات الغازية مثلاً).

$$\eta_v = \frac{G_{b,b} + G_{T,e}}{V_h \cdot \rho_{o(k)}}$$

وبعد التعويض نحصل أخيراً على مايلي:

$$P_i = \frac{H_u}{\ell_o(1+d)+1} \cdot \eta_i \cdot \eta_v \cdot \rho_{o(k)} \quad (4.2)$$

حيث P_i - ميغا باسكال إذا كانت H_u - ميغا جول / و $\rho - kg/M^3$
- اقتصادية الدورة الفعلية يمكن عرضها كمايلي:

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot V_h}{G_{T,e} \cdot H_u}$$

أو لكمية محددة من الوقود

$$g_i = \frac{G_T}{N_i} 10^3$$

حيث: G_T - الاستهلاك الساعي من الوقود كغ/سا.
 N_i - كيلوات.

g_i - غرام /ك. وات. سا.

وبذلك يكون $g_i H_u \eta_i = 3600$

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i} \quad (4.3) \quad \text{أو}$$

والعلاقة التي تعطي الاستطاعة البيانية

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30 \tau} \quad (4.4)$$

والعزم البياني:

$$M_i = \frac{N_i}{w}$$

$$w - \text{زمن الدوران وتساوي } \frac{\pi n}{30}$$

وبعد التعويض وحساب وحدات القياس نحصل على:

$$M_i = \frac{1000}{\pi \cdot \tau} P_i \cdot V_h \cdot i$$

حيث M - نيوتن $\times$ متر.

P_i - ميغا باسكال.

V_h - د. م³.

تأثير العوامل المختلفة على بارامترات الديزل:

- درجة الانضغاط وحركة المكبس:

يتم اختيار نسبة الانضغاط انطلاقاً من شروط الإقلاع البارد، لذلك فإن التأثير الكبير على اختيار نسبة الانضغاط يكون من قبل العوامل التي تتعلق بها الضغط والحرارة في الأسطوانة في نهاية عملية الانضغاط. وفي الدرجة الأولى شروط عملية الانتقال الحراري التي تؤثر عليها خصوصاً أبعاد المحرك ونوع حجرة الاحتراق.

وفي الحجات ذات الحقن المباشر التي تستخدم في محركات السديزل الحديثة في السيارات والجرارات وتبعاً لقطر الأسطوانة تقع نسبة الانضغاط في المجال ما بين ١٦-٢١.

ومعلوم أنه في مجال النسب العالية للانضغاط، لا يتغير المردود الحراري كثيراً بزيادة هذه النسبة. وفي الواقع فإن زيادة نسبة الانضغاط يمكن أن تسبب تداعيات سلبية إذا لم تتخذ الإجراءات المطلوبة لتحسين عمليات المزج والانبعث الحراري والسبب في ذلك هو أنه عند زيادة ϵ تزداد كثافة الشحنة

في الأسطوانة مما يؤثر على طبيعة تذبذب الوقود وخاصة على ديناميكية تطور مخروط الوقود في حجرة الاحتراق.

ولا يجب النظر إلى زيادة نسبة الانضغاط في الديزل كعامل مستقل فسي تأثيره على العوامل البيانية الرئيسية إذا كانت نسبة الانضغاط لا تتغير فقط لوحدها مع نظام عمل الديزل.

وفي حالة توفر إمكانية تغيير نسبة الانضغاط فإن أعلى نسبة تؤخذ على نظم الإقلاع، وأدنى نسبة - على نظم الحمولة الأكبر للديزل المشحون. وهذا يسمح برفع درجة تقوية المحرك عندما يكون الضغط الأعظمي للدورة الحرارية محدداً.

- تصميم وعيار نظام التوزيع الغازي:

إن تأثير المقاومة في أثناء السحب والطرء، وظواهر العطالة والاهتزازات في نظام التوزيع الغازي وكذلك تحسين الأطوار على العوامل البيانية تظهر أساساً من خلال معامل جودة السحب. و تضاف الضياعات في عملية التبادل الغازي إلى الضياعات الميكانيكية أو إلى الضياعات الداخلية.

وعند زيادة معامل السحب مع المحافظة على استقرار معامل فائض الهواء يمكن أن يتغير الضغط البياني الوسطي. ويمكن اتخاذ إجراءات أخرى - مثال: استخدام زيادة فائض الهواء لتخفيض إصدارات الجزيئات الصلبة وتخفيض الإجهادات الحرارية للأجزاء.

يمكن أن يستخدم تصميم نظام التبادل الغازي بهدف تحسين عمليات الخلط والانبعاث الحراري وتنظيم إعادة تدوير الغازات العادمة لتخفيض إصدارات أكاسيد الآزوت.

- طبيعة الانبعاث الحراري:

في حالات الحقن المستخدم في محركات الديزل حالياً، يأخذ طابع الانبعاث

الحراري ثلاثة أطوار ظاهرة بوضوح، علماً أنه في الطور الثالث يحترق حتى ٩٠% من الوقود المحقون.

وإن التأثير على الطور الثاني بطريقة استخدام الحقن الأولي لوجبة صغيرة من الوقود:

(١-٣ مم^٣/دورة) أو إعطاء المرحلة الأولى للحقن الأساسي طبيعة متدرجة فإن ذلك قد يسبب انخفاض سرعة الانبعاث الحراري في الطور الثاني، وتخفيض الإشعاع الصوتي وتركيز أكاسيد الآزوت في الغازات العادمة.

والتأثير الكبير على η وعلى الضغط الوسطي للدورة يأتي من جانب طول فترة انبعاث الحرارة، وخصوصاً إذا تجاوزت ٥٠ درجة بدوران عمود المرفق. وهذا يرتبط بزيادة ضياع الحرارة الناتج عن عدم التوقيت المناسب لانبعاثها. (الانتهاء المتأخر نسبة لـ ن.م.ع).

وهناك محاولات لتخفيض سرعة المكبس بالقرب من ن.م.ع باستخدام وصلة خاصة للمكبس، ويتم تخفيض الضياعات المرتبطة بالانبعاث الحراري المتأخر بطريقة إنهائه قرب ن.م.ع، ومؤشر إيجابي آخر يمكن الحصول عليه باستخدام تصميم معين يمكن بواسطته تخفيض الضياع الحراري في ماء التبريد.

وفي الحالة المعاكسة فإن زيادة نقل الحرارة من الشحنة إلى الأجزاء المحيطة بزيادة الفترة الزمنية التي يكون فيها للشحنة داخل الأسطوانة ضغط وحرارة، يسبب ذلك زيادة ضياعات الحرارة في وسيط التبريد، وهذا يسبب فقدان المزايا المتعلقة بانخفاض الضياعات الناجم عن عدم تزامن الانبعاث الحراري، وليس مستبعداً الفعل العكسي - انخفاض η - لسو أن تأثير زيادة الضياع الحراري في ماء التبريد (نتيجة إبطاء حركة المكبس بالقرب من ن.م.ع) سيتغلب على تخفيض الضياع الناتج عن عدم حصول الانبعاث

الحراري في الوقت المطلوب.

إن العوامل البيانية العالية المرافقة للإشعاع الصوتي المنخفض، وللإصدارات المنخفضة لأكاسيد الأزوت يمكن بلوغها بفضل تصميم نظم وقود متطورة، وخاصة النظم الإلكترونية.

- زاوية تسبيق الحقن وزاوية تسبيق الاشتعال:

- زاوية تسبيق الاشتعال هي المجال بين بداية الاشتعال وموضع المكبس في ن.م.ع.

وبداية الاشتعال هي إما لحظة الانقطاع الظاهرة على المخطط البياني (إحداثيات $p-\phi$) بين خط الاحتراق وخط الانضغاط. شكل - ٦١ أو اللحظة الموجودة على منحنى الانبعاث الحراري الذي يتوازن فيها انبعاث الحرارة مع ضياعها على عمليات تسخين وتبخير الوقود.

تتعلق لحظة الاشتعال بلحظة بداية الحقن (النقطة a' شكل - ٦١) وطول فترة تأخير الاشتعال (مقاسة بالدرجات على عمود المرفق) θ_i .

وبزيادة زاوية تسبيق الحقن يزداد قليلاً انزياح مخاريط الوقود وتنخفض زاوية المخروط. ويؤثر أيضاً تغير طبيعة حركة الشحنة في الأسطوانة بحسب زاوية دوران عمود المرفق.

و تبلغ سرعة تسرب الشحنة من الفراغ ما فوق المكبس قيمتها العظمى بحسب القياسات من ٦-١٠ درجات قبل ن.م.ع. والمركبة المماسية للسرعة تصل إلى الحد الأعظمي بالقرب من ن.م.ع.

وجريان الشحنة من فوق المكبس وفي عمق حجرة الاحتراق يحصل على طول جذران الحجرة بسرعة كبيرة للمركبة النسبية المماسية مع بعض الانقطاع عن الجذران، تحت حافة حجرة الاحتراق (تشكيل دوامة ثانوية، تدور حول المحور بشكل دائري تتوضع في المستوى الأفقي). وتحصل هذه

الحركة بتصميم معين للمكبس.

إن توافق السرعة التي تصل بها قمة المخروط إلى منطقة السرعات العظمى بالقرب من جدران حجرة الاحتراق يمكن أن يؤثر على نقل قطرات الوقود في الاتجاه المماثل كما في عمق حجرة الاحتراق، وهذه المؤثرات تؤثر على p_i, η_i عندما تتغير بداية الحقن.

وعند تأخر بداية الحقن ومعه بداية الاشتعال ينخفض العمل السالب لعملية الانضغاط ولكنها تزداد لحد معين قيمة θ_{bc} وعمل التمدد - ويتعلق الأخير بالتأثير المشترك للعوامل التالية: انخفاض ضياعات الحرارة في سائل التبريد، ازدياد الضياعات بسبب عدم تزامن الانبعاث الحراري، و انخفاض ضياعات عمل الدورة الحرارية المرتبطة بمسألة تأثير السعة الحرارية بدرجة الحرارة (بسبب انخفاض القيم العظمى لحرارة الشحنة).

وزيادة زاوية تسبيق الحقن تسبب زيادة الضغط الأعظمي للدورة الحرارية وسرعة تزايد الضغط في دور الاحتراق. وهذا مرتبط بانبعاث حراري كبير خلال تضاؤل حجم الشحنة، وانزياح السرعة العظمى للانبعاث الحراري باتجاه ن.م.ع خلال الطور الأساسي للعملية.

إن زيادة الضغط والحرارة يسببان زيادة الحمولة على الأجزاء المختلفة (رأس الأسطوانة، الأسطوانة) وعند تسبيق الحقن تزداد أيضاً عملية انبعاث أكاسيد الآزوت.

- معامل فائض الهواء:

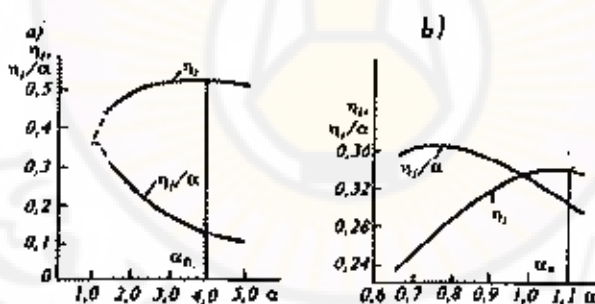
اللحظة المثالية للاشتعال تنزاح باتجاه ن.م.ع. بزيادة معامل فائض الهواء (بتخفيض كمية الوقود وانخفاض الحرارة المنبعثة) لأن فترة انبعاث الحرارة تنخفض. ويرافق عملية زيادة فائض الهواء انخفاض جميع درجات الحرارة المميزة للدورة الحرارية. لأن كمية الشحنة المتزايدة قليلاً تعطي كمية أقل من

الحرارة.

و تنخفض الحمولة الحرارية الوسطية على الأجزاء المختلفة بشكل ملموس بزيادة المعامل ∞ الناتجة عن انخفاض حرارة الشحنة.

وتنخفض ضياعات الحرارة بشكل كبير في سائل التبريد، و بما أن كمية الحرارة المعطاة تنخفض بنسبة أكبر فإن الضياعات النسبية للحرارة تزداد بزيادة ∞ (انخفاض الحمولة الخارجية).

والتأثير الإيجابي لانخفاض السعة الحرارية للشحنة (نتيجة زيادة نسبة الغازات ثنائية الذرة في الشحنة وانخفاض درجة حرارة الشحنة) وزيادة نسبة التمدد اللاحقة (بعد نهاية الانبعاث الحراري) يؤثر على نحو أكبر من التأثير السلبي لزيادة الضياعات النسبية للحرارة في سائل التبريد، و η_i تزداد بشكل ملحوظ بزيادة ∞ شكل - ٦٣ a وعند القيم العظمى لفائض الهواء يمكن ملاحظة انخفاض بسيط لـ η_i تحت تأثير زيادة الضياعات النسبية في سائل التبريد وعند التدوير السيئ للوقود.



شكل - ٦٣

و يتغير الضغط الوسطي للدورة طرذاً مع $\frac{\eta_i \eta_v}{\infty}$ مما يؤمن تحكماً جيداً في المحرك بسبب تغيير الحمولة الخارجية. وبإفقار المزيج تنخفض

الضياعات الميكانيكية بشكل كبير $(P_{\max}, \frac{dp}{d\varphi_{\max}})$.

و بزيادة $\propto$ يزداد معامل الجودة الحجمية (جودة السحب) بسبب انخفاض تسخين الشحنة التي تلامس الأجزاء الأقل حرارة في أثناء عملية السحب. ويحصل هذا بصرف النظر عن زيادة معامل الغازات المتبقية الناتجة عن انخفاض حرارتها.

إن انخفاض حرارة الغازات المطرودة من الأسطوانات وزيادة كثافتها يولدان بعض الزيادة في الضياع في أثناء عملية التبادل الغازي. بانخفاض $\propto$ تزداد حرارة الغازات بشكل ملحوظ في مجرى الطرد مما يسبب زيادة دوران نظام الشحن التوربيني وزيادة ضغط الهواء.

- زمن الدوران:

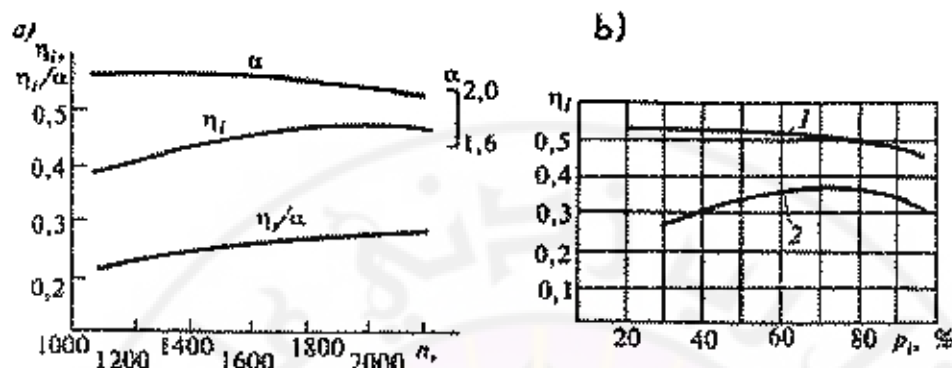
بزيادة زمن الدوران تزداد فترة الانبعاث الحراري (بالدرجات)، وتنخفض بوضوح الضياعات المطلقة والنسبية في سائل التبريد. ويظهر الأخير، بصرف النظر عن زيادة شدة الانتقال الحراري والحمولات الحرارية الوسطية على الأجزاء، بسبب انخفاض فترة الانتقال الحراري.

ونتيجة انخفاض الضياعات النسبية في سائل التبريد يزداد η_i شكل - 64 a ويحصل هذا عند الجريان المثالي لعمليات المزج والانبعاث الحراري. إن زيادة فترة الانبعاث الحراري وانخفاض الضياع في سائل التبريد يرافقه تسبق كبير للحظة الاشتعال المثالية.

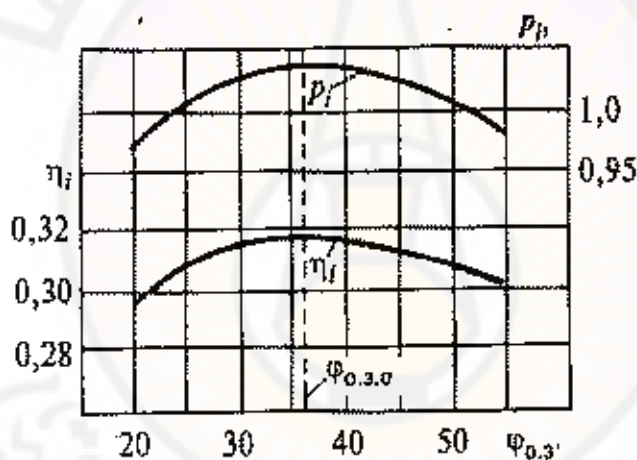
إن انخفاض الضياع الحراري في سائل التبريد وبداية المبكرة للانبعاث الحراري يقودان إلى زيادة ملموسة في الحمولات الميكانيكية على أجزاء المحرك، لأن كثيراً من الحرارة ينبعث عند الحجم المتناقص للشحنة.

وتؤثر على $(\frac{dp}{d\varphi_{\max}})$ السرعة الكبيرة لتناقص الحجم عند الاشتعال المبكر.

وبوجود عملية التحكم بنظام الشحن يمكن توقع حدوث تأثير كبير على تغيرات عوامل الدورة الحرارية، كتابع لزمن الدوران.



شكل - ٦٤



شكل - ٦٥

درجة حرارة الغازات في مجرى الطرد (قبل عنفة الشاحن) تزداد عادة بزيادة n بسبب انخفاض نسبة التمدد اللاحق (بعد انتهاء الانبعاث الحراري). ويؤثر كذلك انخفاض الضياع الحراري في سائل التبريد.

وفي محركات الديزل يؤثر اختيار نظام الشحن على العلاقة $\eta_v = f(n)$ ويتغير الضغط الوسطي البياني في الديزل المشحون عند تغير n طردياً مع

$$\frac{\eta_i}{\infty (\eta_v \cdot p_i)}$$

- الضغط الجوي:

عند ثبات التغذية بالوقود يزداد معامل فائض الهواء طردياً مع زيادة امتلاء الأسطوانة أي طردياً مع الجداء $\eta_v \cdot p_o$.

و تكون زيادة معامل فائض الهواء نتيجة زيادة η_v . وبما أن النسبة $\frac{\eta_v \cdot \eta_o}{\infty}$ تبقى ثابتة فإن p_i يزداد بنفس النسبة كما في η_i .

وزيادة فائض الهواء تسبب انخفاضاً في جميع درجات الحرارة المميزة لجسم التشغيل.

و يزداد الضغط الأعظمي للدورة بزيادة p_o . وزيادة كثافة الشحنة في الأسطوانة يمكن أن تتسبب بانخفاض فترة تأخير الاشتعال، وزيادة زاوية مخروط الوقود وانخفاض انزياح قمة المخروط في حجرة الاحتراق، لكن هذه النتائج ليست كبيرة إجمالاً. وهذه الحالة يمكن أن تتغير بشكل كبير عند عمل الديزل على ارتفاعات عالية عن سطح البحر.

وفي هذه الحالة من الضروري العمل على ثبات واستقرار فائض الهواء. إذ تقوم نظم حقن الوقود الحديثة ونظام التحكم بالديزل بتأمين ذلك ألياً.

وفي محركات الديزل المشحونة يولد انخفاض الضغط p_o (عند بقاء التغذية ثابتة) انخفاضاً في p_i ، لأنه عند انخفاض ∞ تزداد حرارة الغازات قبل عنقفة الشاحن، ويزداد الدوران، وقد توازن انخفاض p_o .

وبزيادة p_o يزداد الضغط الوسطي للدورة الحرارية- طردياً مع الجداء

$$\cdot \rho_k \eta_i \eta_v$$

وينتج مما سبق أنه عند المحافظة ألياً على معامل فائض الهواء فإن الضغط الوسطي للدورة يصبح أكثر حساسية لتغيرات الضغط الجوي.

ومن المستحسن المحافظة على فائض الهواء من منطلق تخفيض الانبعاثات الغازية، وخاصة الجزيئات الصلبة ولاسيما عند الدوران المنخفض للديزل.

- درجة حرارة الهواء المحيط:

عند ثبات التغذية بالوقود يرافق ازدياد الحرارة T_o انخفاض معامل فائض الهواء ولكن بنسبة أقل مما تنخفض فيه كثافة الهواء أمام تجهيزات السحب، لأن معامل جودة السحب يزداد بسبب انخفاض تسخين الشحنة عند دخولها إلى الأسطوانة

إن انخفاض $\propto$ يقود إلى انخفاض ρ_i, η_i بنسبة واحدة لأن الكسر $\frac{\rho_o \cdot \eta_v}{\propto}$ يتغير قليلاً. وفي الديزل المشحون تبدو هذه الظواهر بنسبة أقل نظراً للأسباب التي مرت معنا في السابق.

وعند زيادة T_o تزداد درجات حرارة الدورة الحرارية والحمولة الحرارية، وتزداد الضياعات الحرارية المطلقة والنسبية في سائل التبريد.

وبالمحافظة على فائض الهواء ألياً عند زيادة T_o تنخفض التغذية بالوقود (أي تنخفض الحرارة المعطاة للدورة).

وتتغير درجات الحرارة المميزة للدورة بنسبة أقل بكثير. ومعامل جودة السحب يزداد مع T_o بسبب انخفاض تسخين الشحنة عند السحب ويتغير الضغط الوسطي للدورة طردياً مع $\rho_k \eta_i \eta_v$.

- رطوبة الهواء:

تؤثر الرطوبة بشكل واضح عند ارتفاع حرارة الجو المحيط فعندما يكون $T_o = 308.K^\circ$ وعندما تتغير الرطوبة من 0-10% يمكن أن ينخفض

الضغط الوسطي للدورة الحرارية بمقدار ٤% بسبب انخفاض كمية الهواء الجاف الوارد إلى أسطوانات المحرك بنفس النسبة.

- ضغط الشحن وتبريد الهواء المشحون:

زيادة ضغط الشحن عند ($\infty = idem$) تزداد كل درجات الحرارة المميزة للدورة الحرارية، وتزداد أكثر بانعدام وجود المبرد. وهذا مرتبط بزيادة الحرارة الأولية للدورة، (في نهاية السحب وبداية الانضغاط).

يزداد الضغط الأعظمي للدورة بزيادة p_k بسبب زيادة الضغط الأولي. وبوجود المبرد يصبح الضغط الأعظمي أعلى، ويتغير بنسبة أكبر بزيادة الضغط الأولي، ويفسر ذلك تبعاً لقيم وطبيعة تغير درجة حرارة الشحنة.

وهكذا تتأثر السرعة العظمى لزيادة الضغط. وتؤثر على الفروق في ($\frac{dp}{d\varphi_{max}}, P_{max}$) (عند وجود أو انعدام المبرد) الاختلافات الحاصلة في التبادل

الحراري بين الشحنة والأجزاء المحيطة بها. وتجدر الإشارة إلى أن شدة الانتقال الحراري تنخفض عند زيادة حرارة الغاز، وتزداد بزيادة الضغط.

وبانعدام وجود المبرد تنخفض الضياعات الحرارية بقيمتها المطلقة من الشحنة إلى سائل التبريد. ولكن الضياعات النسبية تكون مرتفعة وتزداد بزيادة ضغط الشحن.

وبوجود المبرد تكون الضياعات النسبية للحرارة في سائل التبريد أقل . وبالعكس تنخفض بزيادة ضغط الشحن. والسبب الرئيسي للاختلاف في طبيعة

تغير $\frac{Q_w}{Q_e}$ تبعاً لضغط الشحن بوجود المبرد أو عدمه هي الزيادة الأعلى

(زيادة p_k) للتغذية بالوقود (زيادة الحرارة المعطاة)، بسبب الارتفاع الكبير لكثافة الهواء في مجرى السحب في حالة التبريد.

وتؤثر السعة الحرارية للشحنة على الفروق في قيم η_i وطبيعة تغيره تبعاً

لضغط الشحن وإدخال عملية التبريد، وهذا مرتبط بدرجة حرارة الشحنة التي تكون أعلى بانعدام التبريد، والفروق المذكورة أعلاه في الضياعات النسبية في سائل التبريد.

وفي المحصلة يزداد η_i مع التبريد، ويزداد قليلاً بزيادة ضغط الشحن، وبانعدام التبريد يصبح η_i أقل وينخفض بزيادة p_k .

وتزداد جودة السحب بزيادة ضغط الشحن بسبب انخفاض تسخين الشحنة في شوط السحب لأن الحرارة تنخفض.

تكون درجة حرارة الشحنة الداخلة إلى الأسطوانة أعلى بشكل ملحوظ عند انعدام التبريد، وتزداد بنسبة أكبر بزيادة p_k . لذلك فإن لمعامل جودة السحب (امتلاء الأسطوانة) قيم مرتفعة. ويزداد بنسبة أكبر عند ازدياد ضغط الشحن بالذات من دون تبريد.

و يتغير الضغط الوسطي للدورة طرئاً مع الجداء η_i, η_k, p_k ويزداد هذا التغير عند زيادة ضغط الشحن η_i, p_k ، لذلك بوجود التبريد يزداد الضغط الوسطي ويزداد بنسبة أكبر بزيادة ضغط الشحن. لذلك فإن إدخال عملية التبريد، وخاصة عند الشحن المرتفع تعتبر عملية مفيدة لزيادة العمل في الدورة الحرارية. وعند انخفاض القيمة المسموحة لضغط الدورة تنخفض الحملات الحرارية على الأجزاء المختلفة بسبب انخفاض شدة الانتقال الحراري والفروق الحرارية، وتنخفض الحرارة العظمى للدورة وكذلك الضياع الحراري في سائل التبريد. والضغط الوسطي للدورة وكذلك المردود يتخفضان بسبب تأخير بداية ونهاية عملية الانتقال الحراري. وتزداد الضياعات الناجمة عن الانبعاث الحراري الحاصل في غير توقيته.

- أبعاد الديزل:

النسبة العالية للانضغاط والضياعات النسبية الأقل في سائل التبريد هي

سبب ارتفاع مردود الدورة في الديزل صغير الأبعاد (على النظام الاسمي). وعندئذ يكون p_i أعلى بشكل ملحوظ بسبب ارتفاع η_i و η_{ii} أيضاً. ويفسر الأخير بالشروط الأفضل لعملية السحب المتم.

ولكن عند الدوران الموحد تكون الأفضلية لـ η_i في محرك الديزل الأكبر في أبعاده، بسبب انخفاض السطح النسبي للانتقال الحراري، وهذا مع القيمة الأدنى لنسبة التمدد اللاحقة يسببان ارتفاع حرارة الغازات في مجرى الطرد. وعند الدوران الاسمي تكون الحمولات الحرارية على أجزاء المحرك أعلى في الديزل الأقل حجماً بسبب ارتفاع شدة الانتقال الحراري.

وفي النهاية يجب ملاحظة أنه عند الحصول على عمليات مزج وانبعاث حراري جيدة تصبح العوامل البيانية للديزل الأقل حجماً في مستوى عوامل الديزل الأكبر بل وربما تفوقها.

- تأثير العوامل المختلفة على المؤشرات البيانية لمحرك الشرارة الكهربائية:

تتعلق العوامل البيانية في محرك الشرارة بشدة الاحتراق وحدوثه في الوقت المناسب وكذلك بالضغوط الحرارية في سائل التبريد وفي الغازات العادمة.

- نسبة الانضغاط:

تساوي نسبة الانضغاط في محركات الشرارة الكهربائية $\varepsilon = 6,5 - 12$ والنسبة الأصغر تعود لمحركات السيارات الشاحنة وعند وجود نظام الشحن. والقيمة الأكبر لـ ε تعود للمحركات التي يحقن فيها البنزين مباشرة فسي الأسطوانات.

وفي هذا المجال تؤثر ε بشكل كبير على العوامل البيانية، فزيادة ε تزداد قيم η_i و p_i . إضافة لذلك بزيادة ε تتحسن قليلاً ظروف الاشتعال وهذا يعطي إمكانية توسيع مجالات إفقار المزيج والحصول على زيادة إضافية لـ η_i عند

العمل على الحمولات الجزئية. وكلما ازداد ϵ انخفضت سطوح حجرة الاحتراق ولكن من جهة أخرى تزداد درجة حرارة الغازات، لذلك فإن الانتقال الحراري بين الغازات والجدران المحيطة بحجرة الاحتراق يمكن أن يزداد، وهذا يسبب انخفاض الفائدة من زيادة ϵ .

زيادة ϵ هي السبيل الأساسي لتحسين العمليات البيانية وزيادة η_{th} في المحرك ولكن كلما ازداد ϵ تزداد متطلبات أكتان الوقود. وبزيادة ϵ تزداد الحمولات الحرارية والميكانيكية على أجزاء المحرك وزيادة إصدارات CH, NO_x .

- أبعاد الأسطوانة:

كلما ازداد قطر الأسطوانة كان ϵ أقل لمنع حدوث ظاهرة الصفع. لذلك فعند زيادة القطر D يجب تخفيض ϵ واستخدام وقود عالي الأكتان أو النظر بوضع شمعتين للإحتراق في الأسطوانة الواحدة. عند ثبات ϵ فإنه بزيادة D يزداد η_i بسبب انخفاض نسبة الحرارة المنقولة إلى الجدران.

- تركيب المزيج:

يؤثر تركيب المزيج بشدة على جريان عملية الاحتراق ويؤثر تبعاً على العوامل البيانية شكل -63 b ويبلغ η_i قيمته العظمى عند الخلط الأكثر فقراً بالوقود بالمقارنة مع الخلط الذي يبلغ فيها $\frac{\eta_i}{\infty}$. قيمتها العظمى، ويفسر ذلك بأنه بإفقار المزيج إلى حدود معينة تتحسن عملية الاحتراق وتزداد نسب الغازات ثنائية الذرات. ولكن عند الإفجار الشديد للخلط فإن سرعة الاحتراق تهبط بسرعة (تظهر دورات حرارية ذات اشتعال متقطع). وينتهي الاحتراق متأخراً و يزداد انتقال الحرارة إلى الجدران. وتطبق القيمة العظمى لـ η_i مع تركيب المزيج الذي يتوفر فيه توازن مثالي بين اكتمال الاحتراق وسرعته من جهة، وانتقال الحرارة إلى الجدران من جهة أخرى. والقيمة

العظمى لـ $\left(\frac{\eta_i}{\infty}\right)$ في الخلائط الغنية قليلاً والتي عند احتراقها بسرعة عظمى

تبلغ القيمة العظمى لجداء η_i في كمية الحرارة المتوفرة في الوقود.

وقيمة ∞ المطابقة لـ $\eta_{i \max}$ ، $\left(\frac{\eta_i}{\infty}\right)_{\max}$ تتعلق بجريان الاحتراق أي

بتصميم المحرك، وتتحدد بوضعية صمام التحكم (صفحة المزيج) وزمن

الدوران. على أنظمة الحمولة الكاملة و $\eta_{i \max}$ تحصل عند $\infty=1.1-1.3$ و $\frac{\eta_i}{\infty}$

العظمى و $p_{i \max}$ تحصل عند $\infty=0.85-0.95$.

في الشحنة الطبقيّة في المحركات ذات الحقن المباشر للبنزين تكون طبيعة

تغير η_i تبعاً للحمولة، كما هي في محرك الديزل. شكل-٦٤ a .

- زاوية تسبيق الاشتعال (φ_i) :

عندما تزداد زاوية تسبيق الاشتعال في ظروف مستقرة يمكن أن تقترب أو

تبتعد عملية الاحتراق عند ن.م.ع.

ولكل عملية توافق بين مقدار فتح صمام التحكم، ∞ ، قيمة معينة للزاوية

$\varphi_{o.o}$ والتي تبلغ عندها η_i و p_i قيمها العظمى معاً. عند الاشتعال المتأخر شكل

-٦٥ ينتقل الاحتراق على منحنى التمدد. والحرارة الناتجة تتحول إلى عمل

خلال جزء أصغر من مسار المكبس.

والضياح الحراري في نظام التبريد وفي الغازات العادمة يزداد، مما يؤدي

إلى انخفاض η_i و p_i . من جهة أخرى عند الاشتعال المبكر عندما تكون

$\varphi_o > \varphi_{o.o}$ تزداد بشدة درجة الحرارة العظمى T_z والضغط P_z مما يسبب

زيادة الضياح الحراري في سائل التبريد. ويزداد عمل شوط الانضغاط،

وتسرب الغازات عبر حلقات المكبس.

إن جميع العوامل التي تزيد سرعة الاحتراق أي التي تختصر الفترة

الزمنية للطورين الأول والثاني للاحتراق تسبب في الوقت ذاته بانخفاض φ_{θ_0} وبالعكس.

- زمن الدوران:

بزيادة n تشتد سرعة حركة الشحنة واحتراقها في الأسطوانة. ولكن بسبب اختصار الزمن الكامل للدورة الحرارية فإن استمرار الاحتراق بالدرجات (θ_H, θ_L) يزداد قليلاً وهذا يتطلب زيادة موافقة لـ φ_0 ، ويتم ذلك عبر التحكم بها إلكترونياً أو بطريقة ميكانيكية أخرى.

بزيادة n تنخفض الفترة الزمنية لعملية الانتقال الحراري من الغازات إلى الأسطوانة ولكن من جهة أخرى فإن تطور الاضطراب في الشحنة يرفع من وتيرة هذه العملية.

و ينخفض تسرب الغازات عبر الحلقاء بزيادة n ، وبالمحصلة فإن التأثير المشترك للعوامل المذكورة هو أنه بزيادة n فإن η_i ، η_{ii} تتغير قليلاً، وبتميل للارتفاع قليلاً.

- حمولة المحرك:

بانخفاض الحمولة تتراجع ظروف الاشتعال والاحتراق في محرك الشرارة، وعندها يزداد الضياع الحراري في سائل التبريد وفي الغازات العادمة. إن انخفاض سرعة الاحتراق عند ثبات الدوران يمكن أن يتوازن بزيادة زاوية التسبيق، ويتم ذلك بالتحكم بالزاوية φ_0 إلكترونياً أو بواسطة المنظم التخللي.

وتؤثر تغيرات ∞ على تغيرات η_i تبعاً للحمولة عند ثبات دوران المحرك شكل ٦٤- b والقيمة العظمى لـ η_i تحصل عند الحمولات المتوسطة $\infty = 1.1 - 1.3$ ، وقيمة p_i تبلغ حدها الأعظمي عندما يكون صمام التحكم مفتوحاً بالكامل، وتنخفض باستمرار إغلاق الصمام ويحصل هذا نتيجة

انخفاض كمية الشحنة المعطاة للأسطوانة.

— سرعة حركة الشحنة:

لزيادة ∞ عند عمل المحرك على الحملات الجزئية، وبهدف تخفيض الإصدارات الغازية السامة، وتحسين اقتصادية عمل المحرك فسي أن معاً تستخدم كثيراً عملية تطوير (تقوية) الحالة الديناميكية للشحنة حتى نهاية شوط الانضغاط، ولهذا الهدف يمكن استخدام قنوات دخول مائلة أو دوامة، أو استخدام صفتاح خاصة لتوليد اضطراب وانحراف في تيار الشحنة.

وعلى كل نظام عمل في المحرك يوجد شدة مثالية لسرعة الشحنة تؤمن العمل بـ $\eta_{i_{opt}}$. وبانخفاض الحملية يجب أن تزداد الشدة المثالية للسرعة.

وعند التقوية الشديدة لسرعة الشحنة يزداد بقوة الانتقال الحراري إلى الجدران، ولذلك ينخفض η_i بالمقارنة مع القيمة العظمى على هذا النظام.

— الشحن القسري:

إذا كان المحرك يعمل على وقود عالي الأكتان فإن زيادة p_k (φ_{opt}) عند الشحن الغازي لا تؤثر عملياً على قيمة η_i ، والشحن الميكانيكي يمكن أن يحسن هذه العوامل.

وبما أن المحرك يعمل غالباً على بنزين فائض الأكتان لذلك ينخفض η_i ، ودرجة هذا الانخفاض تتعلق بطريقة معالجة الصفع: تخفيض (ε) ، (φ_o) أو ∞ .

في الجدول التالي تظهر العوامل البيانية للمحركات البنزينية ومحركات الديزل:

نوع المحرك	p_i ميغا باسكال	η_i	غ/ك.وات.سا g_i
- محرك رباعي الأسواط بالشرارة			
- دون شحن	1,5- 1,1	0,45- 0,35	182- 223
- مع الشحن	1,85- 1,6	0,4- 0,3	200- 245
- محرك ديزل			
- دون شحن	1,05- 0,75	0,5- 0,45	160- 187
- مع الشحن	حتى 2,5	0,5- 0,45	160- 187

- تأثير العوامل المختلفة على الاستطاعة البياتية والعزم:

العوامل التي تؤثر على الإستطاعة والعزم هي p_i وعدد الأسواط، وعدد الأسطوانات والحجم الفعال للأسطوانة. ويؤثر زمن الدوران على الاستطاعة.

- عدد الأسواط:

في المحركات ثنائية الأسواط، تكون العوامل البياتية p_i ، η_i أقل عادة مما في المحركات رباعية الأسواط. وهذا مرتبط بعدم إتمام عملية تنظيف الأسطوانات من نواتج الاحتراق، والتي تؤثر سلباً على عملية الاحتراق وعملية الاستفادة من الحرارة.

يكون الضغط البياتي الوسطي في المحركات ثنائية الأسواط المنسوب إلى الحجم الكامل الفعال أقل مما في المحركات رباعية الأسواط، بسبب فقدان جزء من الحجم الفعال لإجراء عملية التبادل الغازي، وكذلك المردود η_i أقل قليلاً و ω أكبر قليلاً. وفي النتيجة في المحركات غير المشحونة وعند نفس الشروط فإن استخدام المحركات ثنائية الأسواط بدلاً من المحركات الرباعية يؤدي إلى زيادة الاستطاعة والعزم بحدود ٦٠-٧٠ % فقط.

وفي المحركات رباعية الأسواط ويسبب زيادة انتالبي الغازات وانخفاض الحمولة الحرارية في أجزائها، فإن نظم الشحن الغازية تستخدم بفعالية أكبر.

وعند استخدام الشحن الميكانيكي في المحركات الرباعية تصرف استطاعة نسبية أقل للشاحن، لأن إعطاء الهواء لواحدة الوقود يكون أقل. ولذلك عند الشروط المماثلة يمكن أن تفوق استطاعة المحرك الرباعي المشحون استطاعة المحرك الثنائي.

— عدد الأسطوانات:

T_i, N_i عند ثبات الأبعاد الأساسية للأسطوانة، تتناسب مع عدد الأسطوانات. وتؤدي زيادة الأسطوانات إلى تعقيد تصميم المحركات واستثمارها.

— أبعاد الأسطوانة والدوران الاسمي:

أبعاد الأسطوانة (القطر D ، مسار المكبس S). تتعلق بـ زمن الدوران الاسمي $n_{\text{نام}}$ ومن معادلة السرعة الخطية الوسطية للمكبس $C = \frac{S \cdot n}{30}$ ينتج أنه بزيادة n ولمنع زيادة السرعة الوسطية التسي تتأثر بها الضياعات الميكانيكية ووثوقية المحرك واستقراره وثباته أمام التآكل يجب تخفيض المسار S .

وعند ثبات الحجم V_h يجب زيادة D عندما يراد تخفيض المسار S . وهذا ممكن ولكن بحدود معينة، لأن التخفيض الكبير للنسبة $\frac{S}{D}$ يمكن أن يقود إلى تغيير غير مناسب لمؤشرات الكتلة والأبعاد الخاصة بالمحرك، وزيادة الحمولات الميكانيكية والحرارية، وإضعاف عملية الاستفادة من الحرارة.

وتبين التجارب أن المؤشرات الأفضل لمحركات الديزل المستعملة في السيارات والجرارات تحصل عندما تكون $\frac{S}{D} = 1.0 - 1.3$.

وعند انخفاض هذه النسبة تتخفف جودة استعمال الهواء بسبب زيادة نسبته في النقاط الميتة. وفي حالة المحرك العامل بالشرارة يتوجب عند زيادة أبعاد المحرك تخفيض ε مع التداخيات السلبية المرافقة.

وبزيادة $\frac{S}{D}$ وعند ثبات زمن الدوران والظروف الأخرى (∞, D) ينخفض الضياع النسبي للحرارة في سائل التبريد ويزداد مردود الدورة الحرارية. وهذا مرتبط بأن كمية الحرارة المعطاة تزداد عملياً طردياً مع S ، أما ضياع الحرارة في سائل التبريد - بنسبة قليلة جداً - فلأن زيادة سطح الانتقال الحراري تحصل فقط في نهاية شوط التمدد، عندما تكون شدة الانتقال الحراري ضعيفة.

ولكن إذا أجرينا التحليل للقيم المختلفة n ، فإنه عند القيم المماثلة لسرعة المكبس الوسطية تكون النتيجة عكسية بسبب زيادة فترة الانتقال الحراري الناتجة عن انخفاض زمن الدوران عند المسار الكبير.

وهذا هو السبب الداعي لاستخدام النسبة $\frac{S}{D}$ في تصاميم محركات الديزل.

وفي المحركات البنزينية تستخدم النسبة $\frac{S}{D} = 0,80 - 1,10$.

وعند ثبات النسبة $\frac{S}{D}$ ، فإن زيادة V_H مرتبطة بتخفيض الدوران الاسمي. وهذه العلاقة المتبادلة هي السبب في أن الاستطاعة البيانية تزداد ليس طردياً مع الحجم V_H بل بدرجة أقل نسبياً.

والتأثير الإضافي يأتي من جانب الحمولة الحرارية لأجزاء المحرك. فزيادة V_H تزداد أبعاد الأجزاء، المقاومة الحرارية، والفروق الحرارية أو نتيجة لذلك تزداد الحمولة الحرارية. ولتخفيضها يجب استخدام نسب تقوية منخفضة للمحرك، كمية كبيرة من فائض الهواء مما أيضاً يحدد تزايد N_f عند زيادة V_H .

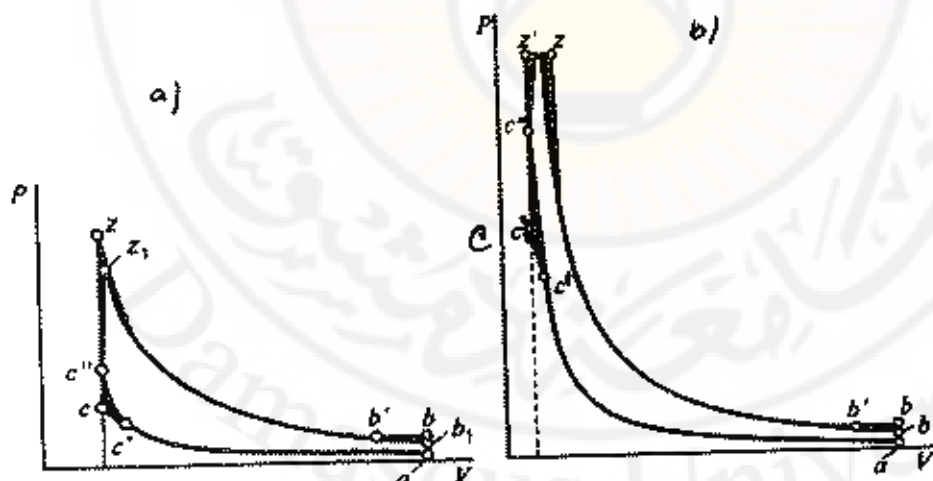
وباستمرار تطوير المواد والتقنيات، والوقود والزيوت أيضاً، تتولد إمكانيات الحصول على وثوقية عالية وثبات أمام التآكل في المحركات عند السرعات المرتفعة للمكابس.

لذلك فإن زيادة الدوران الاسمي عند اختيار النسبة $\frac{S}{D}$ المطابق هي إحدى

الوسائل المتبعة لزيادة الاستطاعة مع المحافظة على كتلة وأبعاد المحرك.

وهذا بدرجة عالية يلائم محركات الشرارة الكهربائية، وفي السنوات الأخيرة أنتجت محركات ديزل عالية السرعة للسيارات الخفيفة بالحقن المباشر، وهي تنافس بنجاح محركات الديزل التي تستخدم حبرات احتراق منفصلة. وعند استخدام الشحن في محركات الديزل الأكبر (للسيارات الشاحنة وغيرها) يتسارعون إلى تخفيض الدوران الاسمي بهدف زيادة الاقتصادية على أنظمة العمل على حساب زيادة المردود الميكانيكي.

في محركات الشرارة وفي محركات الديزل يمكن زيادة الدوران الاسمي فقط في الحالات التي لا تسبب انخفاضاً كبيراً في المعامل η_c ، أو الضرر في عملية المزج وعملية الاحتراق (η_{ci}). وفي الحالة المقابلة فإن انخفاض P_i يؤدي إلى انعدام الفائدة من زيادة الدوران n .



شكل - ٦٦

حساب العوامل البيانية:

لحساب العوامل البيانية لأبد من إجراء بعض التعديلات في مخطط عمليات الانضغاط - التمدد بحيث تظهر كما في الشكل - ٦٦ b بالخطوط المبهمة. وعندها:

$$L_{iH} = L_{i'z} + L_{zb} - L_{ac}$$

حيث:

$$L_{iz} = p_z V_z - p_c V_c (\lambda \rho - \lambda) = p_c V_c (\rho - 1) \lambda$$

$$L_{zb} = \frac{p_c V_z}{n_2 - 1} \left[1 - \left(\frac{V_z}{V_b} \right)^{n_2 - 1} \right] = \frac{p_c V_c \lambda \mu}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta n_2 - 1} \right),$$

$$L_{ca} = \frac{p_c V_c}{n_1 - 1} \left[1 - \left(\frac{V_c}{V_a} \right)^{n_1 - 1} \right] = \frac{p_c V_c}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta n_1 - 1} \right)$$

مع العلم طبقاً أن العمل L_{ac} - هو سالب (مفقود وليس حاصل من الدورة)

- الضغط البياني p_{iH}

$$p_{iH} = \frac{L_{iH}}{V_b} = \frac{p_c V_c}{V_b} \left[\lambda (\rho - 1) + \frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta n_2 - 1} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta n_1 - 1} \right) \right],$$

ويما أن

$$\frac{V_c}{V_b} = \frac{1}{\varepsilon - 1}, P_c = P_a \cdot \varepsilon^{n_1}$$

$$p_{iH} = P_a \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\lambda (\rho - 1) + \frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta n_2 - 1} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta n_1 - 1} \right) \right] \quad (4.6)$$

وللمحرك العامل بالشرارة حيث أن $\rho = 1$, $\delta = \varepsilon$

$$P_{iH} = P_o \frac{\varepsilon^{n_i}}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon n_2 - 1} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon n_1 - 1} \right) \right] \quad (4.7)$$

وفي الواقع فإن العمل البياني يكون أقل من L_i بمقدار المساحة المخططة في الشكل ٦٦-b لأن الاشتعال يبدأ قبل ن.م.ع ويجري الاحتراق بسرعات محددة.

وصمام الطرد يفتح قبل أن.م.س. وهذا يخفض من العمل في أثناء شوط التمدد ولكن بنفس الوقت يسمح بتخفيض العمل اللازم لطرد الغازات وتنظيف الأسطوانة.

والقيمة الفعلية للضغط البياني الوسطي:

$$P_i = P_{iH} \cdot \varphi_c$$

حيث φ_c - معامل تكوير المخطط وهي تساوي $0.92 - 0.97$ في المحركات رباعية الأشواط والقيمة الأكبر للمحركات البنزينية والأصغر لمحركات الديزل.

٢- الضياعات الميكانيكية والعوامل الفعلية

١.٢- الضياعات الميكانيكية والمردود الميكانيكي:

الضياعات الميكانيكية تضم الاحتكاك الحاصل في أثناء عمليات التبادل الغازي، وتشغيل الآلات والتجهيزات المساعدة (مضخات الماء والزيوت والوقود، والمروحة والمولد الكهربائي وغيرها) والضياع المتعلق بالتهوية المرتبطة بحركة أجزاء المحرك بسرعات عالية في وسط مستحلب زيت - هواء أو في الهواء، وأيضاً في تشغيل ضاغط الهواء.

في محركات الديزل ذات الحجرة المنفصلة للاحتراق تضاف إلى الضياعات الميكانيكية أيضاً الضياعات المتعلقة بجريان الشحنة بين حجرات

الاحتراق (غاز ديناميكية).

وبالتوازي مع مفهوم P_i يطرح مفهوم الضغط الميكانيكي الوسطي P_M وهو عبارة عن العمل النوعي للضغوطات الميكانيكية الحاصل عند إنجاز الدورة الحرارية الواحدة، أي عمل الضغوطات منسوباً على واحدة الحجم الفعال للأسطوانة في الدورة الحرارية:

$$P_M = P_T + P_r + P_B + P_A + P_k$$

حيث:

P_T - ضياع الضغط على الاحتكاك.

P_r - ضياع الضغط على التبادل الغازي.

P_B - الضياع على التجهيزات المساعدة.

P_A - الضياع على التهوية.

P_k - الضياع على ضاغط الهواء.

والجزء الأساسي من الضغوطات الميكانيكية هو الضياع على الاحتكاك (حتى ٨٠% من P_M) والجزء الأكبر من الاحتكاك يقع على عاتق (المكبس - الأسطوانة)، (حلقات المكبس - الأسطوانة) ويساوي (٤٥-٥٥%) والضياع الاحتكاكي في المدرجات ويبلغ حتى ٢٠%.

القوى المؤثرة على الأزواج المحتكة - قوى العطالة، قوى الغازات وقوى المرونة (الحلقات والنوابض).

ولحساب P_T من المهم تحديد القيم المتوسطة بالزمن، للقوى المؤثرة على الأجزاء المختلفة.

والقيم الوسطية لنموذج قوى العطالة عادة تكون أعلى من قوى الغازات الوسطية نسبة للزمن، وخاصة للمحركات رباعية الأشواط، على الرغم من أن القيم العظمى لقوى الغازات أكبر بـ ٢-٥ مرات من القيم العظمى لقوى

العطالة.

ووفق المعطيات فعند السرعة الوسطية للمكبس المساوية ٨م/ثا، تبلغ الضياعات على الاحتكاك الناجمة عن قوى العطالة ٧٥% من P_T .

وتؤثر على ضياعات الاحتكاك قوى المرونة في الحلقات المكبسية التي لا تتعلق بنظام عمل المحرك.

وفي برهة زمنية قصيرة بالقرب من ن.م.ع من زمن تأثير قوى الغازات العظمى تزداد القوة التي تؤثر بها الحلقات المكبسية وخاصة العليا منها وتضغط على الأسطوانة.

وتكون سرعة الحلقات في هذه الفترة بسيطة وهذا يؤدي إلى تغير حالة الاحتكاك وزيادة تآكل الأسطوانة في المنطقة المجاورة لموقع المكبس في ن.م.ع.

وتؤثر على P_T العوامل التالية بشكل ملموس:

- الحالة الحرارية للمحرك بسبب تأثيرها على لزوجة الزيت التي ترتبط بها قوى الاحتكاك.

- زمن الدوران: تؤدي زيادة n إلى زيادة قوى العطالة والسرعة النسبية لحركة الأجزاء المختلفة وفي نفس الوقت تزداد قليلاً الحرارة وتتناقص لزوجة الزيت.

و تزداد قوى الاحتكاك أساساً بسبب زيادة السرعة النسبية لحركة الأجزاء وتتغير قوى الاحتكاك الطرفي بسبب ارتفاع الحمولة على العناصر الزوجية المحتكة.

وعلى العموم تزداد بشكل كبير الضياعات على الاحتكاك بزيادة زمن الدوران.

وتؤدي زيادة الحمولة إلى زيادة قوى الغازات وارتفاع حرارة العناصر.

وعندئذ تنخفض قوى الاحتكاك بسبب انخفاض لزوجة الزيت، وتزداد قوى الاحتكاك الطرفي بسبب زيادة قوى الغازات.

وتبين التجارب أن ضياعات الاحتكاك في الديزل لاتتعلق كثيراً بالحمولة وعند تطبيق قواعد الاستثمار الصحيحة تنخفض ضياعات الاحتكاك قليلاً في البداية بسبب (المعالجة الميكانيكية) وبعدها تستقر.

والضياعات على التبادل الغازي P_{to} مرتبطة بالفروق بين قيم العمل الحاصلة في أثناء أشواط السحب والطرْد شكل - ١٤ r.a ولتحليل تأثير العوامل المختلفة على P_r يمكن استخدام المعادلة التالية:

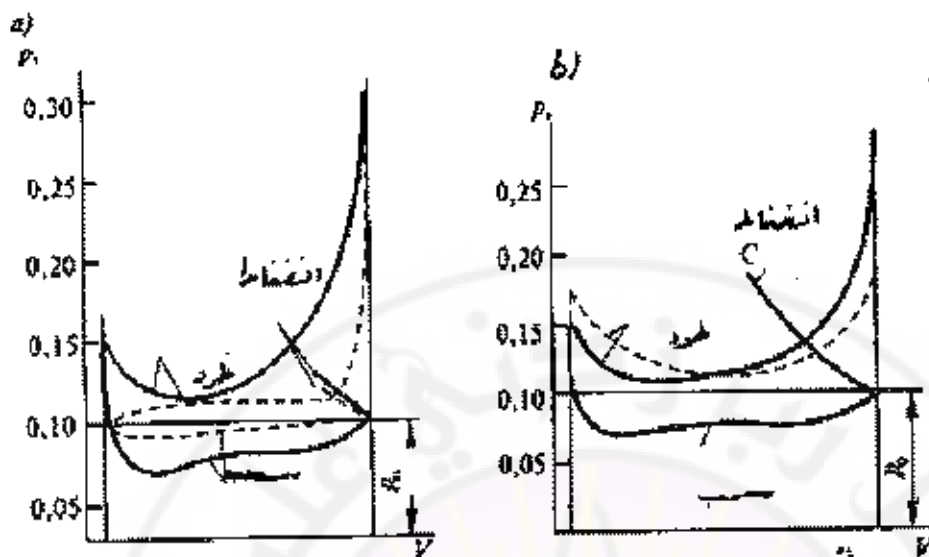
$$P_r = P_p - P_k + \Delta P_B + \Delta P_{B_r}$$

حيث $\Delta P_B, \Delta P_{B_r}$ - انخفاض الضغط الوسطي خلال عملية التبادل الغازي في صمامات السحب والطرْد.

والضياعات على التبادل الغازي يمكن أن تكون سالبة نسبة لبقية الضياعات الداخلية الأخرى، ويمكن تسميتها شرطياً ضياعات. والعمل الموجب للتبادل الغازي يتوافر فقط عند الشحن القسري من الضاغط فسي المحرك رباعي الأشواط المرتبط ميكانيكياً مع عمود المرفق، وأيضاً على بعض أنظمة العمل في المحرك المشحون توربينياً، التي يكون فيها الضغط الوسطي أمام تجهيزات السحب P_k أكبر من الضغط الوسطي مابعد تجهيزات الطرْد P_p شكل - ١٤ r.

وتزداد الضياعات على التبادل الغازي كلما كانت المقاومة في نظم السحب والطرْد أعلى وكلما كانت سرعات الغازات أكبر.

وبزيادة زمن الدوران تزداد الضياعات في جميع أنواع المحركات بسبب انخفاض عمل السحب وزيادة عمل الطرْد. وهذا مرتبط بزيادة انخفاض الضغط في مجاري السحب والطرْد شكل - ٦٧ a.



شكل - ٦٧

- الضغط الوسطي لضياح التبادل الغازي يساوي:

$$P_r = A.n^m$$

حيث A - ثابت، $m = 1.7 - 2.0$ وهي أعلى من ٢ في المحركات المشحونة غازياً.

وفي محركات الشرارة تزداد الضياعات على التبادل الغازي عند انخفاض الحمولة إذ تغلق عندئذ صفيحة المزيج (صمام التحكم) وتزداد مقاومة مجرى السحب وينخفض العمل الإيجابي لشوط السحب. ويلاحظ في بعض الأحيان زيادة عمل التبادل الغازي في محرك الديزل عند انخفاض الحمولة عن حد معين. وهذا يفسر بأنه عند الحمولة المنخفضة يكون الضغط في الأسطوانة في لحظة انفتاح صمام الطرد بسيطاً، ولذلك لا يحصل تسرب فعال للغازات المطرودة خارجاً في مرحلة الطرد الحر، مع انخفاض مناسب لكمية الغازات وضغطها.

وبالنتيجة يبدأ الضغط في الأسطوانة بالازدياد في نهاية شوط الطرد يلاحظ انضغاط إضافي للغازات العائمة شكل -b٦٧.

ولمحركات الشرارة غير المشحونة والمشحونة بالضاغط الميكانيكي - ضياعات التبادل الغازي التي لا تتغير كثيراً تبعاً للحمولة. وفي الديزل المشحون غازياً يكون الضياع عند التبادل الغازي تبعاً لنوع نظام الشحن، وطبيعة الشاحن، وتوافق خصائصه مع خصائص المحرك، وتصميم تجهيزات التبادل الغازي، وأطواره يمكن أن تزداد أو أن تنخفض (الضياعات) عند زيادة الحمولات.

في المحركات السريعة المشحونة غازياً يكون الضغط الوسطي للضياع الحاصل عند التبادل الغازي مرتفعاً ويشكل النسبة الأكبر من P_M (أكثر من ٢٥%) . وهذا مرتبط بوجود قدرة تبدو كبيرة للطرد على مخرج العنفة الغازية. لذلك ونسبة للمحركات المشحونة غازياً فإن تطوير مقاطع الجريان في صمامات السحب على حساب صمامات الطرد ليس مستحسن دائماً. والضياعات المتعلقة بالتهوية تكون قليلة وهي مرتبطة بزمان الدوران وتزداد بزيادته:

$$P_A = A_1 n^2$$

حيث A_1 - ثابت.

والضياعات على تشغيل الآلات المساعدة تتعلق أساساً بزمان الدوران حيث $P_H = A_2 n^2$ حيث A_2 - ثابت.

وفي المقاربة الأولى يمكن اعتبار أن الضياعات على الآلات المساعدة لا تتعلق بالحمولة وهي عادة $P_H = (0,05 - 0,1) P_H$. وجميع مركبات P_M تزداد بشكل ملموس عند زيادة زمن الدوران أو طرداً مع السرعة الوسطية للمكبس.

ويعتبر الضغط الوسطي الميكانيكي للضخعات كتتابع لسرعة المكبس الوسطية مقداراً يتحدد ليس بزمن الدوران فقط بل بمسار المكبس. وكذلك العلاقة $P_r = f(c)$ أيضاً لأن سرعة الغازات في مجاري السحب والطرْد، (التي تؤثر على مقدار انخفاض الضغوط)، والضخعات في عملية التبادل الغازي، تحددها سرعة الدوران وسرعة المكبس أيضاً. والعلاقة بين P_M والحمولة للمحركات غير المشحونة ليست كبيرة ويمكن إهمالها .

والضخاع على الاحتكاك يتغير طرْداً مع السرعة الوسطية للمكبس بتابع من الدرجة الأولى. وضخاع التبادل الغازي والتهوية وضخعات الآلات المساعدة تتناسب مع السرعة الوسطية للمكبس بتابع من الدرجة الثانية. لذلك فإن العلاقة بين P_M للمحرك غير المشحون وبين سرعة المكبس في الحالة العامة تأخذ هذا الشكل:

$$P_M = a + bc + dc^2$$

وبما أن النسبة الأكبر من P_M هي ضخعات الاحتكاك المتعلقة بتابع من الدرجة الأولى للسرعة C . فإنه يمكن صياغة العلاقة بالشكل:

$$P_M = a + bc$$

والقيم b, a تتعلق بنوع الأسطوانة وتصميمها وأبعادها وعددها والحالة الحرارية للمحرك. وعند زيادة عدد الأسطوانة تنخفض أعداد المدارج التابعة للأسطوانة الواحدة، وتنخفض P_A, P_B ، ولذلك فإن b, a لها قيم بسيطة وبالتالي ستخفض P_M .

زيادة الحجم الفعال عند ثبات النسبة $\frac{S}{D}$ تؤدي إلى انخفاض P_M نظراً للأسباب التالية:

- إذا كان عدد حلقات المكبس وعرضها موحد فإن قوى ضغط الغازات

التي تضغط الحلقات على الأسطوانة تزداد طردياً مع (D) وعلى سطح المكبس طردياً مع D^2 . وبما أن P_M هو قوة الضياعات الميكانيكية منسوبة لواحدة السطح من المكبس فإنها عندئذ تنخفض:

- تنخفض القيم النسبية (نسبة إلى مساحة المكبس) لقوى العطالة.
- ينخفض الضغط P_B .

إذا ازداد انخفاض الضياع على التبادل الغازي P_g (عند الشحن بالضاغط الميكانيكي) على زيادة الضياع على الاحتكاك، فإن مجموعها ينخفض بزيادة ضغط الشحن، وعندئذ يزداد الضغط الوسطي للضياعات الناجمة عن الشحن الميكانيكي.

وعند الشحن الغازي يزداد P_M بسبب زيادة ضياع الاحتكاك والتبادل الغازي.

في الجدول التالي تظهر قيم b, a للمحركات غير المشحونة فسي السيارات والجرارات.

نوع المحرك	a	b
محرك ديزل	0,1-0,08	0,012-0,01
محركات الشرارة الكهربائية	0,05	0,012-0,01

والقيم الصغرى لـ b للمحركات رباعية الصمامات.

قيم b, a تخص الحالة التي يقاس P_M فيها بالميجا باسكال.

وللمحركات المشحونة يمكن استخدام العلاقة التالية لحساب الضغط الوسطي للضياعات الميكانيكية:

$$P_M = (a + bc)^2 + P_T - P_k + \frac{d \rho_k}{\rho_o \left(\frac{c}{c_{Nom}} \right)^2}$$

حيث $C = 0,1 - 0,2$ يحتسب زيادة الضياع المتعلقة بالاحتكاك،

$d = 0,02 - 0,04$ ويحتسب ضياع التبادل الغازي في المحرك غير المشحون.

$\frac{P_k}{P_o}, P_k, P_T$ تحسب تغيرات التبادل الغازي عند الشحن.

C - م/ثا. P_k, P_T - ميغا باسكال.

٢.٢ - العوامل الفعلية للمحركات:

العوامل الفعلية للمحركات هي المقادير التي تبين طبيعة عمل المحرك، وتؤخذ عن عمود المرفق عند الاستئثار. وللحصول على هذا العمل المطلوب تصمم محركات الاحتراق الداخلي.

ومن العوامل الفعلية أولاً، الاستطاعة الفعلية، وعزم الدوران (الفنل)، والضغط الفعلي الوسطي، والاستهلاك النوعي الفعلي للوقود، والمردود الفعلي.

العمل المفيد أو الفعلي للمحرك خلال دورة حرارية واحدة:

$$L_e = L_f - L_{Mf}$$

حيث:

L_M - عمل الضياعات الميكانيكية.

وينقسم هذه المعادلة على الحجم الفعال V_h نحصل على:

$$P_e = P_f - P_{Mf} \quad (4.10)$$

حيث $P_e = \frac{L_e}{V_h}$ - الضغط الوسطي الفعلي أي العمل المفيد الحاصل خلال دورة

حرارية من واحدة الحجم الفعال للأسطوانة.

ويضرب (4.10) بـ $\frac{V_h \cdot i \cdot n}{30 \tau}$ نحصل على:

$$N_e = N_i - N_M$$

حيث $N_e = \frac{P_e \cdot V_h \cdot i \cdot \eta}{30 \tau}$ الاستطاعة الفعلية للمحرك.

و N_M - استطاعة الضياعات الميكانيكية.

وإذا ضربنا (4.10) بـ $\frac{1000 \cdot V_h \cdot i}{\pi \cdot \tau}$ نحصل على:

$$M_k = M_i - M_M$$

حيث $M_k = \frac{1000 \cdot V_h \cdot i}{\pi \cdot \tau}$ العزم الفعلي للمحرك، و M_M - عزم الضياعات الميكانيكية.

المردود الميكانيكي:

$$\eta_M = \frac{L_e}{L_i} = \frac{P_e}{P_i} = \frac{M_e}{M_i} = \frac{N_e}{N_i} \quad (4.11)$$

وإذا أدخلنا 4.10 يمكن كتابة المردود كمايلي:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_i - P_M}{P_i} = 1 - \frac{P_M}{P_i}$$

ويساوي المردود الفعلي نسبة الطاقة الحرارية المتحولة إلى عمل منسوبة إلى الطاقة الحرارية الكامنة في الوقود.

$$\eta_e = \frac{L_e}{V_e \cdot \rho_v \cdot H_u} = \frac{P_e \cdot V_h}{V_e \cdot \rho_v \cdot H_u} = \frac{P_i \cdot V_h \cdot \eta_M}{V_e \cdot \rho_v \cdot H_u} = \frac{L_i}{V_e \cdot \rho_v \cdot H_u} \cdot \eta_M = \eta_i \cdot \eta_M \quad (4.12)$$

وكذلك الاستهلاك النوعي الفعلي للوقود أو استهلاك الوقود نسبة لواحدة الاستطاعة في الساعة.

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_e} \quad (4.13)$$

ومن المعادلات السابقة ينتج أنه لتحقيق عمل مفيد مرتفع واقتصادية عالية للمحرك لا يكفي الحصول على القيم العالية لـ η_i, P_i بل يجب أن تكون

الضباغات الميكانيكية للمحرك قليلة ومعها ضباغ تشغيل الضباغ أيضاً.
والعمل المهدور لضغط ودفع اكغ من الهواء في الضباغ يساوي:

$$l_k = \frac{K l'_o}{\eta_{ad}} \frac{K}{K-1} \cdot (\pi_k^{\frac{K-1}{K}} - 1)$$

حيث $\pi_k = \frac{P_k}{P_o}$ نسبة زيادة الضغط في الضباغ.

η_{ad} - المردود الأديباتي في الضباغ ويساوي نسبة العمل عند الضغط الأديباتي إلى العمل المصروف فعلياً لضغط ودفع الهواء. وهو يحسب وجود انتقال حراري وضباغ داخلي في الضباغ.
استطاعة تشغيل الضباغ:

$$N_k = \frac{L_k \cdot G_R}{\eta_{M.K}}$$

حيث G_B - تدفق الهواء في الثانية في الضباغ.
 $\eta_{M.K}$ - المردود الميكانيكي للضباغ.

وبالاستفادة من العلاقات 4.4 , 4.5 نحصل على العوامل الفعلية كما يلي:

$$N_e = \eta_M \cdot N_i = \frac{P_i \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30 \tau} \cdot \eta_M = \frac{H_u}{l_o} \cdot \frac{\eta_i}{\infty} \cdot \eta_v \cdot \rho_{o(k)} \cdot \frac{i \cdot V_h \cdot n}{30 \tau} \cdot \eta_M \quad (4.14)$$

$$M_k = M_i \cdot \eta_M = \frac{1000}{\pi \cdot \tau} V_h \cdot i \cdot P_i \cdot \eta_M = \frac{1000}{\pi \cdot \tau} V_h \cdot i \cdot \frac{H_u}{l_o} \cdot \frac{\eta_i}{\infty} \cdot \eta_v \cdot \rho_{o(k)} \cdot \eta_M \quad (4.15)$$

$$P_e = P_i \cdot \eta_M = \frac{H_u}{l_o} \cdot \frac{\eta_i}{\infty} \cdot \eta_v \cdot \rho_{o(k)} \cdot \eta_M \quad (4.16)$$

$$\eta_e = \eta_i \eta_M$$

$$N_i = \frac{P_i n}{30 \tau} \eta_M = \frac{H_u}{l_o} \cdot \frac{\eta_i}{\infty} \cdot \eta_v \cdot \rho_{o(k)} \cdot \frac{n}{30 \tau} \cdot \eta_M \quad (4.17)$$

في المحركات المشحونة باستخدام P_e ، h تجري حسابات عمل المحرك مع العوامل الفعلية لنظام الشحن.

وتسمح الحسابات بوضع القيم P_k ، T_k ، P_T الضرورية لحساب الدورة الحرارية عند القيمة المعطاة لمعامل فائض الهواء.

ويجب التنويه إلى أن حساب الدورة يعطي العلاقة $P = b(\nu)$ الذي يرسم المخطط البياني للمحرك على أساسها وهو ضروري للحسابات اللاحقة لأجزاء المحرك على المنآة.

- تأثير العوامل المختلفة على العوامل الفعلية للمحرك:

تحدد قيمة كل مؤشر فعلي للمحرك بواسطة المؤشرات البيانية والمردود الميكانيكي، وقد تطرقنا سابقاً لطرق زيادة P_T ، η_i ، والضغط الوسطي الميكانيكي P_m يمكن تخفيضه كمايلي:

- الاختيار الصحيح للنظام الحراري للمحرك والمحافظة على هذا النظام في أثناء الاستثمار.

- التصميم الجيد للمحرك وتجهيزاته المساعدة.

- جعل الاختيار الصحيح لتصميم نظم السحب والطرء وأبعادها الضخامات على التبادل الغازي في حدها الأدنى، وعند الاستثمار يجب الانتغير مقاومة النظم. نقود سطوح العناصر الزوجية المحتكة إلى الحد الأدنى المطلوب الذي يتحقق عنده الاحتكاك الموثوق للموائع وبالحد الأدنى أيضاً من أعداد حلقات المكابس.

إن اختيار السائل، وشكل الأجزاء المختلفة، والمحافظة على الشروط التقنية عند إنتاجها وتصنيعها هي مسائل هامة للحصول على احتكاك مناسب وضخامات ميكانيكية محدودة.

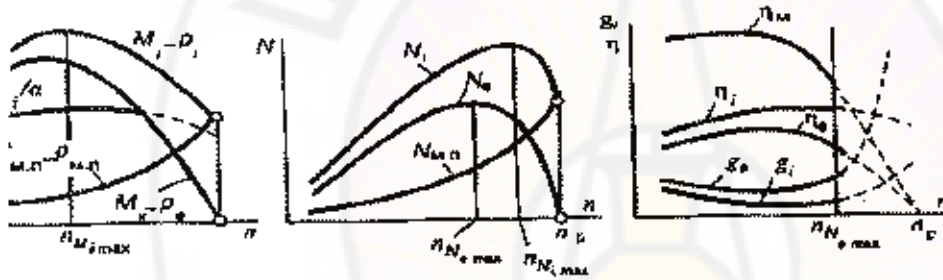
ومما يؤثر بشكل كبير التصميم الجيد واختيار الأبعاد، وسرعة الدوران

للتجهيزات المساعدة كالمراوح ومضخات الماء والزيت.

- الاختيار المناسب للمواد وتقنية إنتاج الأجزاء والعناصر المختلفة، مما يحسن تزييت العناصر الزوجية الاحتكاكية وتخفيض الضياعات على الاحتكاك.

- الاختيار الصحيح للزيوت المعدنية، حيث تستخدم الزيوت ذات اللزوجة الأدنى التي تؤمن احتكاكاً جيداً وموثوقاً، وتؤمن عملاً متواصلاً وطويلاً لأجزاء المحرك، مع فترات طويلة نسبياً لحالات تبديل الزيوت.

- استخدام الحجرات المنفردة في محركات الديزل بدلاً من الحجرات المنفصلة، حيث تنخفض الضياعات الميكانيكية.



شكل - ٦٨

ولتخفيض P_M يضاف إلى ما سبق تطوير نموذج الضاغط وأبعاده وعدد دورانه ضمن الشروط المطلوبة لتدفق الهواء وضغطه، أي للحصول على المردود الأعظمي η_M في كل مجالات العمل للمحرك. ويمكن تخفيض الهدر على تشغيل الضاغط وخاصة عند الحملات الخفيفة باستخدام طريقة تنفيس الهواء أو تخفيض عدد دوران الضاغط المرتبط ميكانيكياً بالمحرك.

وعند استخدام الشحن وخاصة التوربيني يزداد المردود الميكانيكي لأن P_M يزداد بدرجة أقل من P_i ولذلك يزداد P_e بدرجة أكبر من P_i ، ونتيجة زيادة η_M يزداد المردود الفعلي حتى عندما ينخفض η_i قليلاً عند الشحن.

وعندما يزداد مردود الشحن التوربيني ينخفض الضياع على عملية التبادل الغازي. وانخفاض η_M عند انخفاض الحمولة يفسر بأن P_M يتغير قليلاً بانخفاض الحمولة و P_i ينخفض أيضاً كما هو معروف.

وينخفض η_M بشكل حاد في محركات الشرارة الكهربائية، وهذا مرتبط بزيادة الضياع على التبادل الغازي. وعند العمل على نظام اللاحمل يكون $P_M = P_i$ ، $\eta_M = \eta$ وبزيادة زمن الدوران ينخفض η_M بسبب زيادة P_M .

إن طبيعة تغير العوامل الأساسية البيانية والفعلية تبعاً لزمن الدوران n تظهر على الشكل 68- . وبما أنه عند زيادة زمن الدوران ينخفض η_M فإن القيم العظمى لـ P_e ، η_e توافق قيم معينة لـ n أقل مما هي عليه عند القيم العظمى لـ P_i ، η_i .

ومن العلاقة 4.17 يتبين أن قيمة الاستطاعة الليترية للمحرك التي تحدد مستوى تقوية المحرك، يؤثر عليها كل من n ، P_M ، P_i (النظام الاسمي) و τ . وكذلك تؤثر إمكانية زيادة P_i ، η_M ، n_M وأيضاً استخدام الدورة الحرارية ثنائية الأشواط.

ويجب التنويه أيضاً إلى أنه في المحركات ثنائية الأشواط تتعدم الضياعات المرافقة للتبادل الغازي (السحب والطرْد). ولكن يوجد ضياع لتشغيل الضاغط.

وفي المحركات ثنائية الأشواط تكون ضياعات الاحتكاك أقل مما هي عليه في المحركات رباعية الأشواط. وتكون قيمة الضغط البياني الوسطي أقل. والقيم الصغرى لـ P_i تؤثر على η_M بدرجة أكبر، وكذلك يؤثر الضياع على الضاغط.

لذلك يكون مردود η_M في المحركات ثنائية الأشواط أقل قليلاً مما هو عليه في المحركات رباعية الأشواط، وهذا بسبب تأثيراً سلبياً على الاستطاعة

الليترية عند الانتقال من محرك رباعي إلى محرك ثنائي الأشواط، إضافة لتأثير P_i .

ومعلوم أن الاستطاعة الليترية للمحركات البنزينية هي أعلى مما في محركات الديزل بسبب زيادة سرعة الدوران الاسمية.

وفي الجدول التالي تظهر العوامل الفعلية لمحركات السيارات والجسرات على النظام الاسمي:

نوع المحرك	η_M	η_e	g/kwh	$P_e M.P.a$	$N_l kw/l$
- محرك رباعي الأشواط بالشرارة الكهربائية					
- دون شحن	0,85-0,8	0,38-0,27	215-303	1,3-1,1	60 - 40
- مع الشحن	0,9-0,8	0,32-0,52	256-327	1,6-1,4	80 - 70
- محرك ديزل رباعية الأشواط					
- دون شحن	0,8-0,7	0,42-0,36	202-235	0,8-0,65	20-12
- مع الشحن	0,88-0,78	0,45-0,38	188-223	حتى 1,8	50-20
- ديزل ثنائي الشوط	0,85-0,7	0,38-0,33	223-257	0,75-0,5	35- 15

٣.٢ - الحمولات الحرارية على عناصر المحرك والحالة الحرارية والتوازن الحراري للمحرك:

- الحمولات الحرارية والحالة الحرارية لأجزاء المحرك وعناصره:
الحمولات الحرارية هي التيار الحراري النوعي المنقول من جسم التشغيل إلى سطوح الأجزاء المختلفة. فالحرارة تنقل من جسم التشغيل إلى سطوح

الأجزاء بواسطة الإشعاع أو النقل الحراري. ودور الإشعاع الحراري مرتفع ولا سيما في محركات الديزل بسبب تسويف الاحتراق التداخلي فسي هذه المحركات، والذي يرافقه تشكل غزير لهباب الفحم الذي يحترق لاحقاً بشكل جزئي. ووجود الهباب في اللهب هو السبب الرئيسي لوجود الدخان الأسود إضافة إلى زيادة خاصية الإشعاع في اللهب. وتدل القياسات على أن حرارة لهب الديزل تزيد على الحرارة الترموديناميكية الوسطية نسبة للحجم. وهي أقل من درجة الحرارة في النظام الاسمي في المحرك البنزيني بمقدار ٦٠٠-١٠٠٠ درجة مئوية.

القيم العالية لحرارة اللهب ودرجة السواد فيه يحددان النسبة العالية للحرارة المنقولة إشعاعياً من عملية الانتقال الحراري العامة (حتى ٤٥%). تتعلّق التيارات الحرارية الموضعية المنقولة بطريقة الإشعاع عبر أجزاء محددة من العناصر المختلفة للمحرك بوضعية الأجزاء نسبة إلى مخروط الوقود. ولذلك فهي ليست متساوية.

مثال لمحركات الديزل التي تقع حجرة الاحتراق فيها ضمن المكبس فإن بعض مناطق هذه العناصر كالأسطوانة أو غطاءها أو المكبس تكون معزولة بجسم المكبس عن المخروط في طور الإشعاع الشديد.

وفي محركات الشرارة الكهربائية لا تحتوي الشعلة عملياً على جزيئات صلبة. وتكون خاصية الامتصاص والإشعاع فيها منخفضة. لذلك فإن الحرارة المفقودة في الجدران إشعاعياً لا تزيد على ٢-٤% من مجمل الضياعات العامة.

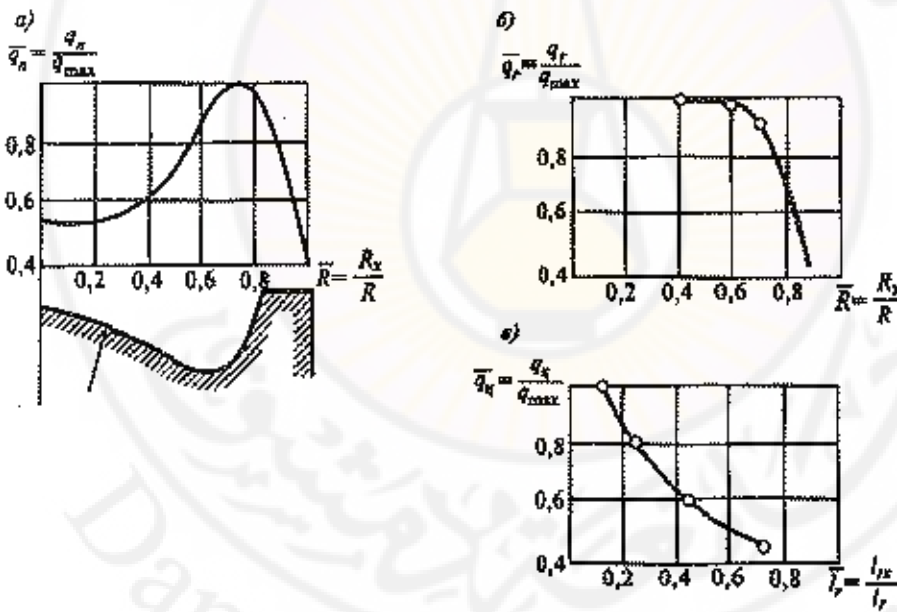
ولكن درجة حرارة جسم التشغيل داخل الأسطوانة تكون أعلى مما هي عليه في الديزل. لذلك في الظروف الموحدة (أبعاد المحرك، عدد الدوران، الاستطاعة الليتيرية) الحملات الحرارية في محركات الشرارة عن محركات

الديزل.

وتقدر شدة الانتقال الحراري بالظروف الموضوعية لعمليات المزج والانبعاث الحراري.

وتدل الأبحاث الجارية أن هناك عوامل كثيرة تؤثر على توزيع الحمولة الحرارية على عناصر المحرك منها:

شدة حركة الشحنة في الأسطوانة وطبيعتها، وفي حجرة الاحتراق أيضاً خلال شوط السحب. والأكثر من ذلك تأثير حركة الشحنة خلال عملية الاحتراق، وكذلك مسألة توزيع الوقود في حجم حجرة الاحتراق. وتؤثر أبعاد الحجرة وشكلها في محركات الديزل وفي محركات البنزين التي تستخدم الحقن المباشر للوقود. وكذلك تؤثر أعداد مخاريط الوقود وتوزيعها.



شكل - ٢٩

ويظهر بوضوح دائماً تغير الانتقال الحراري: في المحركات المكبسية، وعدم انتظام توزيع الحمولات الحرارية بين أجزاء المحرك. وينتج عدم استقرار الانتقال الحراري عن تغيرات عوامل حالة الشحنة وسرعتها وخاصة المركبات النبضية فيها وبنية اللهب (مع الزمن). ومن مواصفات عدم استقرار الانتقال الحراري التيار الحراري النوعي الأعظمي يمكن أن يزيد بعشرات المرات عن القيمة الوسطية له بالزمن. والقسم الأكبر من الحرارة ينقل في فترة الاحتراق الشديد. ويظهر عدم الاستقرار في توزيع الحمولة الوسطية بالزمن في الأجزاء المختلفة على الشكل ٦٩- وفي بعض الحالات يتغير التيار الحراري النوعي على سطوح المكبس بـ ٢,٥ مرة، وعلى سطوح غطاء الأسطوانة بـ ٢,٥ مرة، وعلى سطوح الأسطوانة بـ ٢,٣ مرة. والقيمة العظمى للحمولة الحرارية في محركات ديزل السيارات والجرارات المشحونة تصل إلى ٦٠٠ ك.وات/م^٢ أو أكثر. وهي عادة تحصل عند العمل على النظام الاسمي.

وفي محركات الديزل التي تكون فيها حجرة الاحتراق في المكبس يزداد عدم انتظام توزيع الحمولة الحرارية عند انخفاض القطر النسبي للحجرة. وفي محركات الديزل ذات الحجرة المنفصلة عدم انتظام توزيع التيار الحراري النوعي يكون أعلى مما هو عليه في المحركات ذات الحجرة الواحدة. ومستوى الحمولات الحرارية بنسبة كبيرة درجة تقوية (الاستطاعة الليترية). وهي عادة أعلى في المحركات ثنائية الشوط. وتزداد الحمولة الحرارية بوضوح عند زيادة حمولة الديزل، وزمن الدوران، P_k , T_k . وعند حمولة خارجية معينة يمكن تخفيض الحمولة الحرارية (بزيادة α) بطريقة اختيار نظام الشحن وإدخال عملية تبريد للهواء المشحون. وبزيادة زاوية تسبيق الحقن (الإشعال) تزداد الحمولة الحرارية نتيجة زيادة الضغوط العظمى ودرجات

الحرارة العظمى خلال الدورة الحرارية.

وبمرور الزمن وبعد بداية استثمار المحرك الجديد، تنخفض التيارات الحرارية المنقولة من جسم التشغيل إلى الأجزاء، نتيجة ترسب نواتج الاحتراق وبقايا الزيوت والوقود على الأجزاء المختلفة وبعدها يلاحظ استقرار التيارات الحرارية المنقولة.

وعند العمل على النظم الانتقالية غير المستقرة بتغير التيارات الحرارية المنقولة من جسم التشغيل إلى الأجزاء من دورة حرارية إلى أخرى. والتغير الحاد للحمولات الحرارية الوسطية خلال الدورة الذي يحصل نتيجة التسارع والتحميل، ونتيجة تخفيف الحمولة، أو إيقاف المحرك يسمى الصدمة الحرارية. وتؤثر طبيعة الصدمة الحرارية وتواترها على جودة عمل المحرك. - مصطلح الجهد الحراري يستخدم لبيان وكشف مجموعة الظواهر المتعلقة بالحالة الحرارية لأجزاء المحرك.

وتؤثر الحالة الحرارية لأجزاء المحرك على خصائص المتانة للمواد المصنوعة منها، ويزداد تراكم المواد على الأجزاء، وتؤثر على ظروف التزيت، والاحتكاك، والتآكل، وعلى الجهد في عناصر الآلات. وتبين التجارب أنه لمنع تماسك حلقات المكابس في مقارها يجب ألا تزيد درجة الحرارة تحت الحلقة العليا عن ٢٥٠ درجة مئوية. ولمنع تراكم المسود الكربونية في تقوُب الحاقن يجب ألا تزيد درجة حرارة المخروط فيه عن ١٨٠-٢٠٠ درجة.

وهذه المقادير الحرارية هي أولية لأن تراكم الشوائب لا يتعلق فقط بدرجة الحرارة بل بتصميم الأجزاء المختلفة والظروف الأخرى غير الحرارية المتعلقة بعملها، ونوعية المواد (منها الوقود والزيوت) وتكنولوجيا تصنيع الأجزاء المختلفة وغيرها.

وتؤثر درجة حرارة الأجزاء المختلفة على درجة حرارة التشغيل للزيوت المعدنية وتبعاً لذلك تؤثر على اللزوجة وسماكة طبقة الزيت الفاصلة بين الأجزاء المحتكة فيما بينها، وطبيعة الاحتكاك، والأخير مع خاصية المواد تجاه التآكل يحددان درجة التآكل . وعند الظروف الحرجة يمكن الانتقال من حالة الاحتكاك الرطب إلى الاحتكاك الحدي أو نصف الجاف.

إن درجة تقوية الديزل بطريقة الشحن هي الأخرى محدودة بعامل الحالة الحرارية لأجزاء المحرك. والأكثر تعرضاً للحرارة هو غطاء الأسطوانة والمكبس، والحالة الحرارية للأسطوانة هامة أيضاً لأنها تؤثر بشكل كبير على حالة المكبس الحرارية.

وتفقد عملية الشحن إلى زيادة الحمل الحراري على الأجزاء، والحمولة الحرارية العظمى تقع في وسط غطاء الأسطوانة. والحمولة الحرارية على المكبس أقل قليلاً، والحمولة على الأسطوانة أقل من حمولة الغطاء بـ ٤-٥ مرات.

إن عدم انتظام توزيع الحمولة الحرارية على أجزاء المحرك واختلاف المقاومة الحرارية في المناطق المختلفة من الأجزاء هي سبب التوزيع غير المنتظم لدرجات الحرارة، إذ إن المستوى الحراري بالقرب من سطح رأس الأسطوانة المصنوع من الحديد يمكن أن يبلغ ١٨٠ درجة، والمكبس المصنوع من الألومنيوم ١٠٠ درجة والأسطوانة المصنوعة من حديد الصب ٧٠ درجة. هذا وقد بينت التجارب العملية أن الحرارة العظمى لرأس الاسطوانة المصنوع من حديد الصب، والمكبس من الألومنيوم يجب أن لا يزيد على ٣٥٠ درجة، والرأس المصنوع من الألومنيوم ٢٤٠ درجة، والأسطوانة ١٦٠-١٨٠ درجة.

ونسبة للأسطوانة يجب وضع حد للحرارة الدنيا بسبب تأثيرها على تكاثف

بخار الماء، خصوصاً عند استخدام وقود يحتوي على الكبريت، والأرقام المعطاة يجب النظر إليها كقيم أولية، لأن الحرارة الحدية المسموحة يؤثر عليها تصميم أجزاء المحرك وبعض الشروط الأخرى المتعلقة بعملها. وترتبط طرق التحكم بالحالة الحرارية، بالعوامل المحددة لها. إن تصميم الأجزاء والمواد المستخدمة وظروف التبريد تتوافق مع مستويات معينة مسموحة للحمولات الحرارية.

وجرت في السنوات الأخيرة محاولات لتحقيق العمل الموثوق للمحركات مع انخفاض في عملية النقل الحراري عند الحرارة العالية لسطوح الأسطوانة، باستخدام مواد تزييت خاصة. ولتخفيض حرارة المكابس تستخدم تصاميم قابلة للتبريد، وتستخدم مواد تغليف عازلة للحرارة.

وعند تصميم نظم التبريد يتم زيادة شدة التبريد للأجزاء الأكثر تعرضاً للحرارة من المكبس دون زيادة في كمية الحرارة المنقولة إلى نظام التبريد. وفي أثناء الاستثمار تزداد الحالة الحرارية للمحرك بسبب:

- عند استثمار محرك الديزل من دون المحافظة الآلية لمعامل فائض الهواء في ظروف العمل في المرتفعات أو عند الحرارة العالية جداً للجو المحيط.
- تراكم الشوائب والمواد المختلفة في قمصان تبريد المحرك.
- الخلل في عملية الاحتراق الطبيعية عند استخدام وقود بمواصفات غير مناسبة.

عند استثمار الديزل في ظروف انخفاض كثافة الهواء يستحسن إعادة النظر في كمية الوقود العظمى. ومن المهم جداً المحافظة على استقرار الجودة الحرارية والمقاومة

الهيدروليكية لمبرد الهواء المشحون.
ومن المهم أيضاً المحافظة على ظروف تبريد الأجزاء المطلوبة خلال فترة الاستثمار، لذلك يجب التخلص من الشوائب المترakمة في عناصر نظام التبريد.

والنسبة الآمنة لدرجة تقوية المحركات بنظام الشحن تتعلق بدرجة كبيرة بطريقة المزج المتبعة ونوع حجرة الاحتراق.

عندما تكون $\frac{d_{ec}}{D}$ لحجرة الاحتراق، وعند المزج اللامتساخر، يتحقق التوزيع المنتظم للحمولة الحرارية على سطوح الأجزاء، والنتيجة هي انخفاض الفروق الحرارية، وهذا يؤمن إمكانية استخدام درجة تقوية أعلى للمحركات بطريقة الشحن القسري دون زيادة درجة حرارة الأجزاء المختلفة للمحرك. وفي محركات الشرارة الكهربائية يجب التخلص من ظاهرة الصفع والاحتراق غير الطبيعي.

- التوازن الحراري للمحرك:

التوازن الحراري للمحرك أو التوازن الحراري الخارجي هو التوزيع المحسوب عملياً لحرارة المعطاة للمحرك من الوقود في الاتجاه المفيد وفي أنواع الهدر المختلفة.

$$Q_o = Q_r + Q_h + Q_{br} + Q_c + Q_n + Q_a$$

حيث Q_o - كمية الحرارة المعطاة للمحرك من الوقود خلال فترة زمنية محددة.

وهي خلال ساعة تساوي: $Q_o = G_r \cdot H_u$

Q_c - كمية الحرارة المتحوّلة إلى عمل مفيد وهي تساوي: $Q_c = G_r \cdot H_u \cdot \eta_c$

Q_h - كمية الحرارة المنقولة إلى سائل التبريد . وهي تساوي:

$$Q_h = C_h (t_2 - t_1) G_h$$

حيث G_{H_1}, C_{H_1} - السعة الحرارية النوعية، وتدفق سائل التبريد.
 t_1, t_2 - درجة حرارة السائل على مخرج ومدخل نظام التبريد.
 Q_M - كمية الحرارة المنقولة إلى زيت المحرك. وتحسب كما في حالة نظام التبريد عند وجود مبادل حراري خاص لتبريد الزيت.
 Q_L - فقدان الحرارة في الغازات العادمة.

$$Q_{\tau} = G_{\tau} [M_2 \cdot \mu_{ep}'' \cdot t_r - M_1 \cdot \mu_{ep}' \cdot t_k]$$

Q_H - الحرارة التي لم تنطلق في المحرك جراء عدم اكتمال عملية الاحتراق. ولتحديدها يجب معرفة تركيب نواتج الاحتراق وطاقة الاحتراق لكل غاز من نواتج الاحتراق. عندما تكون $1 < \infty$ لا يحسب هذا المركب من الحرارة، والطاقة الحرارية المطابقة له تضاف إلى Q_H ، وعند $1 < \infty$ يمكن حساب الحرارة التي لا يمكن أن تتبع نظرياً بسبب عدم كفاية الأكسجين بالعلاقة $Q_{ch} = \Delta H_H \cdot G_{\tau}$ وتضاف عندئذ الحرارة المطابقة للفرق بين Q_{ch} ، Q_H إلى Q_H .

وتتضمن الحرارة Q_H إضافة إلى الفرق $(Q_H - Q_{ch})$ ، الحرارة المنتشرة في الجو المحيط من خلال السطوح الخارجية للمحرك وتجهيزاته، والحرارة المطابقة للطاقة الحركية للغازات العادمة.

الحرارة Q_H, Q_M, Q_L تستخدم عند حساب نظم التبريد والزيت ونظام الشحن. وطبقاً لقيمة Q_H يمكن الحكم على مستوى جريان عملية الاحتراق وتحديد وسائل زيادة الاستفادة من الطاقة الحرارية.

ويدخل في Q_H أيضاً الحرارة المنقولة من الغازات إلى سائل التبريد في مجرى الخروج والقسم الأكبر من الحرارة المطابقة للضغوطات الميكانيكية والقسم الباقي من الأخيرة ينقل عبر الزيت وينتشر عبر سطوح المحرك الخارجية.

وعلى المردود η_i لا تؤثر كمية الحرارة المنقولة من جسم التشغيل إلى سائل التبريد فحسب بل تؤثر أيضاً علاقة هذه الضياعات بموقع المكبس، ولتحليل تأثير الضياعات الحرارية على η_i يجب احتساب التوازن الحراري الداخلي الذي يعطي التصورات الضرورية عن ديناميكية هذه الضياعات وتحويل الحرارة إلى عمل.

والتوازن الحراري يمكن حسابه بالنسبة المئوية من الطاقة الحرارية المعطاة للمحرك من الوقود وعندئذ يكون:

$$100 = q_e + q_h + q_M + q_r + q_n + q_o$$

حيث:

$$q_e = Q_e \frac{100}{Q_o}, \quad q_h = 100 \frac{Q_h}{Q_o}, \quad q_M = Q_M \frac{100}{Q_o} \dots \dots \dots \text{الخ.}$$

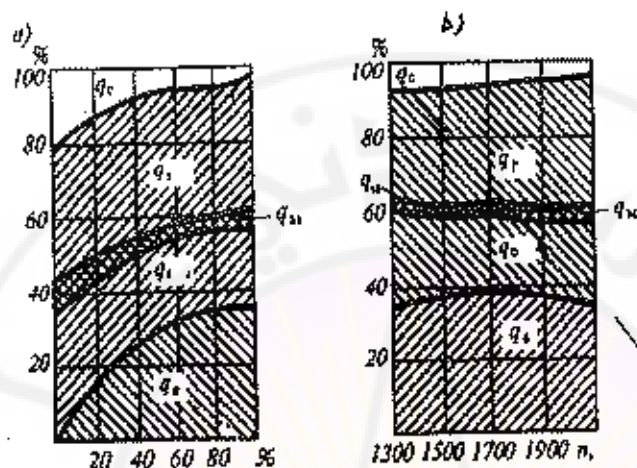
ويتضح من الشكل - ٧٠ a أنه في نظام الحموله الكامله يكون أكبر مركبات التوازن الحراري هو الضياع المرافق للغاز العادم، والطاقة المفيدة. والحرارة المنقولة إلى سائل التبريد أقل، وهذا مرتبط جزئياً بسبب كون المحرك المدروس هو ديزل مشحون.

والعلاقة بين q_e ونظام العمل مدروسة فيما سبق، والضياع q_h ينخفض بزيادة الحموله، وزمن الدوران. والأخير مرتبط بالتأثير المتعلق بانخفاض زمن التبادل الحراري.

ونسبة الضياع في غاز العادم لا تتأثر كثيراً بالحمولة وتزداد بزيادة زمن الدوران ومن الشكل - ٧٠ b نرى أنه على طبيعة $q_r = f(n)$ يؤثر انخفاض زمن تبريد نواتج الاحتراق المتعلق بزيادة n .

إن طبيعة تغير q_M مع نظام العمل يكون بسبب تغير نسبة العمل البياني المفقود على الضياعات الميكانيكية.

والحرارة Q_a المتبقية لاتتعلق كثيراً بنظام العمل، لذلك تزداد q_m عند انخفاض زمن الدوران وخاصة عند انخفاض حمولة الديزل.



شكل - ٧٠

الفصل الخامس

نظم التغذية في المحركات

تقوم نظم التغذية في محركات الاحتراق الداخلي بتخزين كمية مناسبة من الوقود، وتعطيه للأسطوانات بكمية محدودة في طور معين من أطوار الدورة الحرارية، وتؤمن عملية مزج نوعية على جميع أنظمة العمل بما فيها حالة الإفلاع.

١- نظم التغذية في المحركات العاملة بالشرارة الكهربائية:

هذه النظم تؤمن التغذية في المحركات العاملة بالببنزين والعاملة بالوقود الغازي.

تحصل الاستطاعة العظمى في هذه المحركات عند العمل بالخلائط الغنية بالوقود ($\alpha_M < 1$) وعندما يكون صمام التحكم بالمزيج (صفيحة المزيج) مفتوحاً بالكامل. والاقتصادية الأعلى على الحملات الجزئية تبلغ عندما تكون $\alpha_{EC} = \infty$. وكلما كانت الحمولة أكبر عند دوران معين، وطبقاً لذلك يكون التخلخل (ΔP_d) في الاختناق أكبر، كانت α_{EC}, α_M أكبر. شكل - ٧١.

وتتكرر نفس التغيرات لـ α_{EC}, α_M عندما يزداد زمن الدوران (عند الوضعية الثابتة لصمام التحكم (ΔP_d)).

وعندما يكون صمام التحكم مفتوحاً بالكامل نستخلص من المحرك استطاعة عظمى، ولذلك فإن تركيب المزيج يجب أن تحدده النقطة C على المنحني 2. وبذلك فإن الخاصية المنثلى للمزيج عند دوران معين تظهر على الشكل - ٧١ عبر المنحني ABC.

وهذه الخصائص لا تنطبق عند اختلاف زمن الدوران، لأنه عند $\Delta P_d = const$

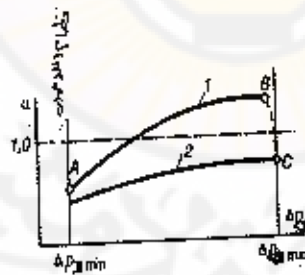
وزيادة π وانفتاح الصمام المرافق يجب إغناء المزيج.

ويؤمن التحكم بتركيب المزيج طبقاً للمنحني 1 أو 2 الحصول على مؤشرات القدرة والمؤشرات الاقتصادية المثلى. وفي بعض الحالات يحتاج التحكم بتركيب المزيج إلى التراجع عن ∞_H أو ∞_{LC} . للحصول على المؤشرات البيئية المعيارية.

١.١ - نظم حقن البنزين :

أهم إيجابيات هذه النظم هي:

- التغذية المنفصلة لكل من الهواء والوقود، ونتيجة لذلك فإنه عند كمية الواحدة من الهواء يمكن أن تكون كمية الوقود مختلفة.
- التغذية بالوقود (كمية الوقود) دقيقة على جميع النظم الاستثمارية.
- التلاؤم الجيد لنظام الوقود مع مقاومة ظاهرة الصفع، والمشاركة الدقيقة مع أنظمة التحكم الأخرى في المحرك (الاشتعال، الشحن القسري وغيرها).
- تحسين مؤشرات القدرة، والمؤشرات الاقتصادية والبيئية للمحرك.
- أنظمة حقن البنزين ويمكن تصنيف وفق ثلاث حالات أساسية شكل - ٧٢.



شكل - ٧١

أولاً- البنزين يمكن حقنه في مجرى المسحب (الدخول) شكل - ٧٢ a, b أو مباشرة في الأسطوانة شكل - ٧٢ c.

ثانياً- الحقن يمكن أن يكون موزعاً شكل -٧٢ a عندما يحقن البخاخ البنزين في منطقة صمامات السحب في كل أسطوانة. والطريقة الأخرى - الحقن المركزي ويحصل من خلال بخاخ وحيد شكل -٧٢ b مركب على مجرى السحب في الجزء الأول منه الذي يسبق تقريفة المجرى (مكان المفحم).

ثالثاً- يمكن أن يكون الحقن الموزع على مراحل، وذلك عندما يتم الحقن من كل بخاخ في لحظة من الزمن دقيقة جداً متزامنة مع انفتاح صمامات السحب في الأسطوانة. وهي طريقة الحقن الأفضل.

وعند الحقن اللامرحلي (الموحد) يجري الحقن في منطقة صمامات السحب، ويعطى الوقود من قبل جميع البخاخات في آن معاً، وأحياناً يمكن تفرعة عملية التغذية إلى جزئين، يتم الحقن فيهما على مرحلتين يفصلهما مجال يساوي ٣٦٠ درجة (دوران عمود المرفق).

- نظام الحقن الموزع:

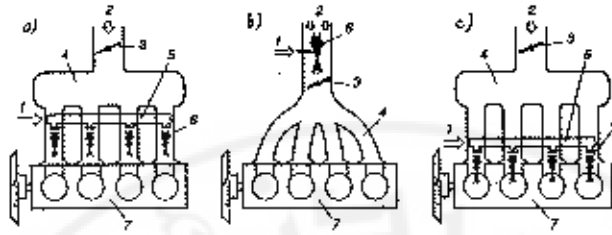
يؤمن النظام إعطاء الوقود في منطقة صمامات السحب بواسطة بخاخات كهرومغناطيسية، والعامل الحاسم للتحكم الإلكتروني المبرمج لكمية التغذية بالوقود (وجبة الوقود) هو الاستهلاك الدوري (خلال الدورة) من الهواء، الذي يقدر على أساس الإشارات الصادرة عن قياس تدفق الهواء، ودليل عدد دوران عمود المرفق.

مخطط نظام الحقن الموزع بالتحكم المبرمج يظهر في الشكل -٧٣

وعند الحقن الموزع للبنزين يتم سحب الوقود من الخزان ١ شكل -٧٤ بواسطة المضخة الكهربائية ٢ ويعدها عبر المصفاة الدقيقة ٣ إلى المجمع ٦ حيث يتم فيه بواسطة المنظم ٧ المحافظة على فرق ضغط ثابت على مسدخ ومخرج الوقود من البخاخ ٥ .

وتعتبر المصفاة ٣ أساسية ويجب أن تؤمن تصفية عالية للوقود. ومن المنظم

٧ يعود فائض الوقود إلى الخزان.



شكل ٧٢-

ومن مجمع التغذية يعطى الوقود عبر الموزع إلى البخاخات المنفردة ٥ التي تعطي الوقود في منطقة صمامات السحب. يحقن البخاخ البنزين على حواف الصمامات في المحركات التي تحتوي على صمامين للدخول في الأسطوانة الواحدة. ويدخل الهواء إلى الأسطوانات عبر مقياس التدفق ١٠ إلى مجرى السحب ٨، ويتم التحكم بكمية الهواء عبر صفيحة الخنق (صفيحة التحكم). ويتغذى نظام التحكم الإلكتروني من المدخرات ١٥ ويتم وصله بالدارة من خلال التماسات الموجودة في مفتاح الإشعال ١٦. إشارات مقياس تدفق الهواء ١٠ وموزع الاشتعال ١٣ (إشارة دوران عمود المرفق تتعالج في وحدة التحكم الإلكترونية ٤). التي تعطي نبضات كهربائية طبقاً للبرنامج الموضوع في داخلها، وتتحكم النبضات بعملية فتح صمامات البخاخ، ولها فترة زمنية محددة لكل نظام عمل من أنظمة المحرك. والأنظمة ذات الحقن المرحلي المتزامنة تقوم بتعديل ظروف المزج في الأسطوانات المختلفة، وبما أن المنظم ٧ يضبط ضغط الوقود بدقة عالية عند مستوي معين (٢٠٠-٤٠٠ ميغا باسكال) نسبة لضغط الهواء في مجرى

السحب، فإن كمية التغذية بالوقود عبر البخاخ ٥ تتعلق بالزمن الذي يبقى فيه الصمام مفتوحاً.

فترة الحقن يتم تصحيحها من قبل وحدة التحكم تبعاً لدرجة حرارة سائل التبريد (الدليل ١٢) والعامل الاقتصادي وإغناء المزيج على أنظمة التسارع تتحقق وفق إشارات الدليل ٩، الذي يرتبط ميكانيكياً مع محور صمام التحكم (صمام المزيج) وفي هذا الدليل يوجد زوج تماسات يعطي الإشارات لفصل التغذية عند العمل على نظام اللاحمل القسري.

وتفصل التغذية عند إغلاق صمام التحكم بالمزيج عندما يزيد الدوران عن ١٥٠٠ د/د وتعاد التغذية من جديد عندما ينخفض الدوران عن ٩٠٠ دورة.

ويوجد تصحيح لتوقيت عملية فصل التغذية تبعاً للحالة الحرارية للمحرك. وللمحافظة على العمل المستقر للمحرك على نظام اللاحمل بدوران معين يوجد تحكم آلي بكمية الهواء المسحوب إلى المحرك تبعاً لدرجة حرارة سائل التبريد.

على نظام اللاحمل في المحرك البارد يكون صمام التحكم بالمزيج مغلقاً والهواء يدخل عبر قناتين احتياطيتين علوية وسفلية.

وبتسخين المحرك البارد بدءاً من حرارة السائل 50-70° ، يقوم منظم الهواء الإضافي ١٤ بقطع الإمداد بالهواء. وبعدها يدخل الهواء عبر القناة الاحتياطية العليا فقط ، والتي يمكن أن يتغير مقطعها بيزال معين لتنظيم عدد الدورات عند اللاحمل.

النظام يمكنه العمل بإشارات الزراع 11، الذي يحافظ على تركيب متوازن للمزيج. وتؤدي جودة التصفية دوراً هاماً في عمل منظم الضغط ٧ البخاخ ٥ من دون أعطال. ويتم قياس تدفق الهواء عبر مقياس حراري عالي الوثوقية ويحقق بشكل مستمر مزيجاً مستقراً عند اختلاف كثافة الهواء.

ويصنع العنصر الحساس من أسلاك البلاتين بسماكة ٧٠ ميكرون ويوضع في المقطع العرضي لمجرى السحب وهو موصل في الدارة الكهربائية لجسر المقاومة.

والأسلاك تسخن بالتيار الكهربائي حتى ١٥٠ درجة مئوية. وكلما كان تدفق الهواء أعلى ازداد انتشار الحرارة من الأسلاك وازداد تيار التسخين. و تتناسب قوة التيار طردياً مع تدفق الهواء، وهي تقاس بصورة مستمرة من خلال المخطط الجسري ويتحدد بذلك تدفق الهواء. وبعد تركيب المحرك يتم تسخين سلك جهاز القياس وفق الأوامر المتقطعة لوحدة التحكم.

ويستمر التسخين لتنظيف السلك من الشوائب والأوساخ المتراكمة والتي يمكن أن تسبب حدوث خلل في الإشارات المعبرة عن تدفق الهواء. ويستخدم القياس أيضاً عنصر تحسس بشكل صفيحة معينة إضافة للسلك المعدني المذكور.

-البخاخ الكهرومغناطيسي:

إن دقة التغذية بالكمية المطلوبة وانتظام عملية التغذية في الأسطوانات تتعلق كثيراً بنوعية البخاخ.

ويظهر على الشكل -٧٥a مخطط البخاخ الكهرومغناطيسي. يدخل الوقود إلى جسم البخاخ ١ بالخرطوم عبر المصفاة ٩ ، التي تحتجز الجزيئات التي تقع مصادفة في المجرى الرئيسي للوقود.

وفي جسم البخاخ يتوضع الصمام ٤ مع مخروط التذخير ٥ (فتحة تذخير وحيدة)، و وشيعة المغناطيس الكهربائي ٢ التي تخرج نهاياتها عبر التماسات ٨ المعزولة عن الجسم.

وعندما لا يعمل المغناطيس فإن النابض ٦ يضغط الصمام إلى مفره.

ويفتح الصمام بحدود ٠.١ مم عندما يتم تغذية تماسات البخاخ بالنبضة الكهربائية. وعندئذ يجذب المغناطيس ٧ الصمام ٤ المتصل بعنصر التذير.

ويحدد انزياح الصمام بالحلقة ٣. لكن الصمام يفتح ويغلق ليس بالتزامن مع بداية ونهاية استقبال نبضة التحكم بل بتأخير معين.

زمن العمل (تأخير الانفتاح) وزمن الإغلاق (تأخير الإغلاق) لايتعلقان بفترة نبضة التحكم بل بتصميم البخاخ، وبالدرجة الأولى بتصميم المغناطيس الناقل ومادته، وكتلة العناصر المتحركة وغيرها.

وكلما كانت فترة الإغلاق قصيرة كان البخاخ سريع التأثير، و كان الخطأ في كمية الوقود أقل. ويمكن أن يحصل اختلاف في كميات التغذية الدورية في البخاخ بحدود $\pm 4\%$ عند التغذية المنخفضة و $\pm 1.5\%$ عند التغذية المرتفعة.

وعند تركيب البخاخ في مجرى السحب أي على مسافة بعيدة نسبياً عن الصمام فإن زاوية مخروط الوقود تساوي ١٥-٢٥ درجة. وعند تركيب البخاخ في رأس كتلة الأسطوانات بالقرب من الصمام ٢٥-٤٥ درجة.

ولتحسين عملية تذير البنزين عند الحملات الخفيفة، وعندما تكون سرعة الهواء حول البخاخ والتغذية ليست كبيرة، تستخدم أحياناً بخاخات ذات تذير هوائي إضافي شكل b٧٥ حيث يصل الهواء إلى قناة خاصة، من مجرى السحب قبل صمام التحكم بالمزيج حيث لا يكون التخلخل مرتفعاً. وهذا الهواء يدخل بسرعة عالية إلى مجال ثقب صمام البخاخ، ويتفاعل مع البنزين المنتسرب من البخاخ تتحسن عملية التذير. وكلما كانت الحمولة خفيفة أي التخلخل الناتج عن تيار الهواء بالقرب من فتحة التذير أكبر، كانت سرعة الهواء ودقة التذير أفضل.

-خزان الوقود :

يتأمن ضغط الوقود في نظام التغذية بواسطة مضخة كهربائية شكل -٧٦ وهذه المضخة مع محركها الكهربائي تتجمع في هيكل محكم وموحد ١ داخل خزان البنزين ، وتحل بذلك مسألة نقل الحرارة الصادرة عن المحرك . وبتخفيض الضجة الناتجة عن عمل المضخة ، وتأمين التغذية على مدخل المضخة .

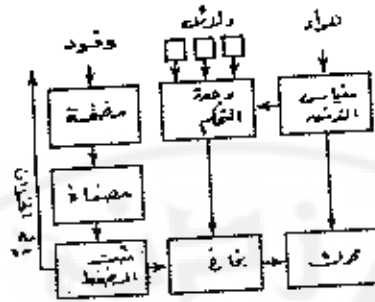
و يمكن أن تتوضع المضخة خارج الخزان أيضاً. ويزداد ضغط البنزين بمساعدة مضخة ذات جذبات أو ذات مسننات ٣، يتم تشغيلها بواسطة محرك كهربائي ٤، وهي محمية من زيادة التحميل بمساعدة صمام أمان ٢. تعمل المضخة وتغلق مع نظام الإشعال في آن واحد معاً.

والتشغيل الكهربائي يسمح بتوليد الضغط في نظام التغذية حتى عندما لا يكون المحرك في حالة التشغيل. والصمام العكسي ٥ يحتفظ بضغط متبقي في النظام بعد إيقاف المضخة . وهو ما يؤمن الإقلاع الموثوق عند الحرارة العالية للجو المحيط.

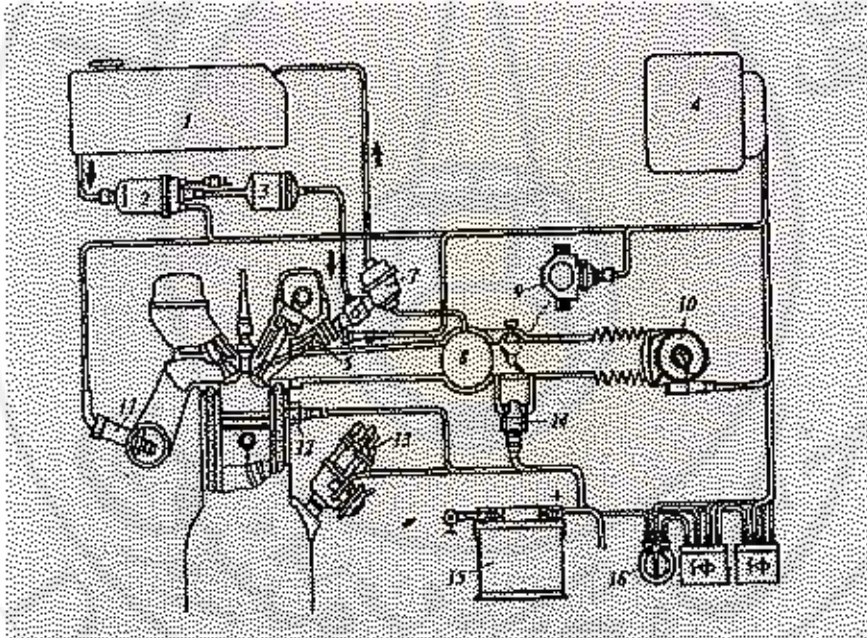
- منظم ضغط الوقود:

إن استقرار الضغط بين مقاطع مدخل ومخرج البخاخ الكهربومغناطيسي له أهمية كبيرة في دقة التغذية بالبنزين . يتصل المنظم شكل - ٧٧ عبر المأخذ ٦ مع مجرى السحب ، وعبر المأخذ ٨ إلى البخاخات يعطي ويسحب البنزين . الغشاء ٧ والصمام ٩ يقومان بعملية خنق الوقود في الخسوص الواقع بين عنصر الإغلاق (القطع) ومقر الصمام ، ويتسرب بعض الوقود الإضافي عبر المأخذ ١٠ الواقع في المجرى الرئيسي. المنظم مع الغشاء الحساس يؤمن فرق الضغط المطلوب للوقود بنسبة خطأ لا

تتجاوز $\pm 2\%$.



شكل - ٧٣

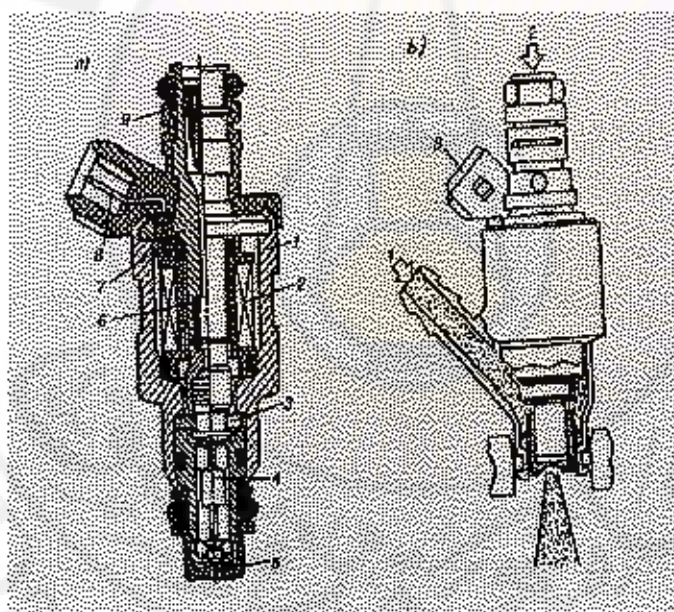


شكل - ٧٤

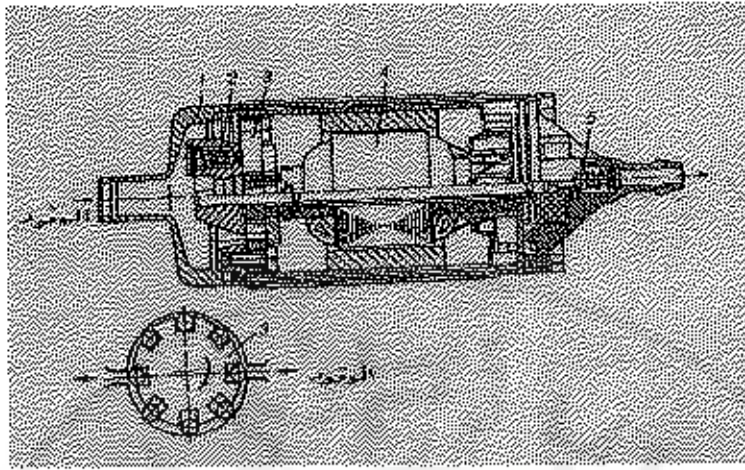
ومن مميزات الحقن الموزع :

- مسار قصير لمخروط البنزين من البخاخ إلى الأسطوانة مما يؤدي إلى انخفاض كمية طبقة الوقود وتحسين عملية تسارع المركبة.

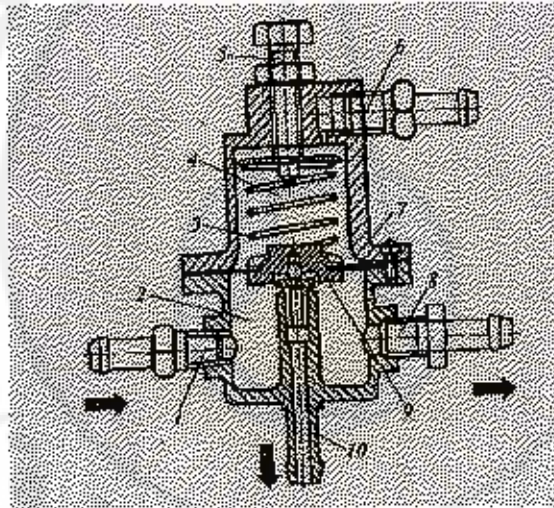
- زيادة جودة عملية سحب الهواء بسبب عدم وجود تسخين لمجرى السحب، تخفيض المقاومة الهيدروليكية لمجرى السحب نظراً لانعدام وجود المفحم، وتتوفر الإمكانية الجيدة لاستخدام الشحن الديناميكي.
- زيادة نسبة الانضغاط بحدود من ٠.٥-١.٥ بسبب انعدام تسخين مجرى السحب وانعدام تبخر البنزين وخاصة في الأسطوانة .
- يتناغم نظام الحقن الموزع مع نظام شحن الهواء .
- ونظام الحقن الموزع أقل كلفة من استخدام المفحم وهو بسيط في تركيبه وصيانتة عند الاستثمار . ولهذه الأسباب مجتمعة يزداد انتشار هذا النظام من الحقن على محركات الشرارة الكهربائية.



شكل - ٧٥



شكل - ٧٦

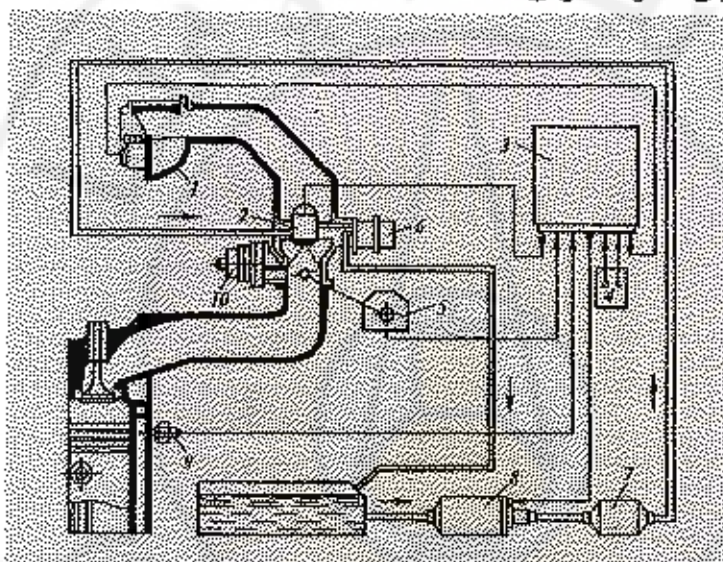


شكل - ٧٧

- نظام الحقن المركزي:

يظهر مخطط نظام الحقن المركزي على الشكل - ٧٨ حيث تسحب المضخة الكهربائية ٨ الوقود من الخزان عبر المصفاة ٧ (بضغط ١٠٠-١٥٠ ك باسكال) ومنظم الضغط ٦ ، وتحطيه إلى البخاخ الكهرومغناطيسي ٢ . ويتم التحكم بالبخاخ من قبل وحدة التحكم ٣ ، التي تأتيها إشارات من مقياس تدفق

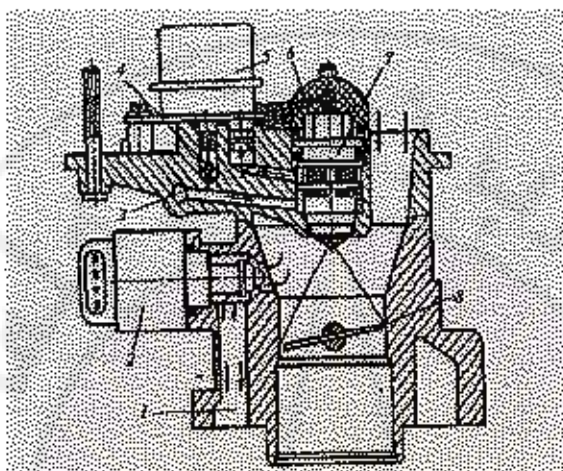
الهواء ١، ومن دلائل وضعية وسرعة انفتاح صمام المزيج ٥، وعن درجة حرارة سائل التبريد ٩ وتتلقى وحدة التحكم التغذية من المدخلة الكهربائية ٤ .
البخاخ ٧ شكل ٧٩- مدمج مع منظم الضغط ٥ وصمام المزيج ٨ ومنظم نظام اللاحمل ٢ في مجموعة واحدة. ويأتي الوقود إلى عنصر التذير بالقناة ٣ ومن منظم الضغط يعود بالقناة ٤ .
يعطي البخاخ الوقود بضغط حوالي ١٠٠ ك باسكال ، وتواتر الحقن مرتبط بعدد دوران عمود المرفق.



شكل ٧٨-

أما عملية التحكم بالتغذية عند الحقن المركزي فتحل بالطرق المستعملة في نظام الحقن الموزع لذلك فإن عملية الإمداد بالوقود عند الحقن المركزي هي أفضل مما في حالة استخدام المفحم.
وهي نظم بسيطة وموثوقة ورخيصة الثمن ، إضافة لذلك فإن نظام الحقن المركزي لا يستطيع تأمين المؤشرات التي تحققها نظم الحقن الموزعة . ويفسر ذلك بوجود طبقات الوقود على جدران مجاري السحب والتي تتسبب بعدم

انتظام تركيب المزيج بين الأسطوانات. ويصبح عمل المحرك أسوأ عند التسارع نظراً لبعد المسافة بين البخاخ وصمامات الدخول . وتصبح عملية تنظيم الشحن الديناميكي لأن المقاومة الهيدروليكية لمجرى الدخول تزداد بوجود البخاخ نفسه.



شكل - ٧٩

-نظام حقن البنزين في الأسطوانة:

عند استخدام الحقن المباشر في الأسطوانة يتحقق المزج الداخلي في المحرك.

تستخدم هذه النظم في كثير من السيارات المختلفة، ولها أفاق واسعة مستقبلاً. وتستخدم نظم الحقن في أسطوانات المحركات العاملة على الخلائط المتجانسة. وفي المحركات التي تستخدم فيها الشحن الطبقي (عند الحمولات الخفيفة والمتوسطة)، لذلك يتطلب بنزيناً خالياً تقريباً من الكبريت. وهذه النظم لا تختلف عن بعضها .

و يظهر مخطط نظام حقن البنزين في الأسطوانة على الشكل - ٨٠ . في خزان الوقود ١٣ تركيب مضخة الضغط المنخفض الكهربائية، التي تعطي الوقود

عبر المصفاة ١٤ إلى مضخة الضغط العالي ١، ذات المكابس، ومنها يدخل الوقود إلى المجمع ٤ بضغط عياري دقيق (٥-١٣) ميغا باسكال .

ويتم عيار الضغط في المجمع بالمنظم ٢ الذي تتحكم به وحدة تحكم إلكترونية ١١ على أساس إشارة دليل الضغط ٣. ويسمح بتمرير جزء من الوقود على مدخل مضخة الضغط العالي ١.

ومن المجمع ٤ يدخل الوقود إلى بخاخ كهرومغناطيسي ٥ ، الذي تتحكم به صفيحة خاصة ١٠، وتتغير مقادير التغذية بالوقود كما في حالة نظام الحقن الموزع في مجرى السحب بتغيير الفترة الزمنية لنبضة التحكم التي تأتي إلى كل بخاخ بشكل متزامن .

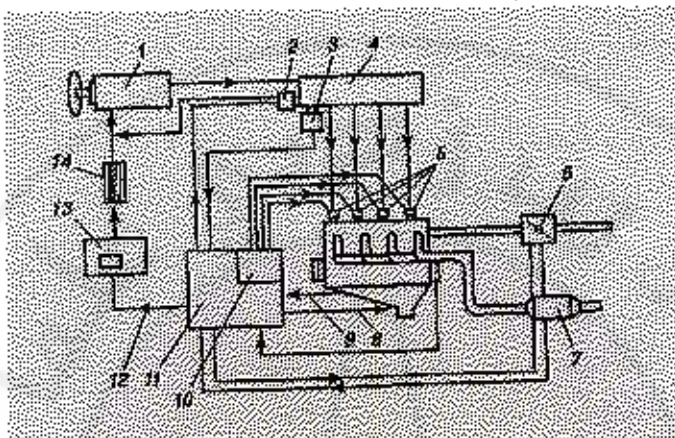
وفي المحركات العاملة على مزيج متجانس يبدأ الحقن في جميع أنظمة العمل بعد ٥-١٠ درجات بعد ن.م. ع في شوط السحب. وإذا كانت تستخدم الشحنة الطبقة على الحمولات الخفيفة، فعند العمل على الحمولات الوسطية والكاملة (عندما لا تستخدم الشحنة الطبقة) يبدأ الحقن أيضاً بعد ٥-١٠ درجات بعد ن.م. ع.

عند الحمولات الخفيفة يبدأ الحقن ($\phi_{H.13}$) على شوط الانضغاط ، وعلى نظام اللاحمل ($\phi_{H.0}$) تساوي من ١٥-٢٠ درجة من قبل ن.م. ع.

ولمنع حدوث الصفع وللحصول على شحنة نصف طبقية ، أو لتسريع عملية تسخين مانع التلوث (المحفز) تتم عملية التغذية خلال عمليتي حقن متتاليتين بفواصل يتراوح ما بين ١٨٠-٣٢٠ درجة .

والعوامل (الأوامر) الرئيسية في التحكم الإلكتروني بعملية التغذية في المحركات العاملة بالمزيج المتجانس هي إشارات: عن تدفق الهواء وزمن الدوران ، وفي المحركات ذات الشحنة الطبقة - هي الإشارة عن وضعية دعة التحكم ، والحمولة ، وزمن الدوران .

ويختلف نظام الوقود في المحركات ذات الشحنة الطبقيّة عن نظام الحقن الموزع بتغيير توقيت بداية الحقن الذي يحصل في مجال واسع (٢٥٠-٣٠٠) درجة ، وبالضغط العالي للحقن (حتى ١٣ ميغا باسكال) واستخدام الحقن ثنائي المراحل على بعض نظم العمل.



شكل - ٨٠

- مساوئ نظام الحقن المباشر بالمقارنة مع الحقن الموزع:

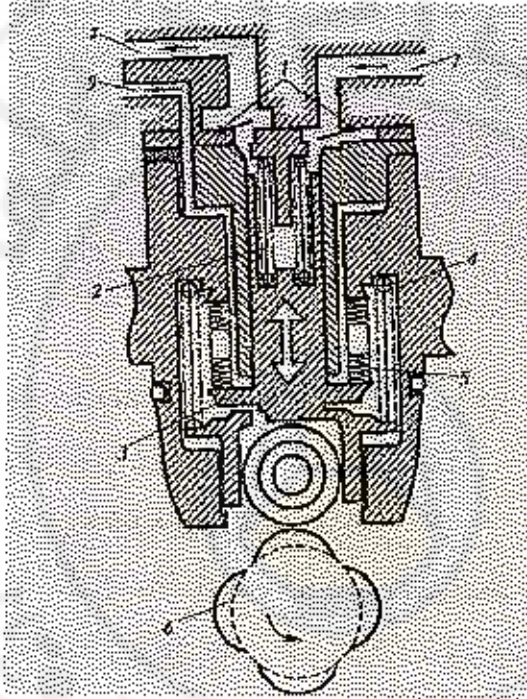
- الكلفة العالية نظراً للعمل عند الضغوط العالية.
- ظروف حرارية عالية نسبة للبخاخات.
- المحركات ذات الشحنة الطبقيّة لها نظام تحكم معقد وتحتاج إلى محفزات خاصة وبنزين خاص من جهة انخفاض نسبة الكبريت فيه (لا تزيد عن ٣٠ PPM).

- مضخة الوقود عالية الضغط:

وهي مضخة ذات مكابس غاطسة وصمامات آلية تتألف من قطاع واحد أو عدة قطاعات شكل-٨١. وعند انخفاض عددها تزداد نبضات الضغط في المجمع، وعند ازدياد أعدادها تزداد الكلفة. تنقل الحركة من الحدبة ٦ عبر الكرة إلى الصاغط ٣. وتتغلب على قوة

النايظض ٤.

والإحكام ٥ يمنع تسرب الوقود إلى أداة تشغيل المضخة. ويسحب الوقود إلى الفراغ الكائن بين جسم المضخة والضاغط (المكبس)، ومنه إلى القناة ٩. ويصل الوقود إلى الضاغط من القناة ٧ عبر الصمام البلاستيكي الآلي ١ وإلى المجمع عبر القناة ٨، والاستطاعة العظمى المستهلكة لتشغيل المضخة تساوي ٢٥٠ وات للمحرك (٢٢٠٠ سم^٣) .

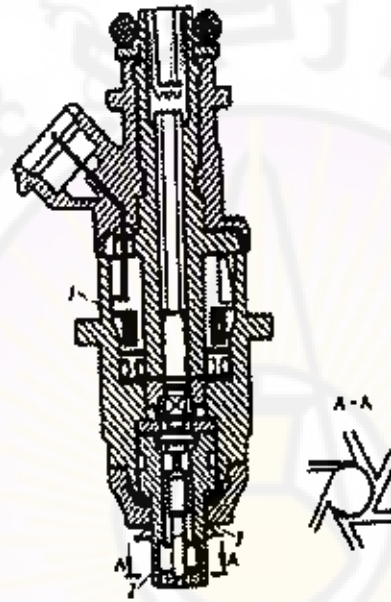


شكل-٨١

- البخاخ الكهرومغناطيسي:

وهو من أهم مفاصل نظم التغذية بالبنزين شكل- ٨٢ . وهو يؤمن التغذية الدقيقة المطلوبة بالضغط المرتفع وزمن الدوران المطلوب . يتم التحكم بعمل البخاخ بواسطة وحدة تحكم. والبخاخ في محرك الشحنة

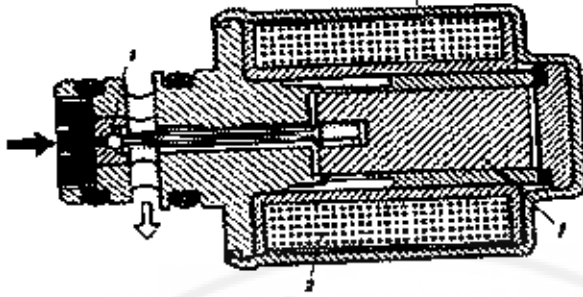
الطبقة يضع بمزدر دولامي، وهو يعطي مخروطاً أجوف. و تساوي نقطة التذير المقدرة بالقطر الوسطي وفق زواتسر ١٥ - ٢٠ ميكرون. و لاتزيد درجة حرارة المذرر على المحرك الساخن على ١١٠-١٢٠ درجة مئوية. وفي المحركات العاملة بدون شحنات طبقية (مزيح متجانس) يستخدم أحياناً مذرر بفتحة واحدة يعطي مخروطاً يتوافق مع شكل حجرة الاحتراق.



شكل - ٨٢

- منظم الضغط:

الصمام الكهرومغناطيسي شكل - ٨٣ يقوم بالتحكم بضغط الوقود في المجمع، وفي الجزء الوسطي يتغير ضغط تمرير الوقود من المجمع على مدخل المضخة. ويتم المحافظة على الضغط المعطى بطريقة فتح وإغلاق الصمام الكروي ٣. وتتغير تغذية الوشائع ٢ وفق أوامر وحدة التحكم، وهو ما يؤمن بتغيير ضغط الوقود في المجمع.



شكل - ٨٣

- نظم التغذية بالمفحومات :

يظهر مخطط التغذية بواسطة المفحم على الشكل - ٨٤ ويضم خزان الوقود ١٢ مع فتحة التعبئة ١٣ والخطاء ١٤، الدليل ١٥ مع مؤشر مستوى الوقود يبين كمية الوقود في الخزان.

يجري الوقود بالأنبوب ٩ والمصفاة الدقيقة ٧ والمضخة ٦ والأنبوب ٥ ومنه إلى المفحم ٢. ولمنع تشكيل الفقاعات في الأنبوب ٩ و٥ تكون إنتاجية المضخة أكبر من حاجة المحرك، ولذلك فإن الفائض من الوقود يعود إلى الخزان عبر أنبوب العودة الرئيسي ١٨.

ويعطى المزيج من المفحم إلى الأسطوانات عبر مجرى السحب ٣. والمفصل الرئيسي الأهم هو المفحم الذي يؤمن : الدقة في عملية التغذية ، وتأمين الحصول على مؤشرات القدرة ، والمؤشرات الاقتصادية الجيدة للمحرك على جميع أنظمة العمل ، عند الشروط البيئية المعيارية لسمية الغازات العادمة ، وإمكانية تغيير نظام عمل المحرك بشكل سلس وسريع ، وتأمين الإقلاع السريع والموثوق للمحرك والتدوير الدقيق للوقود.

- دارات المفحم :

يظهر مبدأ عمل المفحم على المخطط المبسط شكل - ٨٥ الذي يضم مجرى السحب ٧ والاختناق ٨ وحجرة المزج ٩ وصمام التحكم (صفيحة المزج) ١٠

وحجرة الوقود ١ مع الفواشة ٢ والصمام الابري ٣ وفوهة الوقود ٥ وأنبوب المذرر ٦. وعندما يكون المحرك متوقفاً عن العمل يكون ΔP من ٤-٨ مم وذلك لمنع تسرب الوقود من المذرر عند الوضعية المائلة، وقناة الموازنة ٤ تجمع حجرة الوقود مع مجرى السحب ٧ وتصلها بالهواء الجوي. وعند وصل الحجرة مع مجرى السحب تمنع إغناء المزيج عند زيادة المقاومة في مصفاة الهواء عند عمل المحرك.

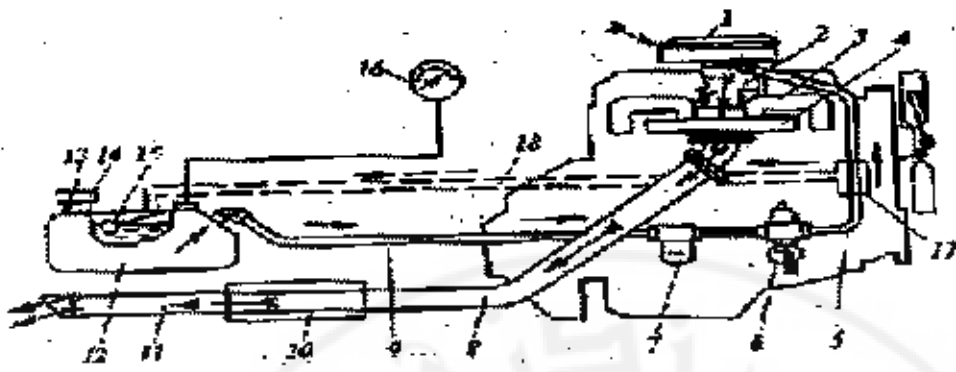
وبما أن الضغط في حجرة الوقود دائماً هو أكبر من الضغط في الاختناق عند عمل المحرك ، فإنه تحت تأثير الفرق بين هذين الضغطين يتسرب الوقود من المذرر ٦ بشكل نافورة معينة إلى تيار الهواء .

إن كمية المزيج المعطاة للأسطوانة تنظم بواسطة صمام التحكم (صفحة التحكم) ويتغير تركيب المزيج عندها آلياً.

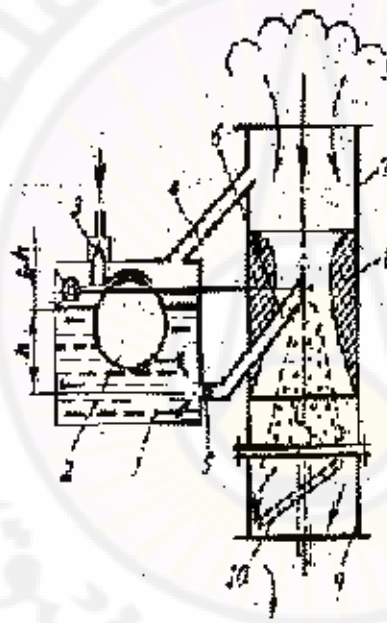
العلاقة بين تركيب المزيج والتخلخل الحاصل في الاختناق ΔP_D تسمى خاصية المفحم .

ولكي تكون الخاصية قريبة أكثر ما تكون من الجودة المثالية شكل -٧١ يزود المفحم بمجموعة من الدارات:

- الدارة الأساسية: التغيير الآلي لـ ∞ تبعاً للخاصية المثالية للتغذية وتسمى تصحيح (موازنة) تركيب المزيج . ويتم بمساعدة الدارة الأساسية للتغذية . وفي أكثر المفحومات تعمل الدارة الرئيسية لموازنة المزيج بطريقة تخفيض التخلخل الحاصل عند فوهة الوقود . وهي تضم إضافة للفوهة الرئيسية ١٦ قناة وأنبوب استلاب ١٥ وفوهة هوائية ١٤ تصل القناة بالجو المحيط أو بمجرى الدخول، شكل -٨٦ a.



شكل - ٨٤



شكل - ٨٥

تبدأ الدارة بالعمل عندما يصبح ΔP_D كافياً لرفع الوقود في المذرر لمسافة Δh أي عندما تكون $\Delta P_D > \Delta h \cdot \rho_T \cdot g$ شكل ٨٦ ب .

وطالما أن $\Delta P_D < (h + \Delta h) \rho_T \cdot g$ فإن ضغط الهواء في القناة ١٤ الشاقولية يساوي الضغط الجوي ، وعندئذ يتسرب الوقود من المذرر ومن القناة أيضاً بكمية أكبر مما يدخل عبر فوهة الوقود ١٦ . ولذلك ينخفض المستوى في القناة الشاقولية ، وعندما ينخفض إلى مستوى الفتحة القطرية العليا في الأنبوب ١٥ : $\Delta P_D = \Delta P'_D$ ، يبدأ تسرب قليل من الهواء مع الوقود إلى المذرر من القناة . وهذا الهواء يختلط مع الوقود ويشكل مستحلباً ، ولذلك سميت المفحومات ذات الدارة الرئيسية المشابهة : مستحلبة .

الفوهة الهوائية ١٤ تحد من دخول هواء المستحلب إلى القناة فيظهر فيها تخلخل ΔP_k وعندئذ يتسرب الوقود من الفوهة تحت تأثير فرق الضغط $h \cdot \rho_T \cdot g + \Delta P_k$.

وبزيادة ΔP_D ينخفض مستوى الوقود في القناة ١٤ (وفي أنبوب المستحلب ١٥) وتفتح فوهات جديدة في جدران أنبوب الاستحلاب ، وعندئذ يزداد التخلخل ΔP_k لكن ببطء ، وبما أن تسرب الوقود من الفوهة الرئيسية يحدد في هذه الحالة بقيمة ΔP_k فإن مصروف الوقود يزداد بدرجة أقل ، أي إن المزيج يفتقر بالوقود . وبذلك فإن إفقار المزيج يتم في هذه الدارة الرئيسية ليس على حساب إضافة هواء الاستحلاب إلى المزيج (وهو قليل جداً بالمقارنة بتسدفق الهواء الكلي) بل بطريقة تخفيض فرق الضغط الذي بتأثيره يتسرب الوقود عبر الفوهة ١٦ . والإفقار المطلوب للمزيج طبقاً للخاصية المثالية يتم باختيار مناسب لأبعاد الفوهات ١٤ ، ١٦ والارتفاع h .

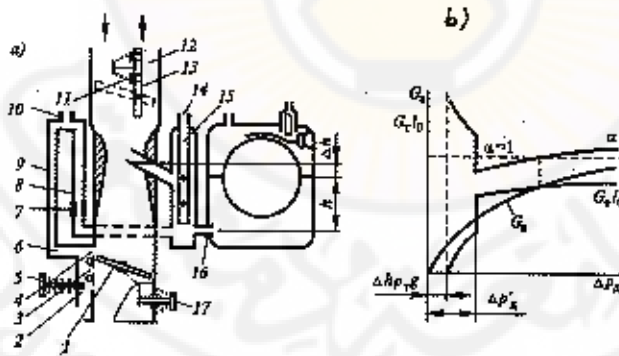
- دارات اللاحمل:

يبدأ تسرب الوقود من الدارة الرئيسية عندما يكون $\Delta P_D = 80 - 120 \text{ pa}$.

باسكال. لكن على نظم اللاحمل يكون ΔP_p أقل بكثير. ولذلك تتم تغذية المحرك عند اللاحمل بمساعدة دارة اللاحمل. هذه الدارة شكل - ٨٦ a مرتبطة عادة مع الدارة الأساسية ، ويدخل الوقود إلى فوهة اللاحمل ٧ ماراً بالفوهة الرئيسية ١٦ وبعدها بالقناتين ٨ ، ٩ وهي تقع في القناة ٦ ويختلط الوقود مع الهواء المسحوب عبر الفوهة ١٠ . وتنتهي القناة ٦ بالثقوب ٢ ، ٣ ، ٤ . ويقع الثقب ٤ في أعلى حواف صمام المزيج ومن خلاله يختلط الوقود مع قليل من الهواء

وإلى ثقوب الخروج ٢ ، ٣ يدخل المستحلب وبمساعدة البزال ٥ يتم عيار المستحلب، وبذلك يتم التأثير على تركيب المزيج (عادة على نظام اللاحمل $\infty = 0,85 - 1,0$).

ويتم التحكم بوضعية صمام المزيج ١ بالبزال ١٧ وهو يؤثر على كمية المزيج وعلى عدد دوران نظام اللاحمل . وباختيار وضعية البزال ٥ و ١٧ يمكن الوصول إلى العمل المستقر للمحرك بدوران منخفض.



شكل - ٨٦

وهنا يجب العمل بحذر شديد والابتعاد عن الإغناء الفائض للمزيج حتى لا تزداد تراكيز الغازات السامة Co و CH في الغاز العادم عن الحدود المعيارية .

وعندما يبدأ صمام المزيج (صمام التحكم) بالانفتاح فإن الثقب ٤ يسدو في منطقة التخلخل المرتفع ، ومن خلاله إلى حجرة المزيج يبدأ المستحلب بالدخول، وهو ما يؤمن الانتقال السلس إلى نظام عمل المحرك على الحملات الخفيفة .

وبازدياد انفتاح صمام المزيج تدخل الدارة الأساسية للوقود في العمل. ولكن إعطاء الوقود عبر دارة اللاحمل يستمر حتى تزداد الحملات بحدود ٤٠% أو أكثر من الحملات العظمى. وبنتيجة التأثير المشترك لهاتين الدارتين يمكن الحصول على خاصية مناسبة للمفحم عند العمل على نظام الحملات الخفيفة والمتوسطة .

-المقتصد (الموفر) في نظام اللاحمل القسري:

عند فرملة السيارة بالمحرك فإن المحرك يعمل، وصمام المزيج مغلق، بسرعة دوران مرتفعة، ويحصل على الطاقة من تجهيزات نقل الحركة للسيارة. هذه الحالة تسمى نظام اللاحمل القسري .

وعند انعدام وجود تجهيزات خاصة يصدر في هذه الحالة كثير من المواد السامة، ويزداد مصروف الزيت.

موفر نظام اللاحمل القسري يفصل التغذية من خلال دارة اللاحمل ، ويستعمل لذلك الصمام الكهرومغناطيسي ٧ الذي يقوم بقطع المستحلب عن الفتحات الخارجية لدارة اللاحمل شكل - ٩٠ .

- تجهيزات الإقلاع:

عند إقلاع المحرك يدور عمود المرفق بسرعة منخفضة (٥٠-١٠٠) دورة

في الدقيقة، وتتم التغذية بدورة نظام اللاحمل وهي محدودة وغير كافية بسبب التخلخل البسيط في قنواتها. وعند الإقلاع البارد يتحول قسم كبير من الوقود إلى طبقات، والجزء البسيط المتبخر ينتج عن الأطوار الخفيفة في تركيب البنزين .

والمزيج يبدو فقيراً للغاية ، ويصعب الإقلاع ولتأمين إقلاع جيد للمحرك البارد تستخدم تجهيزات مؤلفة من صفيحة الهواء ١٣ متوضعة في مجرى السدخول إلى المفحم ١٢ .

شكل ٨٦- a ووصلات الصفائح ١٣ و ١ مرتبطة حركياً مع بعضها، وعندما تخلق الصفيحة الهوائية (الشراقة) عند الإقلاع فإن صمام المزيج أو صفيحة المزيج على العكس تفتح قليلاً وبالقرب من حاقن (مذرر) الدارة الأساسية يتشكل تخلخل كاف لإعطاء الوقود من خلاله . وللحصول على إقلاع موثوق للمحرك البارد يجب إغناء الخليط حتى $\infty - 0.1 - 0.4$. صمام الحماية الآلي ١١ يقوم بمنع حصول الإفقار الزائد مباشرة بعد الإقلاع، عندما يزداد مصروف الهواء بشكل حاد.

ويتم التحكم بالصفيحة ١٣ يدوياً، وبعد إقلاع المحرك يجب فتحها بالتدريج، وهذا التحكم ليس جيداً على الإطلاق ، لذلك يستخدم في محركات السيارات نظام إقلاع وتسخين يتحكم آلي (مثال تستخدم نوابض وتجهيزات حساسة للحرارة) مما يسمح بتخفيض المواد الملوثة الناتجة بنسبة كبيرة على نظام الإقلاع والتسخين.

- تجهيزات إغناء المزيج:

للحصول على الاستطاعة العظمى عندما يكون صمام المزيج (صفيحة المزيج) مفتوحاً بالكامل يجب إغناء المزيج (المنحني Bc شكل - ٧١) حتى تصبح $\infty - 0.85 - 0.95$ وهذه المهمة تقوم بها تجهيزات إغناء المزيج - المقتصد

أو الموفر .

على الشكل - ٨٧ a يظهر مخطط المقتصد الميكانيكي وفيه الصمام ١ يغلق التغذية بالوقود من الحجرة إلى الفوهة ٢ للمقتصد. وعندما تقترب وضعية صمام المزيج من وضعية الانفتاح الكامل، يحرر الصمام ١ مجرى التغذية إلى الفوهة ٢. لذلك على أنظمة الحموله التامة أو القريبة منها ، يدخل الوقود إلى المذزر (الحاقن) ٣ عبر فوهتين : الرئيسية ٤ والمقتصد ٢ (يعطي من ١٥ - ٢٠ % من كمية الوقود) والانفتاح المتزامن للصمام ١ يتأمن من خلاله الرابطة والحركية التي تربطه مع صمام المزيج.

والمقتصد يمنع إفقار المزيج الزائد الحاصل بالدائرة الأساسية للوقود عند المصروف المرتفع للهواء .

وهو يحتوي على حاقن (مذزر) مركب في أعلى الاختناق شكل - ٩٠ ويأتيه الوقود من خلال الفوهة الأنبوبية ١٦ الموضوعة في حجرة الوقود . وعلى الأنظمة التي يزداد فيها مصروف الهواء يتشكل تخلخل كساف حول حاقن المقتصد، ومن خلاله يدخل الوقود.

- مضخة التسارع:

في حالة الانفتاح الحاد لصمام المزيج يمكن أن يتعرض المزيج للإفقار المؤقت نتيجة امتلاء قنوات الدائرة الأساسية للوقود ، وتحول الوقود بشدة إلى طبقات. ويحصل المزج في مرحلة التتجيل السريع في ظرف حراري انتقالي حاصل في مجرى السحب . لذلك تؤثر على المزج ماتسمى العطالة الحرارية لمجرى السحب . ولهذه الأسباب فإن تركيب المزيج الذي يدخل إلى الأسطوانة يمكن أن يخرج عن مجالات الاشتعال مما يسبب الانقطاعات في بعض الدورات الحرارية، و يبدأ المحرك العمل بشكل متقطع، أي تزداد الحموله ببطء، وكذلك زمن الدوران .

ولمنع حدوث الخلل المماثل في العمل يزود المفحم بمضخة تسارع شكل - ٨٧ b وهي تضم وصلة ميكانيكية، مؤلفة من الذراع ٩ المثبت على محور صمام المزيج ١٠. وعندما يكون هذا الصمام مغلقاً يكون مكبس المضخة ٧ في الأعلى، والفراغ الذي يوجد في أسفله يكون مملوءاً بالوقود.

وعند الانفتاح الحاد للصمام ١٠ تضغط الصفيحة ٥ على النابض ٦. وتحت تأثيرها يهبط المكبس للأسفل ويدفع الوقود عبر صمام التغذية ٤ والمذرر ٣ والفوهة ٢ باتجاه مجرى الدخول ١ في المفحم. يقوم النابض ٦ بإطالة عملية الحقن قليلاً بالزمن. وعندما يفتح الصمام ١٠ يبطء فإن الوقود عند الهبوط السلس للمكبس ٧ يتجاوز الصمام ٨ ويعود إلى الوراء إلى حجرة البنزين.

وعند حركة المكبس ٧ إلى الأعلى يكون صمام التغذية ٤ مغلقاً والصمام ٨ مفتوح والوقود يدخل إلى الفراغ ما تحت المكبس.

تظهر على الشكل - ٩٠ مضخة التسارع ٣ التي تحتوي على غشاء مرن.

- **المفحومات عديدة الحجرات:**

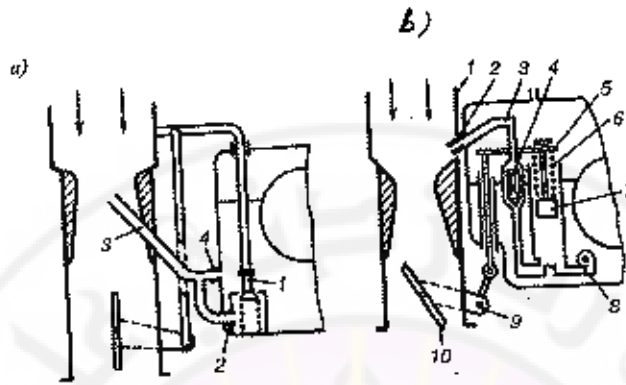
الاختناق في المفحم وحيد الحجرة يجب أن يؤمن حتى عند التدفق البسيط للهواء مايلي:

أولاً- تدرير دقيق للوقود.

ثانياً - امتلاء أفضل للأسطوانات في نظام الخنق الكامل (صمام المزيج مغلق).

وطبقاً للشرط الأول يلزم تخفيض مقطع الجريان في الاختناق، وطبقاً للشرط الثاني يلزم زيادة المقطع.

وهذا التناقض يستوجب استعمال المفحومات عديدة الحجرات ذات الانفتاح المتسلسل لصمامات المزيج شكل-٨٨.



شكل - ٨٧

هذه المفحمتان تضم حجرة وقود عامة موحدة، وحجرتين للمزيج ذات مقاطع جريان متساوية أو مختلفة في الاختناقات، ووصلة لصمامات المزيج تؤمن عند التدفق الخفيف والمتوسط للهواء تغذية المحرك عبر الحجرة الأولى 1 وعند التدفق المرتفع للهواء - عبر الحجرتين معاً. ويرافق انفتاح صمام المزيج في الحجرة الثانية دخول هواء إضافي في مجرى السحب . وبما أن بداية تسرب الوقود من مذرر الدارة الأساسية للحجرة الثانية يتأخر قليلاً عن بداية انفتاح صمام المزيج ، فإن انضمام الحجرة الثانية يمكن أن يرافقه انقطاع في عمل المحرك ناشئ عن الإقفار الكبير للمزيج . ولتكامل خصائص الدارات الأساسية للحجرتين ومنع حصول انقطاع في العمل تستخدم دائرة انتقالية شكل - ٨٨ وفيها فتحة الخروج A تتوضع أعلى حواف صمام المزيج المغلق . وبمجرد بداية انفتاح الصمام في الحجرة الثانية للمفحمة فإن فتحة الدارة

الانتقالية تبدو مقابل حواف الصمام أي في منطقة التخلخل المرتفع ويبدأ منها الوقود بالتسرب . وباستمرار انفتاح صمام المزيج تدخل الدارة الأساسية للحجرة الثانية العمل .

الحجرة الأولى تضم جميع الدارات المماثلة للمفحم وحيد الحجرة ، والثانية تضم الدارات الأساسية والانتقالية وتجهيزات الإغناء ودارة التسارع أيضاً . وصلة صمام المزيج في الحجرة الثانية يمكن أن تكون إما ميكانيكية أو هوائية، وفي الحالة الأولى تكون الحجرة الثانية مزودة بعباسارات كثيرة ، وتجهيزات التوفير .

وإذا كانت الحجرة الأولى تحتوي على موفر، فإن الحجرة الثانية في هذه الحالة تحتوي على العيارات الضرورية لإفطار المزيج وعلى المقنن . وعند الوصلة الميكانيكية لصمام المزيج في الحجرة الثانية فإن بداية انفتاحه تنطبق مع زاوية محددة بدقة (٤٥ - ٦٠) درجة من دوران صمام المزيج في الحجرة الأولى.

وهذا يعتبر أحد المساوي لأنه للحصول على تزيير جيد للوقود السوارد من الدارة الأساسية إلى الحجرة الثانية ، فإن صمامها يجب أن يفتح متأخراً عند الدوران البطيء، وباكراً عند الدوران الأعلى.

وهذا يمكن الحصول عليه باستخدام الوصلة الهوائية التي تؤمن دخول الحجرة الثانية إلى العمل عند حصول تخلخل معين (تنفق هوائي معين) في الحجرة الأولى.

مثال: في المفحم (إوزون) يتصل الفراغ الكائن فوق غشاء آلية تحريك صمام المزيج مع الاختناقات الكبرى للحجرتين بواسطة قناة شكل ٨٩- والغشاء ١ متصل بالصفحة ٨ في الحجرة الثانية بواسطة الأنزوع ٥، ٦، ١٣ . والتخلخل الإجمالي فوق الغشاء يتحدد عبر مقاطع الجريان في الفتحات الهوائية ٤، ٣.

وبزيادة دوران عمود المرفق يمكن أن يزداد التخلخل في الفراغ ما فوق الغشاء. وبعد الحصول على تخلخل معين في اختراق الحجرة الأولى، يبدأ صمام المزيج في الحجرة الثانية للمفحم بالانفتاح بفضل انزياح الغشاء للأعلى متغلباً على مقاومة النابض ٢ وعند انخفاض التخلخل يعيد النابض الغشاء وصمام المزيج في الحجرة الثانية إلى الوضعية البدائية .

صمام المزيج في الحجرة الثانية يبدأ بالانفتاح عادة (على منحنى السرعة الأعظمي) عند ١٤٠٠ - ١٦٠٠ دورة / في الدقيقة. وعند الدوران الذي يقل عن ١٤٠٠ يعمل المفحم المزدوج الحجرات كالمفحم وحيد الحجرة. عندما يكون عدد الأسطوانات ٨ أو أكثر تستخدم المفحومات ثنائية الحجرات ذات الوصل المتوازي للحجرات. وعندئذ تكون كل حجرة من الحجرات لها نفس التصميم وتغذي مجموعة من الأسطوانات.

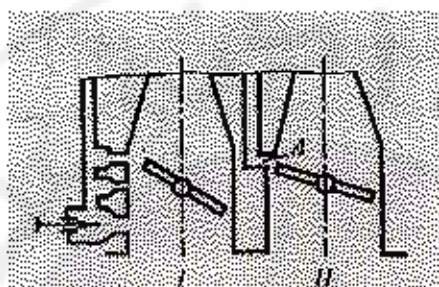
صمامات المزيج في هذه المفحومات تفتح متزامنة. وتسمح هذه المفحومات بتحسين انتظام عملية توزيع المزيج بين الأسطوانات. والمفحم رباعي الحجرات عبارة عن مفحين ثنائيي الحجرات يعملان معاً على التوازي، وبانفتاح متسلسل لصمامات المزيج وهي مصممة في هيكل واحد.

- مخطط المفحم التصميمي:

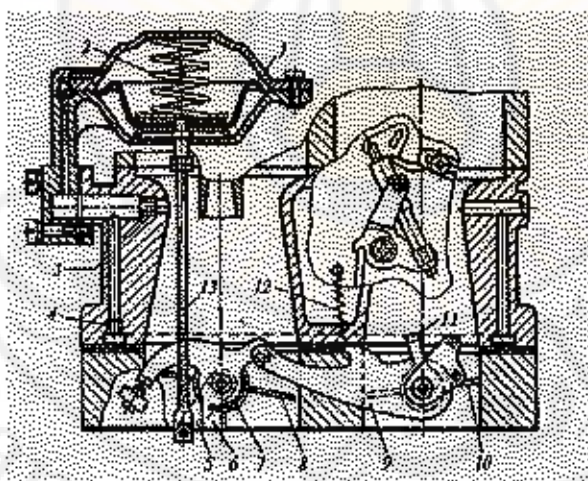
تختلف تجهيزات المفحومات بتنوع وتعقيد مخططاتها التصميمية ، ويظهر مخطط أحد هذه المفحومات الذي يعود لسيارة سياحية على الشكل - ٩٠ . المفحم هو ثنائي الحجرات له وصلة ميكانيكية لصمامات المزيج . الصمام في الحجرة الثانية يبدأ بالانفتاح عند ٥٧° بعد انفتاح صمام الحجرة الأولى، ونهاية انفتاح الصمامين على التزامن.

وفي الغطاء يثبت منفذان أحدهما لإعطاء البنزين للحجرة ٢ ، والثاني

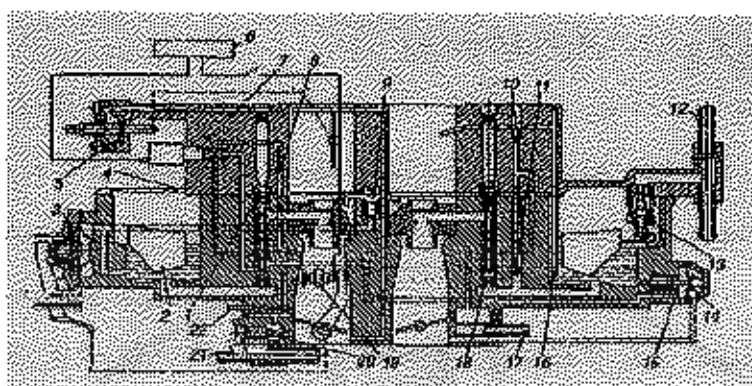
لإعادته إلى الخزان. ويثبت على الغطاء أيضاً صمام فاصل نابضي إيري ١٣ .
 . وجسم المفحم مصنوع ككتلة واحدة مع الحجرين. وفي كل قناة هوائية
 تتوضع بنية مؤلفة من اختناقين لزيادة سرعة الهواء ، والتخلخل على مخرج
 الحاقن (المذرر).



شكل - ٨٨



شكل - ٨٩



شكل - ٩٠

الدارات الأساسية للتغذية تتضمن الفوهة ١٨ للوقود والفوهة ١ للهواء ، والتي من خلالها يدخل الهواء إلى أنابيب الاستحلاب . والحقائق تنفذ إلى مركز الاختناقات الصغيرة .

وفوهة الوقود ١١ في الدارة الانتقالية لها شكل أنبوبي يحتوي في الأسفل على فتحة عيارية، تعطي الوقود والفوهة الهوائية ١٠ . ويدخل الوقود إلى حجرة المزيج من الدارة الانتقالية عبر فتحتين.

فوهة (حاقن) دائرة نظام اللاحمل تقع في الصمام الكهرومغناطيسي ٧، الذي يقطع التغذية بالوقود عند اللاحمل القسري . ومن خلال فوهة الهواء ٨ يضاف بعض الهواء إلى البنزين، والمستحلب يدخل في الفراغ بعدد صمام المزيج عبر ثقب تتم معايرته بواسطة البزال ٢٠ .

تحصل الأنظمة الانتقالية من خلال تغيير كمية المستحلب الوارد من دائرة اللاحمل عبر شق عمودي موجود بالقرب من صمام المزيج .

كمية المزيج على نظام اللاحمل ويتم عيار بالبزال ١٩ والصمام الكهرومغناطيسي ٧ تتحكم به وحدة التحكم ٦ .

وبالدلائل التماسية يتم التحكم بوضعية صمام المزيج . هذا الصمام يقطع

التغذية بالوقود من دائرة اللاحمل القسري وأيضاً عند إقفال الاشتعال . ويمكن عمل المحرك بالمزيج ذاتي الاشتعال.

المقصد ١٤ يتحكم به الصمام ذو الغشاء الذي يصل عبر قنوات مع الفراغ ما بعد صمام المزيج للحجرة الثانية. وكمية الوقود الإضافية يعطيها الحاقن ١٥ ويعدّها تدخل في الدارة الأساسية للحجرة الأولى للمفحم .

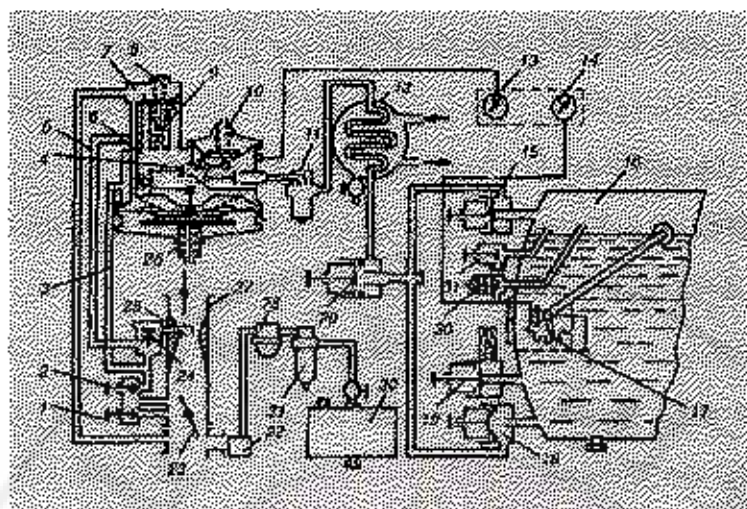
ويدخل الوقود إلى مذرر المقصد (الحجرة الثانية) عبر الحاقن ١٦. ومضخة التسارع ٣ ذات الغشاء وذات الوصلة الميكانيكية تحقن الوقود في حجرتي المفحم . في الشق الواقع بين الاختناقات الكبيرة والصغيرة .

وبعد الإقلاع تفتح الصفيحة الهوائية بواسطة آلية الغشاء ٥ وباستمرار تسخين المحرك تفتح يدوياً. وتسهيل إقلاع المحرك الساخن يستخدم صمام التوازن الذي يصل حجرة الوقود بالجو المحيط عند اللاحمل أو يعدد إيقساف المحرك ، حيث يطرد بخار البنزين من هذه الحجرة .

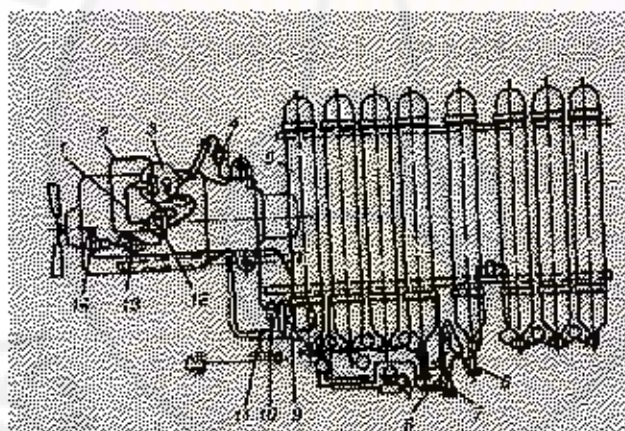
تسخن حجرة المزيج بسائل التبريد (القنوات ٢١) وهذا معمول أساساً لتسخين قنوات دارة اللاحمل .

الأنبوبان ٢٢،٢١ يقومان بتهوية حوض ومأخذ التخلخل للتحكم بالمصباح الفراغي وبالدارات المضادة للتلوث.

وما زالت دارات المفحومات محتفظ بها فقط في المحركات ذات التصميم القديم. والشركات الرائدة في العالم لم تعد تستعمل مثل هذه الدارات في النماذج الحديثة للمحركات.



شكل - ٩١



شكل - ٩٢

٢- نظم التغذية بالغاز:

عند استخدام الوقود الغازي في محركات السيارات يتحسن العامل الاقتصادي بشكل كبير وتحسن المؤشرات البيئية (نسب التلوث): ينخفض

إصدار أول أكسيد الكربون بمرتين والهيدروكربون CH بـ ٥٠ - ١٠٠% وأكاسيد الأزوت بنسبة ٢٠-٣٠% .

ولكن استعمال الوقود الغازي يؤدي إلى انخفاض استطاعة المحرك بنسبة ١٠-٢٠% والكتلة الكبيرة والأبعاد المرتفعة لتجهيزات الوقود تؤدي إلى انخفاض المؤشرات الاستثمارية للسيارة.

وعند العمل على الغاز الطبيعي ينخفض مسار حركة السيارة بمقدار الضعف، وتنخفض حمولة السيارات الشاحنة بنسبة ٢٠% وتنخفض حمولة السيارة الخفيفة أيضاً.

وعند العمل على الغاز المسال يبقى مسار السيارة كما في حالة استعمال البنزين. وآفاق استخدام الخزانات المعزولة لحفظ الغاز الطبيعي عند الحرارة (- ١٦٠) درجة مئوية هي واعدة. وتتحصر المشكلة في تخفيض الكلفة وخدمات الصيانة وزيادة الوثوقية.

وترتبط خصوصية نظم التغذية في المحركات الغازية بالخواص الفيزيائية والكيميائية للغازات النفطية المسالة والغازات الطبيعية المضغوطة.

هذه النظم تعمل بضغط مرتفع في خزانات الوقود، ولذلك لا تحتاج النظم إلى مضخات للتغذية بالوقود الغازي، ولكن من جهة أخرى تحتاج إلى مخفضات ضغط الغاز، ومسخن لمنع تجمد مكثفات الأبخرة المائية.

وعادة تكون نظم التغذية في المحركات الغازية ثنائية الوقود نظراً لوجود نظام احتياطي للتزود بالبنزين. وهذا بحد ذاته أمر سيء، لأنه في هذه المحركات نسبة الانضغاط لا تكون مثالية وطبقاً لذلك فإن العامل الاقتصادي ليس جيداً .

- نظام التغذية بالغاز المسال (البروبان -البوتان):

في الأسطوانة ١٦ شكل - ٩١ يكون الغاز بالحالة السائلة والحالة الغازية (فوق سطح الطور السائل). والضغط في الأسطوانة يتعلق بتركيب الغاز ودرجة

حرارته ولا يزيد على ١.٦ ميغا باسكال.

عند الإقلاع وعندما تكون حرارة السائل في نظام تبريد المحرك أقل من ٦٠ درجة. يسحب الغاز من الأسطوانة (الخزان) عبر صمام التصريف للطور الغازي ١٥، وصمام الطور السائل ١٨ وعندئذ يكون مغلقاً وبعد تسخين سائل التبريد إلى ٦٠ درجة يفتح الصمامان ١٥، ١٨. ويمر الغاز في صمام العلام ٢٩ متوجهاً عبر المجرى الغازي عالي الضغط إلى المسخن ١٢ حيث يسخن ويتبخر على حساب حرارة سائل تبريد المحرك. بعدها يدخل الغاز بعد المصفاة إلى مخفض الضغط ثنائي المراحل ٦، الذي يضم تجهيزات التغذية الاقتصادية ٧ (المقتصد) حيث ينخفض الضغط إلى مستوى الضغط الجوي. ويتم التحكم بتدفق الغاز و ضغطه على مخرج مخفض الضغط آلياً تبعاً للتدخل الحاصل في الاختناق، وفي الفراغ الكائن خلف صمام المزيج وذلك بطريقة تغير وضعية الصمامات التي تتحكم بمجموعة النوايض والصفائح المرنة. وعند إيقاف المحرك يقوم مخفض السرعة آلياً بقطع الإمداد بالوقود عنه.

وبعد المرحلة الثانية للمخفض يتوجه الغاز إلى المفحم - الخلاط: بسالمجرى الغازي ٣ إلى دارة اللاحمل وإلى تجهيزات التغذية الاقتصادية ٧ (المقتصد) ومنها يدخل الغاز عبر المجرى ٥ إلى الصمام العكسي ٢٤ وبعدها إلى الحاقن ٢٥ (البخاخ).

عند اللاحمل يكون صمام المقتصد (الموقر) ٩ والصمام العكسي ٢٤ مغلقين. وبانفتاح صمام المزيج بتأثير التدخل الحاصل في الاختناق يفتح الصمام ٢٤ وتبدأ عملية الإمداد بالغاز عبر البخاخ ٢٥. وبزيادة الحمولة لاحقاً يفتح الصمام ٩ وتحدث تغذية إضافية بالغاز عبر تجهيزات المقتصد. ولا توجد تجهيزات مماثلة لمضخة التسارع كما في المفحم نظراً لعدم الحاجة

لها لأن مخفض الضغط يؤمن التسارع دون انقطاعات.
تدفق الغاز يتعلق بنسبة انفتاح الصمامات وبالضغط في المرحلة الثانية للمخفض.

وينظم عمل النظام وفق مؤشرات المقياس ٣ الموجودة في حجرة السائق.
وينظم ضغط الغاز في المرحلة الأولى والثانية (يتم عيارها) ، بتغيير قوة الشد في النوابض ٨ ، ٢٦ على التسلسل .
ويتم العيار على نظام اللاحمل بواسطة البزال ٢,١ وصمام الاستناد الذي يضع حداً لإغلاق صمام المزيج ٢٣ .
والتغذية الاحتياطية بالبنزين مخصصة للعمل القصير نسبياً وتؤمن الحصول من المحرك على مقدار لا يزيد على ٥٠% من الاستطاعة الاسمية .

- نظام التغذية بالغاز الطبيعي المضغوط:

نظم التغذية بالغاز المضغوط وبالغاز المسال لها مواصفات كثيرة مشتركة.
الخزانات ٥ المملوءة بالغاز المضغوط حتى ٢٠ م . باسكال تجمع في مجموعتين شكل - ٩٢ . وبعد المسخن ٩ يدخل الغاز الذي يسخن الغازات العادمة، بعد مخفض الضغط العالي ١٠ ($P_H = 0,8 - 1,20$ ميغا باسكال) إلى الصمام الكهرومغناطيسي ٤ الذي يحتوي على مصفاة ، وهو يقوم بمهام تجهيزات التغذية لإدارة السحب في المحرك .

بعدها يتوجه الغاز إلى مخفض الضغط المنخفض الثنائي المراحل ٣ (كما في حالة الغاز المسيل) ، ويقوم بتخفيض الضغط حتى مستوى الضغط الجوي ويحدد كمية التغذية لتحضير المزيج الضروري بتركيبه.

يفصل مجرى الغاز الرئيسي عند إيقاف المحرك.

المفحم - الخلّاط ١٢ والنظام الاحتياطي للبنزين هي كما في حالة العمل على الغاز المسال. والحصول على الدقة المطلوبة في تحديد كمية التغذية وثوقيّة

عمل نظام التغذية يمر الغاز من خلال ثلاث مراحل للتصفية: على مدخل منخفض الضغط العالي، وفي صمام المقتصد، وعلى مدخل منخفض الضغط المنخفض .

ولمراقبة حالة التغذية يوجد في حجرة السائق مقياسان: للضغط المرتفع الذي يبين ضغط الغاز (احتياط الغاز) في الخزانات، والضغط المنخفض الذي يبين طبيعة وصحة الحالة العيارية لمخفض الضغط المنخفض.

- نظم التغذية في محركات الديزل:

المهام الرئيسية وأنواع نظم التغذية في محركات الديزل: تقوم نظم التغذية بتخزين كمية احتياطية من الوقود، وإعطائه للأسطوانات طبقاً لتسلسل عملها. المتطلبات الرئيسية لعوامل الحقن وتذير الوقود في الديزل وقد مرت سابقاً، إضافة لذلك يؤمن نظام التغذية الإقلاع الجيد ، وتصفية الوقود من الشوائب الثقيلة ومن الماء ، ويؤمن استقرار عوامل الحقن والتذير عند الاستئثار ، وعند التصنيع ، وإمكانية تنفيس نظام التغذية من الهواء والبخار في داخله.

- أنواع نظم التغذية :

تقسم نظم تغذية محركات الديزل إلى نظم الفاعلية المباشرة أو نظم المجمعات، وكلا النوعين من النظم قد تحتوي على تجهيزات تحكم ميكانيكية تقليدية أو كهربائية وتحكم إلكتروني .

والنظم ذات الفاعلية المباشرة تقسم بدورها إلى نظم نموذج منفصل وفيها قطاعات مضخة الضغط العالي ووحدات الحقن (البخاخات) التي تكسبون إما منفصلة وتتصل بأنابيب الضغط العالي، أو تكون موحدة : مضخة-بخاخ .

والنظم المنفصلة أكثر انتشاراً، وفي النموذج الموحد تكون المضخة والبخاخ في كتلة واحدة ولا تتوفر أنابيب الضغط العالي .

النظم الحديثة ذات المجمعات يمكن تقسيمها إلى نظم الضغط المتوسط

والعالي. ففي نظم الضغط المتوسط يرتفع ضغط الوقود في المجمع بمساعدة المضخة - البخاخ مع وصلة هيدروليكية بـ ٤-١٠ مرات ويحقق في الأسطوانات .

وفي نظم الضغط العالي يحافظ على الضغط داخل المجمع على المستوى المطلوب للحقن (٤٠-١٥٠) م. باسكال أو أكثر بمساعدة بخاخات كهرو-هيدروليكية يحقن الوقود في أسطوانة الديزل، وتنتشر نظم الضغط العالي حالياً أكثر من غيرها .

ويظهر مخطط نظام التغذية بالفاعلية المباشرة والنموذج المفتوح على الشكل ٩٣- حيث يعطى الوقود من الخزان ١٤ بمساعدة المضخة ١٢ عبر أنابيب الضغط المنخفض والمصافي الأولية (الخشنة) ١٠، والدقيقة ٩، إلى مضخة الضغط العالي ٨، بضغط ٠.٠٥ - ٠.١٥ م. باسكال.

وللتخلص من الهواء في الوقود يجري الوقود في قنوات الضغط المنخفض في المضخة (الضغط العليا) والوقود الفائض يتسرب إلى الخزان بالأنبوب ١٥. وفي بعض المحركات يدخل فائض الوقود إلى مدخل المضخة الأولية ١٢ أو إلى مدخل المصفاة الأولية ١٠. وتقوم تجهيزات خط الضغط العالي التي تضم المضخة ٨، وأنبوب الضغط العالي ٧ والبخاخ ٦، بعمليات تحديد كمية الوقود وحرقه في الأسطوانات بضغط يتراوح ما بين ٣٠-١٥٠ م. باسكال.

والمضخة متعددة القطاعات تجهز بقلادة ١٣ لتسبيق الحقن وهي تقوم بتغيير زاوية تسبق حقن الوقود عند تغيير سرعة الدوران .

- خصوصية عمليات تشغيل تجهيزات الوقود :

تجهيزات الوقود هي الجزء الأساسي الذي يولد الضغط العالي للوقود ويعطيه إلى الأسطوانات؛ وهي مضخة الضغط العالي، أنبوب الضغط العالي والبخاخ.

- عمل قطاع المضخة ذات التشغيل الميكانيكي :

على الشكل - ٩٤ تظهر اتجاهات حركات الضاغط - الكباس ٣ ، صمام التغذية ٥ وحركة الوقود في الأدوار المختلفة من عمل قطاع المضخة .

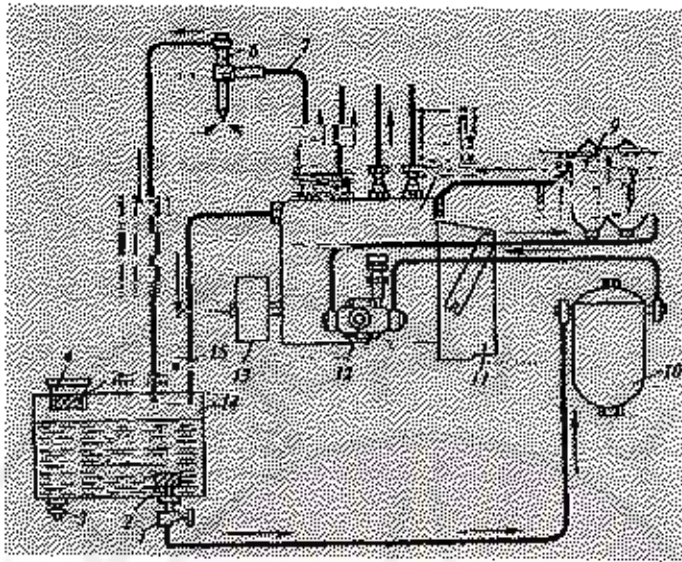
وفي الدور الأول لارتفاع الضاغط ٣ في جلبته (أسطوانته) ٢ يحدث تسرب للوقود من فوق الضاغط إلى قنوات الضغط المنخفض الموجودة في جسم المضخة، عبر فتحة الدخول ١ شكل - ٩٤a وبعد إغلاق فتحة الدخول بحافة الضاغط يبدأ الشوط الفعلي له h_0 شكل - ٩٦b .

وتحت تأثير ضغط الوقود يفتح صمام التغذية ٥ ويدخل الوقود إلى الفراغ في المأخذ ٤ شكل - ٩٤b .

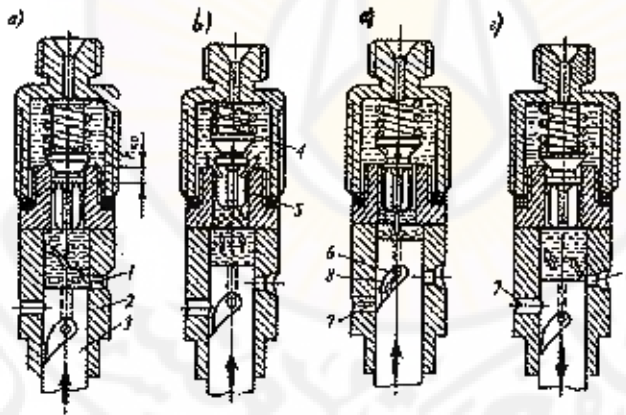
وبتأثير صمام التغذية ٥ وقدم الوقود إلى المأخذ (المدخل) ٤ ، يزداد ضغط الوقود بشكل حاد على مدخل أنبوب الضغط العالي .

وموجة الضغط المتولدة تتحرك في الأنبوب بسرعة الصوت في الوقود . وبوصولها إلى البخاخ تسبب الموجة المباشرة زيادة في ضغط الوقود في جسم البخاخ، وتفتح فتحات الحقن بعد ارتفاع الإبرة ٨. شكل - ١٠٢ ويبدأ الحقن .

فتحات التذيرير في مزرر البخاخ شكل - ١٠٣ ذات مقاطع جريان صغيرة نسبياً ولذلك يحصل ارتداد جزئي لنبضة الضغط وتولد موجات معاكسة ، تتحرك من البخاخ إلى المضخة ، وتتداخل الموجات المباشرة والمعاكسة يتشكل اهتزاز له طبيعة معقدة في أنبوب الضغط . ويمكن أن يسبب ارتداد الموجة من المضخة بعد نهاية الشوط الفعال للضاغط في تشكيل موجة مباشرة جديدة تتجه إلى البخاخ ويمكن أن تؤدي إلى انفجاره وتسبب بحقن ثانوي آخر ولذلك يمكن أن تتشكل حركة موجية للوقود على مسار التغذية في نظم التغذية ذات النموذج المنفصل عند إعطاء الوقود .



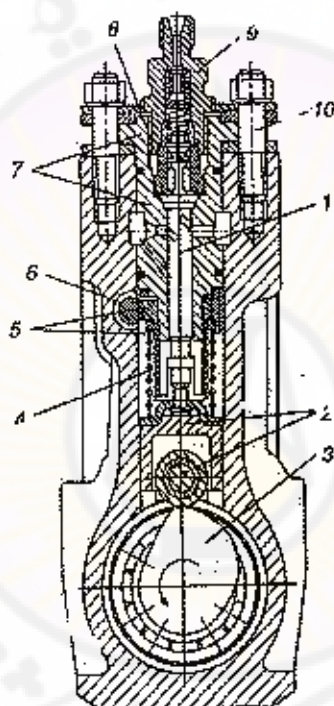
شكل ٩٣ -



شكل ٩٤ -

وينتهي الشوط الفعال للضاغط عندما تفتح الحافة ٨ النافذة ٧ شكل ٩٤ ج وتسمى هذه العملية (قطع الوقود)، والوقود عبر الفتحة ٦ والنافذة ٧ يجري

إلى خط الضغط المنخفض، وينخفض الضغط فوق الضاغط بسرعة، ويعود صمام التغذية إلى الأسفل بتأثير النابض شكل - ٩٤ c ولمنع الحقن الثانوي، يزود صمام التغذية بحجم تفريغ ارتفاعه h_k شكل - ٩٤ a. ويفضل عمل هذا الحجم كمضخة يسحب جزء من الوقود من المأخذ ٤. وينخفض الضغط في المأخذ ويحصل انقطاع في تيار الوقود وتولد فقاعات من بخار الوقود وفي الهواء الموجود فيها.



شكل - ٩٥

وهذا يخمّد الموجة المعاكسة المتحركة إلى مدخل المضخة، وهو ما يمنع ارتدادها وبالتالي يمنع حدوث حقن ثانوي.

عند حركة ضاغط المضخة نحو الأسفل يمتلأ الفراغ الذي فوقه عبر النافذة
١ شكل ٩٤-٢ وعندها يكون صمام التغذية مغلقاً، ويمنع الوقود من الجريان
العكسي من خط الضغط العالي إلى ما فوق الضاغط ، ويتأمن استقرار
الضغط المتبقي .

والضغط المتبقي هو الضغط المتوفر في منافذ مضخة الضغط العالي وفي
أنابيب الوقود وفي البخاخات بعد انتهاء عملية الحقن .
ويتم اختيار فترة الحقن ومقطع الجريان في نافذة الدخول بحيث يتأمن الامتلاء
الكامل للفراغ الذي يعلو الضاغط ، في جميع مجالات نظم عمل التغذية .
- مضخات الضغط العالي:

تصنيف مضخات الضغط العالي:

تقوم مضخات الضغط العالي بتحديد كمية الوقود (التغذية) تبعاً لوضعية
التجهيزات وإعطائها بضغط معين إلى البخاخات ، وتصنف المضخات تبعاً
لعدة حالات معينة : عدد القطاعات وتركيبها . وتقسّم إلى عديدة القطاعات،
ومتخصصة إفرادية (مركبة على كتلة الأسطوانات) أو مضخات التوزيع.
وفي المضخات عديدة القطاعات والمضخات المتخصصة (الإفرادية)، كل
قطاع يغذي اسطوانة واحدة ، شكل - ٩٣ و ٩٥ وتجمع مجموعة القطاعات في
كتلة واحدة ، والمضخات الإفرادية تتركب في مقرات خاصة بها في كتلة
الأسطوانات، وتتحرك من قبل حذبات محور التوزيع في المحرك شكل -
٩٨. في مضخات التوزيع يعطي القطاع الوقود لعدة أسطوانات، ونسبة
لطريقة تحريك الضاغط توجد مضخات قاسية ذات وصلة ميكانيكية ومضخات
ذات وصلة مرنة (غازية ، هيدروليكية أو نابضية).

ونسبة لطريقة تحديد وجبة الوقود وهي مهمة المضخات الرئيسية. وتتغير
وجبة الوقود تبعاً لنظام عمل من ٦-١٥ مرة . والقيمة الصغرى لها يمكن أن

تساوي ٥-٧ مم^٢.

في محركات ديزل السيارات والجرارات تستخدم مضخات تنظيم وجبة الوقود فيها بطريقة قطع الإمداد شكل -٩٤ وشكل -١٠٠ ، أو بطريقة الخنق على المدخل شكل -١٠١ بواسطة صمامات كهرومغناطيسية ، أو بتغيير مسار الضاغط .

في المضخات ذات التنظيم بطريقة الخنق على المدخل ، يتم التحكم بالتغذية بتغيير امتلاء الحجم ما فوق الضاغط بالوقود . ولهذا يركب الخانق في القناة التي توصل الوقود إلى نافذة الدخول . وتستخدم هذه الطريقة لتحديد التغذية في مضخات التوزيع الروتيرية ، لأنه في المضخات عديدة القطاعات وعند استخدام طريقة الحقن تتولد تعقيدات إضافية في أثناء عملية امتلاء الفراغ ما فوق الضاغط .

وفي المضخات الإفرادية تستخدم الصمامات الكهرومغناطيسية . شكل - ٩٨ للتحكم بالتغذية ، وطريقة التغذية بتغيير مسار الضاغط تستخدم في المضخات الروتيرية الموزعة وذات التحكم الإلكتروني .

مضخات التوزيع تقسم إلى قسمين أساسيين: ذات الضواغط (وحيدة الضاغط غالباً) شكل - ٩٩ وروتيرية شكل - ١٠١ ويمكن تقسيم مضخات التوزيع وفق مخطط تحريك الضواغط : ذات حديبات أسطوانية خارجية أو حديبات داخلية وتستخدم الأولى في المضخة متعددة الضواغط والثانية في المضخات الروتيرية.

والمضخات عديدة الضواغط انتشرت بشكل واسع في محركات السيارات والجرارات والقاطرات . وهي ذات كتلة (هيكل) مفتوحة ونافذة أو مغلقة شكل - ٩٥.

والهيكل المغلق أكثر متانة ويستخدم لتأمين الضغوط العالية للحقن.

الضاغط ١ شكل -٩٥ مع الدافع ٢ يقوم بحركة ترددية انسحابية تحت تأثير الحدة ٣ المتوضعة على محور حذبات المضخة ، وتأثير النوابض ٤ أيضاً.

ويتم تغيير كمية الوقود كما في الحالة المبينة شكل -٩٤ بتدوير الضاغط الذي يحتوي على حافة القطع وهي على شكل لولبي. وعند تدوير الضاغط يتغير المسار الفعال h_{ak} شكل -٩٦ وتتغير بذلك كمية الوقود المقدمة خلال الدورة الحرارية (وجبة الوقود الدورية).

تغيير وجبة الوقود يحصل بطريقة إزاحة الجريدة المسننة ٦، التي تقوم بتدوير الضاغط حول محوره بمساعدة التعشيق بين المسننات، وجلبة التدوير ٥.

على الشكل -٩٦ تظهر علاقة ارتفاع الضاغط h_p وسرعته C_p من جهة وزاوية دوران محور المضخة.

ويتم التحكم بكمية الوقود في أغلب المضخات بتغيير زاوية $\varphi_{r,k,H}$ زاوية النهاية الهندسية للتغذية عند ثبات زاوية البداية الهندسية للتغذية $\varphi_{r,H,H}$. بداية حقن الوقود في أسطوانة الديزل تتأخر نسبة $\varphi_{r,H,H}$ أساساً لأنه عند مرور موجة الضغط في الأنبوب من المضخة وحتى البخاخ تلزم فترة زمنية مساوية لنسبة طول الأنبوب إلى سرعته انتشار نبضة الضغط .

الجلبة ٧ شكل -٩٥ خلافاً للجلبة المبينة في الشكل -٩٤ لها بنية أكثر قساوة وهي مصممة لاستيعاب الضغوط العالية للحقن. وهي تشكل كتلة واحدة مع المسند الذي تتركب بواسطته على جسم المضخة بمساعدة الصامولة ١٠.

صمام التغذية ٨ والمأخذ ٩ يتوضعان في الجلبة ٧.

صمامات التغذية المركبة في مضخات الضغط العالي تختلف بتصاميمها . ويفصل صمام التغذية مسارات الضغط العالي والضغط المنخفض لمضخة الوقود في الفترات الفاصلة بين عمليات الحقن، وبذلك يمنع الجريان العكسي

للقود من مجرى الضغط العالي.

وكما ذكرنا سابقاً فإن صمام التغذية يمنع الحقن الثانوي ويحافظ على الضغط المتبقي للقود. وبمساعدة الصمام يمكن تصحيح خصائص السرعة لعملية التغذية شكل - ١٠٨.

الصمامات شكل - ٩٧ a، b تحتوي على حجم تفريغ . والصمامات الأكثر انتشاراً هي من النوع الذي يشبه الفطر شكل - ٩٧ a، والتي تحتوي في الجزء العلوي منها على رأس يشبه الفطر، وحجم التفريغ بارتفاع $h_{\text{فطر}}$ وفي الجزء السفلي يوجد الساق ٣ الذي يحتوي على أربعة أخاديد لجريان القود شكل - ٩٧ a أو أحياناً يكون الجزء السفلي أنبوبي الشكل يحتوي على الفتحة ٦ شكل - ٩٧ b. وعندما يكون الضغط المتبقي قريباً من الضغط الجوي يكون القود في حالة ثنائية الطور. الطور الغازي مؤلف من أبخرة القود والهواء الذي يتواجد مع القود ويتركز في مسار الضغط العالي بشكل فقاعات صغيرة. وهذا الطور يؤثر على عمل نظام القود عندما ينخفض الضغط المتبقي عن الجوي.

في هذه الحالات تدعى هذه الفقاعات بالحجوم الحرة المتبقية . وهي تسبب زيادة تأخير البداية الفعلية للحقن نسبة للبداية الهندسية (بداية $h_{\text{فطر}}$). الصمام الحجمي شكل - ٩٧ b الذي يضم الفتحة 5 (المروز القود) بالقرب من نطاق التفريغ يسمى مصححاً. وإضافة لهذه الصمامات تستخدم صمامات تغذية ثنائية الفاعلية . على الشكل - ٩٧ c يظهر صمام ثنائي الفاعلية مؤلف من صمامين: أساسي ٧ وعكسي ٨. عند التغذية يضغط الصمامان على بعضهما البعض بواسطة النوابض ، وعندما يرتفعان يمرر أن القود من فوق الضاغط إلى مأخذ المضخة. بعد قطع التغذية واستناد الصمام ٧ في مفرده يفتح الصمام العكسي ٨ تحت ضغط القود في مأخذ المضخة ، ويمرر قسماً من القود إلى

أعلى الضاغط وهو ما يخفف من ارتداد ضغط الموجات من المضخة بهدف منع الحقن الثانوي، ويحافظ على الضغط المتبقي المطلوب من مسار الضغط العالي الذي ينظم بواسطة نابض الصمام العكسي^٩.

مزاي المضخة عديدة الضواغط تتمثل ببساطة التصميم وجودته وملاءمتها للديزل .

ومن مساوئ هذه المضخات، ضرورة استخدام أنابيب طويلة وقارنات لتسبيق الحقن، وهي موجودة على نهاية محور الكامات ولذلك تردد حملولة القارنات تحت تأثير عزم الدوران.

إضافة لذلك وبسبب المتطلبات الصارمة المتعلقة بالغازات الملوثة في المحركات تظهر ضرورة التحكم المرن بزاوية تسبيق الحقن وبضغط الحقن وطبيعته .

في نظم الوقود ذات المضخات عديدة الضواغط، التي تستخدم التحكم الإلكتروني، فإن تغيير كمية الوقود الدورية يمكن أن يحصل بواسطة آلات تحكم (بمسنن التغذية) كهربائية أو كهرو-مغناطيسية أو كهرو هيدروليكية ، ويتغير زاوية التسبيق بواسطة قارنات هيدروليكية أو هيدرو-ميكانيكية .

وبالمضخات ذات التحكم الإلكتروني عديدة الضواغط تزود بجريدين مسننتين، إحدهما تتحكم بكمية الوقود والأخرى بزاوية تسبيق الحقن .

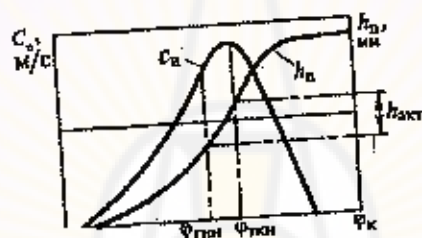
- المضخات الإفرادية المتخصصة:

المضخات الافرادية المركبة في كتلة المضخة التي تتحكم بالصمام تؤمن التحكم المرن بزاوية التسبيق ، وكمية الوقود تبعاً لعمل نظام الديزل .

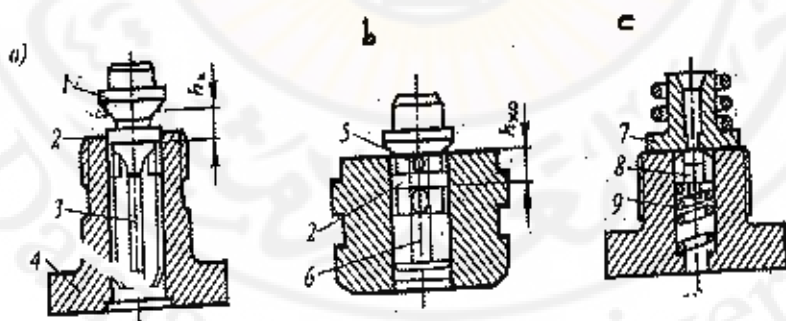
تجهيزات الوقود في هذه المضخات التي يتم التحكم بالصمامات فيها كهرومغناطيسياً وتظهر على الشكل - ٩٨ .

الحلبة التي تحرك الضاغط تقع على محور التوزيع ٧ في الديزل . والقطاع

٦ في المضخة ويركب في كتلة الأسطوانات ٥ للديزل ، والبخاخ ١ والمذرر ٣ يتوضعان في الرأس ٢ لكتلة الأسطوانات .
والقطاع ٦ كما هي في المضخة المتعددة الضواغط شكل - ٩٥ يضم الدافع مع النابض، والجلبة والضابط، علماً بأن الضابط لا يحتوي على فتحة وأخايد.
بداية الشوط الفعال ونهايته للضابط يحددها الصمام الكهرومغناطيسي ٤ وعند انفتاح الصمام يتصل حجم ما فوق الضابط مع الجريان المنخفض الضغط. وفي هذه المرحلة وعند حركة الضابط للأسفل يتم امتلاء الحجم ما فوق الضابط ، وعند الحركة للأعلى - يتسرب الوقود إلى خط الضابط المنخفض.



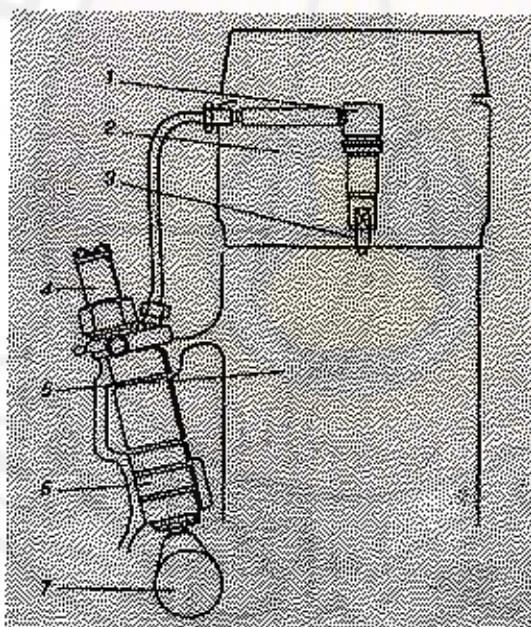
شكل - ٩٦



شكل - ٩٧

وتتحدد بداية المسار الفعّال للضاغط عند إغلاق الصمام الكهرومغناطيسي ،
وتتحدد النهاية عند انفتاحه . وبذلك يتحقق التحكم بوجبة الوقود وبزاوية تسبيق
الحقن .

والأنبوب القصير والحجم الأدنى لمنطقة الضغط العالي يسمحان بتخفيض الطاقة المهدورة لضغط الوقود ، والحصول على ضغط حقن أعلى ، وتخفيض مجال تنظيم زاوية البداية الهندسية للتغذية. إضافة لذلك تتعدم إمكانية حدوث الحقن الثانوي ، وتتعدم ضرورة وجود بعض من أجزاء المضخة (صمام التغذية ، الجريدة المسننة ، الجلبة الدورانية) وغيرها. كما تنخفض الاستطاعة المبدولة لتشغيل مضخة الضغط العالي .



شکل - ۹۸

والميزة الأساسية للتغذية بواسطة الصمام الكهرومغناطيسي تتجلى في إمكانية إجراء التحكم الإلكتروني بزاوية تسبيق الحقن وبالتغذية الدورية بالوقود ، ووصل تجهيزات الوقود مع الجملة المركبة للتحكم بالديزل .
ومن مساوئ المضخات الفردية ذات التحكم بالصمامات هي أنه عند تغيير زاوية البداية الهندسية للتغذية $\varphi_{r, n, n}$ شكل ٩٦- تتغير سرعة الضاغط في الدور الفعال ومعها يختلف التحكم بتغير ضغط الحقن وطبيعته .

- المضخات الموزعة:

تسمح هذه المضخات بالتخفيض الكبير لمادة المضخات وأبعادها (بـ ١.٥-٢ مرة) وتخفيض بعض الأجزاء الأخرى الثمينة فيها ، وتسهل هذه المضخات عملية التحكم الإلكتروني بضغط الحقن وزاوية التسبيق .
ومن مساوئ المضخات الموزعة، الصعوبات المتعلقة بعمليات التغذية الكبيرة، وضغوط الحقن المرتفعة جداً، والمتطلبات المرتفعة تجاه عملية تصفية الوقود، وصعوبة التحكم بضغط الحقن.

وهي تستخدم أساساً في محركات الديزل في السيارات الخفيفة وفي الجرارات منخفضة الاستطاعة . وهي فعالة بشكل خاص في محركات الديزل ذات الحجرة المنفصلة للاحتراق .

ويزداد حالياً استخدام المضخات الموزعة أحادية الضاغط ذات النهاية المحدبة. وفي هذه المضخات ينطبق محور الحركة مع محور الضاغط، ويدور الضاغط بسرعة دوران محور التحريك.

- المضخة الميكانيكية ٢ شكل - ٩٩ تحافظ في جسم مضخة الضغط العالي على الضغط بحدود من ٠.٢-٠.٨ م. باسكال . والضاغط ٧ يقوم بحركة دورانية وترددية انسحابية بمساعدة محور التحريك ١ ، وأربعة متدرجات ٣ ذات محاور مثبتة مع الضاغط. وتتحرك معاً، بواسطة القرص الحديدي ٤،

الذي يحتوي على أربع فجوات.

وعندما تتجاوز هذه الفجوات المتدحرجات، ويتحرك كل من القرص ٤ والضاغط متغلبة على مقاومة النابض ٥ نحو اليمين وتنجز الشوط الفعال (شوط التغذية).

دورة عمل هذه المضخة تختلف عن المضخات عديدة الضواغط ، حيث إن الضاغط الواحد يخدم أربعة بخاخات وإضافة لذلك تتعدى عملية تمرير الوقود غير فتحات الملاء.

امتلاء الحجم ما فوق الضاغط ٣ شكل ١٠٠٠ يتم عند حركة الضاغط ٤ إلى ن.م. س. شكل ٢١٠٠ وعند وجوده في ن.م. س. شكل ٣ يجري الوقود عبر نافذة الدخول ١ والتجويف ٢ الكائن في الضاغط إلى الحجم الذي يعلو الضاغط.

ونتيجة الحركة الدورانية للضاغط عند وجوده في ن.م. س. تبدأ بالإغلاق تدريجياً فتحة الملاء. ويبدأ من ن.م. س. يحصل الشوط الفعال للضاغط شكل ٣٠- b.

والتغذية ٦، وبعدها من خلال صمام التغذية إلى مجرى الوقود ثم البخاخ. ويدخل الوقود عبر القناة المركزية وتجويف التوزيع ١٥ الكائن في الضاغط إلى قناة التغذية ٦ وبعدها من خلال صمام التغذية إلى مجرى الوقود ثم البخاخ.

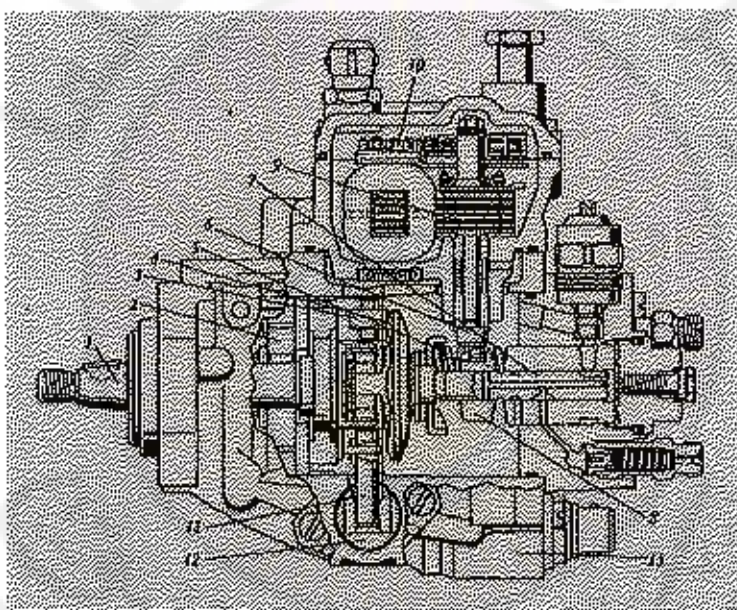
وينتهي الشوط الفعال للضاغط بقطع الوقود من خلال القنوات القطرية ٧ والتي يغلقها مسبقاً موزع التغذية ٨ شكل ١٠٠٠ c.

وبذلك وخلال ربع دورة لمحور المضخة يكتمل المسار الفعال للضاغط في واحدة من الأسطوانات الأربعة للمحرك.

إن تغيير كمية التغذية الدورية يتم بتحريك موزع التغذية ٨ شكل ٩٩ و ١٠٠

على طول محور الضاغط بمساعدة القرص اللامركزي ٦ شكل ٩٩- المركب على محور المغناطيس الكهربائي الدوار ٩، والذي يتم التحكم بدورانه بالدليل ١٠.

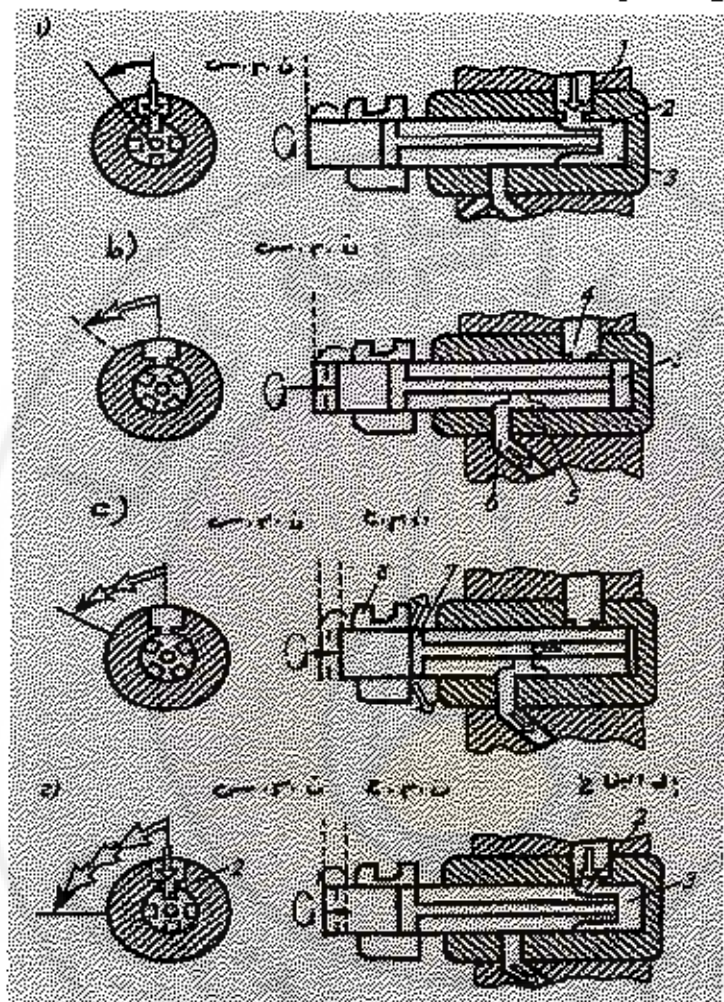
وعند استخدام المنظم الميكانيكي الآلي. ينزاح موزع التغذية بمساعدة ساعد المنظم الموجود في الجزء العلوي من كتلة المضخة، وعند الحركة نحو اليمين يزداد الشوط الفعال وتزداد وجبة الوقود. تحتوي مضخة التوزيع وحيدة الضاغط على عنصر آلي للتحكم بزاوية تسبيق الحقن شكل ٩٩-.



شكل ٩٩-

ويتم تغيير زاوية التسبيق بتدوير جملة مؤلفة من أربعة متحرجات ٣ نسبة للحدبة القرصية الدوارة ٤. ويجري التحكم بزاوية التسبيق بمساعدة الصمام الكهرومغناطيسي ١٣ الذي يغير ضغط الوقود في الأسطوانة ١٢. التي يقع

مكبسها من جهة واحدة تحت تأثير ضغط الوقود ، ومن الجهة الأخرى يقع تحت تأثير النابض.



وتحتوي المضخة الروتيرية الموزعة على تصميم مشابه شكل - ١٠١-٢
وعند انعدام الصمام الكهرومغناطيسي، ينزاح مكبس الأسطوانة تحسباً لتأثير
ضغط الوقود في جسم المضخة والذي يزداد بزيادة عدد دوران المضخة
الميكانيكية ٢ شكل - ٩٩.

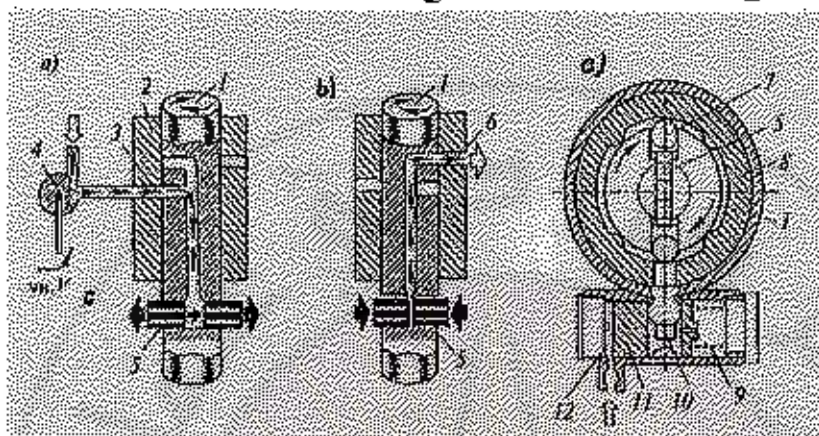
تختلف مضخات التوزيع الروتيرية عن المضخات ذات الضواغط السابقة
بمخطط تحريك الضواغط وتستخدم بدلاً من النهاية المحدبة شكل - ٩٩- حلبة
أسطوانية داخلية شكل - ١٠١. تمنع انزلاق الدافع نسبة للحلبة. وبزيادة أعداد
الضواغط إلى اثنتين أو أربعة مع تخفيض أقطارها في نفس الوقت ينخفض
جهد التماس الحاصل بين كرات الدافع والحلبة .

الروتير ١ شكل - ١٠١ الذي يوزع الوقود يدور في الحلبة ٢ المركبة في جسم
المضخة . ويتم ملء حجم الضاغط شكل - ٨ نتيجة حركة الضاغطين ٥
والدافعين ٧ المنضغطين بواسطة القوة النافذة إلى القرص المحدب الثابت ٨ .
وحيث يتحرران (يبتعدان) يدخل الوقود من خلال النافذة ٣ إلى الفراغ ما
فوق الضاغط .

بعدها وتحت تأثير نتوءات الحديبات الموجودة على القرص ٨ تتقارب
الضواغط شكل - ٥ وفي هذا الدور تكون فتحات السدخول مغلقة، و يدخل
الوقود عبر النافذة ٦ إلى صمام التغذية. وبعده إلى المجرى ثم إلى البخاخ .
يتم توزيع كميات الوقود (الوجبات) بواسطة عملية الخنق على المدخل . ويتم
تغيير عملية امتلاء الحجم ما فوق الضاغط، وتبعاً لذلك وجبة الوقود بتدوير
الصمام الدائري ٤ شكل - ١٠١- a .

وفي المضخة الروتيرية يوجد عنصر تحكم آلي لتسبيق الحقن ، ويتم تغيير
زاوية التسبيق بتدوير القرص المحدب ٨ شكل - c .
ويرتفع ضغط الوقود الناجم عن مضخة التغذية الأولية ، (الذي يتم

تصحيحه بواسطة صمام خاص) بزيادة زمن الدوران.
وبزيادة ضغط الوقود في الفراغ ١٢ في الأسطوانة عند زيادة الدوران يمكن التغلب على مقاومة النابض ٩، وينزاح المكبس ١١ نحو اليمين.



شكل - ١٠١

ويقوم المكبس بمساعدة الساعد ١٠ بتدوير القرص ٨ باتجاه زيادة زاوية تسبيق الحقن ، ويؤدي انخفاض الضغط في الفراغ ١٢ إلى انخفاض الزاوية . وعند استخدام المضخة الروتيرية ذات التحكم الإلكتروني بالتغذية وبزاوية التسبيق، يقوم الصمام الكهرومغناطيسي بالتحكم بالضغط المؤثر في أسطوانة التحكم.

ومن مساوئ المضخات الروتيرية التغذية بطريقة الخنق على المدخل، وهذا من شأنه ألا يؤمن الاستقرار المطلوب للتغذية. ولكن أمكن تطوير هذه المضخات، ويمكن حالياً تغيير مسار الضاغط ، وعملية التغذية بواسطة الصمام.

-البخاخات (واحدات الحقن):

يدخل الوقود عبر البخاخ إلى أسطوانة المحرك. البخاخ يذرع الوقود ويوزعه

بين حجرات الاحتراق ويمنع الجريان العكسي للغازات من الأسطوانة إليه، ويؤمن مع مضخة الضغط العالي الضغوط المطلوبة للحقن والطبيعة المطلوبة أيضاً.

تصنف البخاخات بحسب طريقة التحكم وطريقة إغلاق الإبرة (الصمام) وبحسب نوع المذزر.

- تصنيف البخاخات :

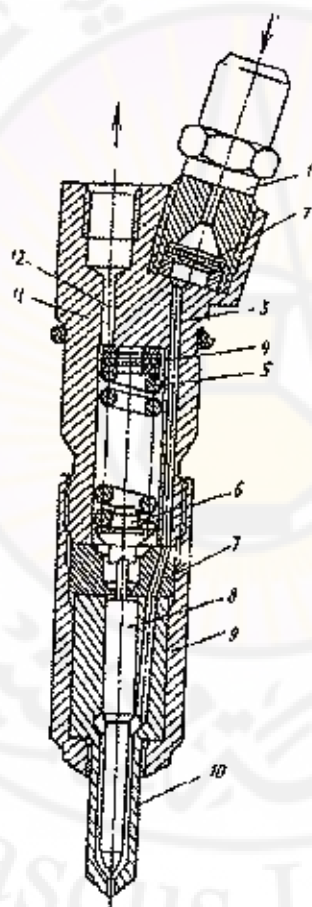
في ديزل الجرارات والسيارات تستخدم البخاخات المغلقة ، التي يكون فيها مقطع الجريان (في المراحل الفاصلة بين عمليات الحقن) مغلقاً. وأكثر البخاخات انتشاراً هي ذات التحكم الهيدروليكي والإغلاق النابضي للإبرة . شكل-١٠٢.

على الشكل-١٠٢ يظهر بخاخ ديزل إحدى السيارات الشاحنة وفيه يدخل الوقود من الأنبوب عبر المدخل ١ ومصفاة الحماية ٢ بالقناة ٣ إلى جسم المذزر ١٠، ويزداد الضغط في المذزر نتيجة لذلك . وتحت تأثير الضغط ترتفع الإبرة ٨ متغلبة على قوة النابض ٥ وتسمح للوقود بالمرور إلى فتحات التذير، ومنها إلى أسطوانة الديزل .

وبسبب انخفاض ضغط الوقود في البخاخ في فترة قطع الجريان بهبوط الإبرة بتأثير النابض ويغلق البخاخ.

يجري التحكم بضغط انفتاح الإبرة وهو يساوي (١٢-١٥) م. باسكال بتغيير قوة الشد الأولية للنابض بمساعدة البزال العياري أو الأقراص المعيارية ٤. والوقود يتسرب عبر الخلوص الكائن بين الإبرة وجسم المذزر. ومن خلال القناة ١٢ والأنبوب ينسكب في الخزان شكل -٩٣ ويمكن إغلاق الإبرة بمساعدة نابضين بهدف إجراء حقن مرحلي يسمح بتخفيض إصدار أكاسيد الآزوت ، ومستوى الضجيج في الديزل .

وفي حالة الإغلاق هيدروليكيًا، يستخدم سائل معين بدلاً من النابض (أو مع النابض) يكون هذا السائل مضغوطاً في جسم البخاخ ويؤمن انضغاط الإبرة إلى مخروط الإغلاق في جسم المذرر .
 وبصرف النظر على بعض المميزات الإيجابية للإغلاق الهيدروليكي فإنه لم يلاق الانتشار الواسع.
 إضافة لذلك يستخدم التحكم الهيدروليكي في البخاخات في بعض محركات الديزل على السيارات والجرارات .



شكل - ١٠٢

وبحسب نوع المذّرر تصنف البخاخات إلى عديدة الثقوب (متعددة التدفق)، أحادية، وذات الصمام، التي يؤدي فيها الصمام وليس الإبرة دور الإغلاق، وهي لم تلاق الانتشار الواسع .

- مذرر البخاخ : يظهر على الشكل -١٠٣ تصميم مذرر مغلق متعدد التدفق (الثقوب) ويتألف من جسم وإبرة .

الوقود الجاري في قنوات المذرر يمر عبر مقطعين للخنق : تحت الإبرة وفي ثقوب التذيرير . وتستخدم هذه المذررات في محركات الديزل ذات الحجرات واحدة الاحتراق (غير منفصلة) .

عدد الثقوب يتراوح تبعاً للحجرة من ١-١٠ وأبعادها من ٠.١-٠.٦ مم. و المذررات الحديثة تحتوي على حجوم صغيرة نسبياً واقعة بين الإبرة وبين الثقوب . شكل -١٠٣ a: الوضعية ١ بهسدف تخفيض إصدارات الهيدروكربونات الملوثة في غازات العادم . أو أنها لا تحتوي أساساً على هذا الحجم الضئيل شكل a-.

مذرر البخاخ يعمل في درجات حرارة عالية . ولا يزود البخاخ بدارة خاصة للتبريد .

ويؤمن الانتقال الحراري بوسائل تصميمية : تخفيض مساحة مقدمة المذرر التي تلامس الغازات الحارة ، أو استخدام رقائق عازلة حرارياً تركيب بين مساند البخاخ ورأس الأسطوانة، ويمكن عزل المذرر أحياناً ، وأيضاً تنقل الحرارة من البخاخ بواسطة الوقود الجاري عبر الخلوص الكائن بين الإبرة وجسم المذرر .

والطبيعة الهامة المميزة للمذرر هي الخاصية الهيدروليكية وهي عبارة عن

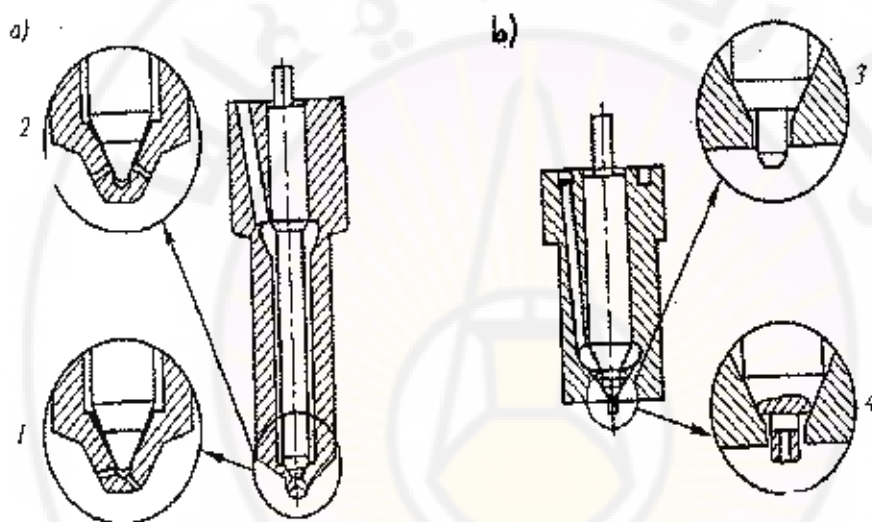
العلاقة بين المقطع الفعلي للمذرر وانزياح الإبرة: $\phi = f(y)$ و (μf) .

وتؤثر على (μf) المقاطع التسلسلية المتوضعة للخنق . وبحسب (μf) من

شروط مساواة التدفق ، وقيمة الضغط العام عند جريان الوقود في المذزر ،
وباحتساب هذه الشروط يحسب المقطع الفعلي بالعلاقة التالية:

$$\frac{1}{(\mu f)^2 \phi} = \sum \frac{1}{(\mu_i f_i)^2}$$

حيث μ_i ، f_i - معامل التدفق ومساحة مقطع الخنق.



شكل - ١٠٣

تحدد خاصية المنزر عديد الثقوب (المنحني ١ شكل ١٠٤) على الجزء
الأولي لمسار الإبرة من خلال المقطع الواقع تحت مخروطها .
وعندما تتوضع الإبرة على المسند تقوم بخنق مقطع الجريان أساساً في
الثقوب ، والارتفاع الأعلى للمنزرات يتراوح من ٠.٠٢ - ٠.٣ مم .
والمذزر وحيد الثقب شكل - ١٠٣ b) يحتوي في نهاية الإبرة على مسمار
(وصلة) ، ويحقن الوقود عبر شق دائري يقع بين الثقب في هيكل المذزر

والمسمار .

هذه الوصلة تتألف من جزء علوي أسطواني وجزء سفلي مؤلف من مخروط ٣ شكل - ١٠٣ h أو من مخروطين .

تصميم الوصلة هو الذي يحدد من جهة الشكل الهندسي للتدفق ومن الجهة الأخرى الطبيعة (الخاصة) الهيدروليكية للمذرر، التي تشارك بدورها في إظهار طبيعة الحقن .

ويستخدم الحقن بالثقب الواحد أساساً في المحركات ذات الحجرة المنفصلة (المزدوجة) .

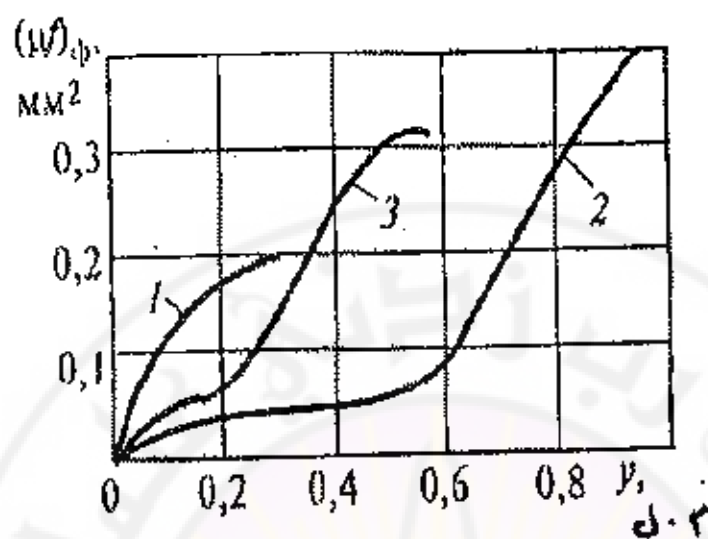
وعندما يركب البخاخ وحيد الثقب في الحجرة الأولية يستخدم المذرر ذو الثقب المحوري ٤ شكل - ١٠٣ b .

الخصائص الهيدروليكية للمذرات وحيدة الثقب تظهر على الشكل - ١٠٤ (المنحنيات ٣،٢) والارتفاع الأكبر للإبرة يتراوح ما بين ٠.٤ - ١.١ مم ومساحة مقطع الجريان عادة أعلى مما في المذرات المتعددة الفتحات .

عند العمل على النظم الجزئية للمحرك لاتصل الإبرة إلى مسندها، و تتغير مساحة مقطع الجريان آلياً في المذرر ، مما يؤمن الاستقرار الكبير للحقن .

المنحني ٢ يتبع المذرر صاحب الخانق الأسطواني الكبير نسبياً. وهذه المذرات تؤمن تدريراً جيداً عند التغذية المنخفضة (الكميات القليلة) .

ومن مميزات هذه المذرات عدم تراكم نواتج الاحتراق على سطوح مقاطع الجريان، أي يحصل تنظيف ذاتي للمقاطع نتيجة حركة وصلة المذرر .



شكل - ١٠٤

مجموعة المضخة

البخاخ ونظم التغذية ذات الجمع

مجموعة المضخة - البخاخ ذو الوصلة الميكانيكية :

للتخلص من أنبوب الضغط العالي ومن الحجم الأصغر للوقود المضغوط خلال الحقن ، تستخدم مجموعة المضخة - البخاخ التي يمكن بواسطتها الحصول على ضغوط حقن عالية (حتى ١٢٠ - ٢٠٠) م باسكال . من الأسباب التي تحد من انتشار المجموعة الميكانيكية و التغذية المتقطعة هو التصميم المعقد لرأس الكتلة بسبب زيادة أبعاد تجهيزات البخاخ ، وضرورة وجود محور حدمات إضافي لتحريك المجموعة . إضافة لذلك تزداد صعوبة عمل منظم زمن الدوران، ونظراً لعدم توحيد موقع الجريدة المسننة للمجموعة فإن القوة المطلوبة لتحريك المسننات مرتفعة وغير مستقرة في أثناء الاستئمار . ويمكن التغلب على الصعوبة الأخيرة بالانتقال إلى الصمامات الكهرومغناطيسية المغذية ذات التحكم الإلكتروني .

تظهر مجموعة المضخة - البخاخ التي تضم صمام التحكم على الشكل - ١٠٥ . وفيها الحدة ١ عبر الدافع ٢ المضغوط عليها بالنابض إذ تقسوم بتحريك الضاغط ٣ . وعندما يكون الصمام ٧ مفتوحاً يجري الوقود إلى مجرى الضغط المنخفض . والصمام المغلق ٧ يقود إلى جريان الوقود إلى أسطوانة الديزل بالضاغط من خلال المذرر ٦ التقليدي .

مع العلم أنه يعطي الوقود في الفترة التي يكون فيها الصمام الكهرومغناطيسي مغلقاً فقط . وبذلك يتم التحكم بالتغذية الدورية ، وبزاوية تسبيق الحقن . وعند حركة الضاغط إلى الأعلى يمثل الحجم الواقع أسفل الضاغط بالوقود

الذي يعطيه الصمام المفتوح ٧ من المجرى المنخفض للضغط . والوقود المتسرب من خلال مفصل الإبرة - المذرر يجري إلى القناة ٥ في رأس كتلة الأسطوانات .

وعند استخدام التحكم الإلكتروني والصمام الكهرومغناطيسي تتبسط بنية المضخات - البخاخات الميكانيكية وتدمج في النظام العام للتحكم بالديزل . وتستخدم مجموعة المضخة - البخاخ حالياً على نطاق واسع .

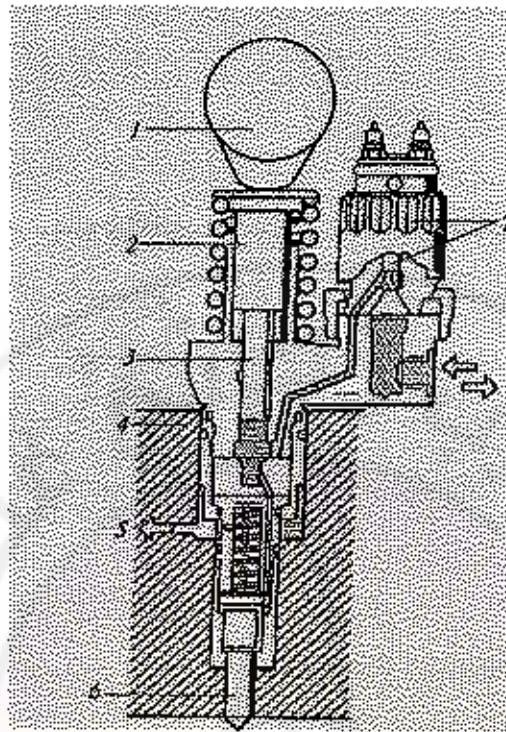
- المضخة - البخاخ الكهروهيدروليكية :

مجموعة المضخة - البخاخ التي تحتوي على صمام التحكم والتحكم الهيدروليكية للضاغط تعتبر الجزء الأساسي من منظومة التغذية ذات المجمع، وذات الضغط الوسطي التي تحافظ على الضغط في المجمع مسن ٥ - ٣٠ م. باسكال، تحتاج المنظومة إلى التجهيزات المؤلفة من مكبس يؤثر عليه السائل المتوفر في الوصلة الهيدروليكية (الوقود أو أحياناً الزيت) تحت الضغط المستقر في المجمع ، والضاغط الذي يؤمن التغذية.

وبما أن مساحة المكبس أكبر بعدة مرات من مساحة الضاغط ، يبلغ ضغط الحقن حوالي ٢٠٠ م باسكال .

وبانعدام التحكم الميكانيكي وإمكانية تنظيم الضغط في المجمع يمكن التحكم بالتغذية ، وبزاوية تسبق الحقن ويضغط الحقن أيضاً.

وبالمقارنة بالمجموعة الميكانيكية ذات الصمام تتميز المجموعة الهيدروكهربائية بالمحلول التصميمية المعقدة.



شكل - ١٠٥

- نظم التغذية ذات المجمع عالية الضغط :

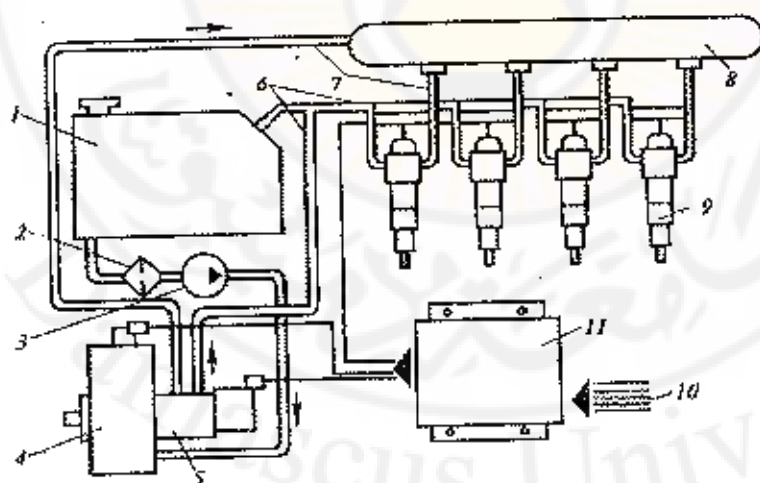
أول ما أنتج نظام التغذية بالمجمع، الذي يتم التحكم فيه بكمية التغذية وبزاوية الحقن و بالضغط أيضاً، وكذلك بطبيعة عملية الحقن وخصائصه، كان في العام ١٩٩٧ على أساس العمل المشترك لشركات بوش - فيات .

وبدأ الانتشار الأوسع لهذه النظم بعد تصنيع تجهيزات مرتفعة الجودة، فيما يخص القدرة والسرعة - صمامات سريعة الفعالية مع المكانيزمات الكهرومغناطيسية.

وبعد استخدام الوصلة الكهربائية التي تتميز ببعض المزايا بالمقارنة مع الوصلة الكهرو - مغناطيسية.

مخطط النظام العامل بالمجمع وبالضغط العالي وبالتحكم الإلكتروني طراز (كمون- رايل) يظهر على الشكل ١٠٦. وفيه يجري الوقود من الخزان ١ عبر المصفاة ٢ بواسطة المضخة الميكانيكية ٣ ويضغط من ٠.٥-٠.٨ م باسكال إلى مضخة الضغط العالي ٤ المتحدة مع نظام الضغط ٥. ومن خلال أنبوب الضغط العالي ٧ يدخل الوقود إلى المجمع ٨ ثم إلى البخاخ الكهرو هيدروليكي ٩ الذي يحقن الوقود في أسطوانة الديزل. المجرى الرئيسي للضغط المنخفض بمساعدة الأنابيب ٦ يصل الخزان بمضخة الضغط العالي ويؤمن جريان الوقود إلى الخزان من منظم الضغط ٥ ومن البخاخ ٩.

والمجرى العالي لضغط (المواقع ٩,٨,٧,٥,٤) هو عبارة عن دائرة تسمح بمساعدة التحكم الإلكتروني بتنظيم استهلاك الوقود، وزاوية تسبيق الحقن ويضغط الوقود في المجمع ٨ وفي البخاخ. ويبلغ ضغط الحقن من ٤٠ - ١٥٠ م باسكال أو أكثر، ويمكن تنظيم الطبيعة المطلوبة للحقن.



شكل ١٠٦

نظام التحكم في منظومة التغذية ذات المجمع تضم وحدة تحكم رقمي ١١ تستقبل المعلومات من الدلائل ١٠ وتقوم بالتحكم بواسطة تجهيزات التنفيذ - الصمام الكهرومغناطيسي - المتوضعة في مضخة الضغط العالي ، على مدخل ومخرج كل قطاع فيها ، وفي منظم الضغط وفي البخاخ الكهرو هيدروليكي.

تتألف مجموعة الدلائل : وهي مجموعة دلائل للضغط في المجمع ، ولدوران عمود المرفق ووضعيته ، ولشروط الديزل ، ووضعية دعسة التسارع ، إضافة لذلك، يمكن أن تحتوي المجموعة على دليل لضغط الهواء ، وحرارة الهواء ، وحرارة الوقود وغيرها من الدلائل التي تؤمن وصل نظام التحكم بنظام التغذية مع جملة التحكم الرقمي العامة لمحرك الديزل .

التحكم بإنتاجية مضخة الضغط العالي وبضغط الوقود في المجمع يتأمن في نظام التحكم بنظام التغذية هذه بالطرق التالية : بطريقة فصل قطاع معين (من ثلاثة قطاعات أو أربعة من المضخة) بمساعدة الصمام الكهرومغناطيسي أو بطريقة تصريف الوقود إلى الخزان بمساعدة الصمام في منظم الضغط ٥ .

يظهر مخطط البخاخ الكهرو هيدروليكي على الشكل -١٠٧ . وفيه عند فصل المغناطيس الكهربائي ٢ في صمام التحكم، يضغط نابض ١ قلب الصمام ٤ إلى الكرة ٥ مغلقاً بذلك طريق الوقود من الحجرة الهيدروليكية ٨ شكل -٨.

في هذه الحالة يكون ضغط الوقود الذي يدخل عبر المدخل ٣ من المجمع مساوياً للضغط في المجمع، وفي المذرر ، ويؤثر على الإبرة ١١ من الأسفل ، وفي الحجرة ٨ يؤثر من الأعلى على المكبس ٩ . وبما أن مساحة المكبس ٩ أكبر من مساحة الإبرة ١١ ، فإن الإبرة التي تضغط على مقرها، تغلق مقاطع الجريان للمذرر.

عندما تعطي نبضة التحكم الكهربائية إلى المغناطيس ٢، القلب ٤ والكرة ٥ فإنها ترتفع جميعها معاً، وتفتح مجرى الصمام، والوقود عبر الفوهة ٦ يتسرب عبر قناة عمودية (فوق النابض ١) وعبر مجاري الضغط المنخفض إلى الخزان شكل-١٠٦.

وبما أن مقطع فوهة الماء ٧ أقل بكثير من مقطع الفوهة ٦، فإن الضغط في الحجرة ٨ يهبط، فترتفع الإبرة تحت تأثير الضغط في المجمع، وتتغلب على ضغط الوقود المؤثر على المكبس من الأعلى وقوة النابض ١٠، ويحدث الحقن شكل b- وعند فصل النبضة يغلق مجرى الوقود في الصمام، ويزداد الضغط في الحجرة ٨. وتستقر الإبرة من جديد في مسندها وينقطع الحقن. عند وقوف الديزل، وعندما يكون الضغط في المجمع بسيطاً، تضغط الإبرة إلى مقرها بواسطة النابض ١٠.

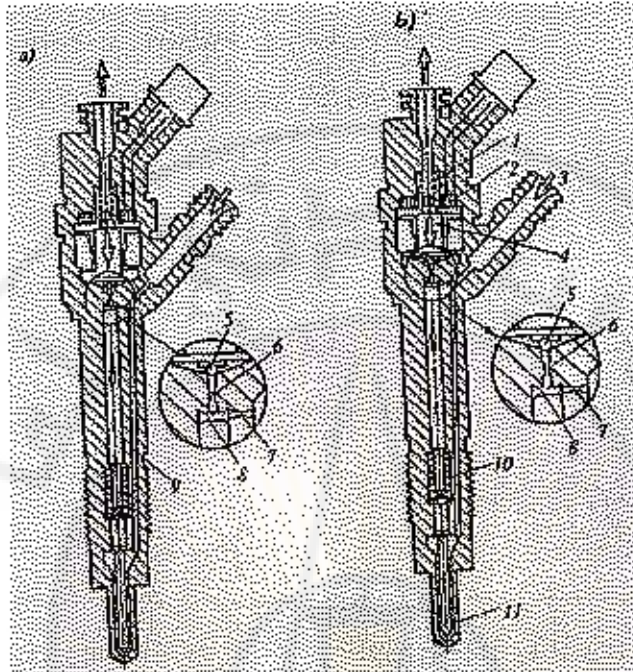
وبذلك فإن فترة الحقن تتحدد بزمان التدفق في الصمام الذي يتحكم بالنبضة، وكمية التغذية الدورية تتحدد بفترة استمرار النبضة وبالضغط في المجمع أيضاً.

وتحصل مؤشرات الجودة العالية للصمام في البخاخ الكهرو-هيدروليكي باختيار العوامل التصميمية للبخاخ بعناية بحيث تسمح بالتحكم بطبيعة الحقن وخاصة إجراء الحقن الأولي لتخفيض إصدارات NO_x ومستوى الضجيج، والحقن الثانوي (بعد الحقن الأساسي) بهدف تأمين عمل محيد التلوث (مائع تلوث)، والحقن متعدد المراحل الذي يؤدي إلى زيادة المردود البياني وتخفيض إصدار الجزيئات الملوثة .

ويمكن أيضاً إجراء التحكم الإفرادي بعملية توزيع التغذية بين الأسطوانات تبعاً لحالتها الفنية الراهنة .

وهذه الخصائص المميزة للتحكم المرن بعملية الحقن تجعل الأفاق واسعة

أمام استخدام النظم ذات المجمع وذات الضغط العالي في محركات الديزل على السيارات.



شكل - ١٠٧

- خصائص عملية التغذية وتصحيحها، (منحنيات التغذية):

- خصائص عملية التغذية :

من خصائص عملية التغذية: خصائص الحمولة وخصائص السرعة .
خاصية الحمولة - هي العلاقة بين التغذية الدورية والمسار الفعال للضاغط أو بين التغذية وموضع الصمام الكروي للتغذية في مضخة التوزيع الروتيرية شكل - ١٠١ ، وذلك عند ثبات عدد دوران محور مضخة الوقود .

في أغلب الحالات تكون هذه الخاصية علاقة خطية. وفي نظام التغذية بالمجمع، تكون خاصية الحمولة العلاقة بين التغذية الدورية وبين فترة

استمرار نبضة التحكم عند ثبات الضغط في المجمع.

- خاصية السرعة هي العلاقة بين التغذية الدورية وعدد دوران محور المضخة عند ثبات مسار الضاغط n_{0k} شكل - ١٠٨.

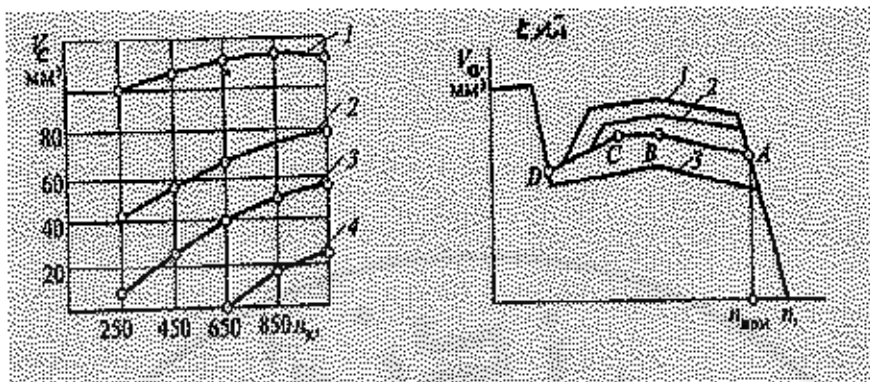
عند تصحيح منحنى السرعة الخارجي للتغذية يمكن أن يتغير المسار الفعال للضاغط، ومصطلح منحنى السرعة لنظام الوقود بالمجمع وبالضغط العالي يفقد معناه لأن التغذية الدورية تتعلق فقط بفترة استمرار نبضة التحكم ويضغط الوقود في المجمع.

التغذية الدورية بواسطة المضخة ذات التغذية المتقطعة تزداد بشكل ملحوظ بزيادة عدد دوران المضخة، وهذا يلاحظ خاصة عند المسارات البسيطة للضاغط شكل - ١٠٨.

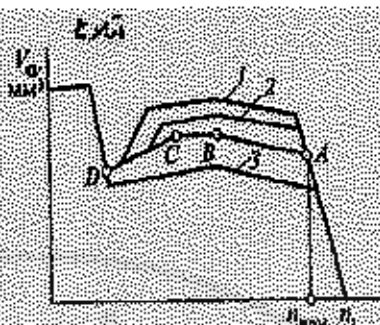
والتأثير الأساسي على العلاقة $V_c = f(n_k)$ عند استخدام هذه التغذية في مضخات الضغط العالي يأتي من عملية خنق الوقود في فتحات أسطوانة الضاغط (الجلبة) شكل - ٩٤ (٧،١) أو في القنوات القطرية للتغذية في مضخة التوزيع وحيدة الضاغط شكل - ١٠٠.

عندما تكون الفتحات (القنوات) مفتوحة جزئياً، فإن الضغط في أعلى الضاغط وتبعاً لذلك عملية التغذية يستقران لأن السرعة الحجمية للضاغط تتوافق مع السرعة الحجمية لتسرب الوقود عبر الفتحات (القنوات). وكلما ازدادت سرعة الضاغط ازدادت كمية الوقود الإضافية التي يعطيها نتيجة خنق الجريان في نوافذ الجلبة (قنوات التغذية).

والكمية النسبية للوقود المعطاة نتيجة الخنق تزداد بانخفاض المسار الفعال للضاغط، لذلك فإن زيادة التغذية الدورية بزيادة زمن الدوران يلاحظ عند المسارات المنخفضة للضاغط خاصة.



شكل ١٠٨



شكل ١٠٩

- تصحيح (تعديل) خصائص السرعة بمنحنيات السرعة:

عند استخدام مضخة الضغط العالي ذات التغذية المنقطعة، فإن زيادة التغذية الدورية بزيادة عدد دوران عمود المرفق يمكن أن تؤثر بشكل سيء على استقرار نظام عمل الديزل .

ولزيادة استقرار نظم العمل الجزئية للديزل يستخدم صمام التصحيح شكل ٩٧- b عند التغذية بواسطة الخنق في مرحلة السحب شكل ١٠١- ولا تلزم عملية التصحيح لمنحنيات التغذية الجزئية ، لأنه عند زيادة زمن الدوران ينخفض زمن الملء و تنخفض كمية التغذية الدورية.

وتختلف تصاميم صمام التصحيح بوجود الفتحة الإضافية ٥ شكل ٩٧- b. وبانخفاض زمن الدوران يزداد زمن التدفق وتزداد كمية الوقود التي تتمكن من المرور من عبر الفتحة ٥ من أعلى الضاغط إلى مأخذ المضخة.

وبالنتيجة فإن التغذية الدورية تهبط بانخفاض زمن الدوران لكن بأقل شدة. ويلاحظ تأثير فتحة التصحيح خاصة عند المسارات المنخفضة للضاغط. وفي هذه الحالة فإن حزام التفريغ لا يخرج من المقر ، وباستمرار انخفاض سرعة الدوران ، فإن ارتفاع الصمام وتبعاً لذلك فعالية التفريغ تنخفض .

ولعملية تصحيح خاصية السرعة الخارجية أهمية كبيرة، وخاصية السرعة الخارجية هذه هي العلاقة بين التغذية الدورية وزمن الدوران عند ثبات وضعية تجهيزات التحكم المطابقة للحمولة العظمى.

يتم التصحيح باستخدام تجهيزات إضافية تؤثر على مسننات التغذية (الجريدة المسننة) في المضخة وتبعاً لذلك على مسار الضاغط .

والحصول على العزم المطلوب تجري عملية تصحيح مباشرة لخاصية السرعة الخارجية على الجزء الذي يفصل بين النظام المطابق للاستطاعة الاسمية والنظام المطابق للعزم الأعظمي (AB على الشكل - ١٠٩) ويتمثل في زيادة مسار الضاغط بانخفاض زمن الدوران.

إن زيادة إصدارات الدخان عند العمل على الدوران المنخفض والحمولات الكبيرة ، يقود إلى ضرورة إجراء التصحيح المعاكس - تخفيض التغذية إلى المستقيم CD شكل - ١٠٩.

و تتغير عملية تحديد مسار الجريدة المسننة والتغذية الدورية العظمى المرتبطة به، بمساعدة مصححات لضغط الهواء المشحون، والضغط الجوي المطلق، والمصحح المستخدم في الأماكن المرتفعة (على التسلسل ١،٣،٤،٢ شكل - ١٠٩).

والتصحيح المرن الفعال لخصائص السرعة الخارجية لعملية التغذية ، يتم بمساعدة نظم التحكم الإلكترونية المستقبلية .

الفصل السادس

نظم شحن الهواء

في المحركات

لشحن محركات السيارات والجرارات يستخدم الشاحن الميكانيكي (ش.م) شكل ٩- والشاحن الغازي (ش.غ) شكل ١٠. ويمكن استخدام ش.م فسي مرحلة أولى وش.غ في المرحلة الثانية في نظام الشحن المركب. في حالة الشحن الغازي عند تركيب العنفة على مجرى الغازات يزداد العمل المفقود في عمليات التصادم وبما أن ش.غ يستخدم طاقة الغازات العادمة فإن درجة الاقتصادية بالمقارنة مع ش.م تتحسن. ومن مميزات الشحن الغازي مقابل الشحن الميكانيكي أيضاً محدودية الحجم، وزيادة ضغط الهواء عند الدوران المتوسط و المرتفع، مما يسمح بزيادة درجة التقوية للمحرك وتخفيض درجة الضجيج الناتج. وعندما يرتبط نظام الشحن الميكانيكي برابطة قاسية مع عمود المرفق فهو يؤمن ضغطاً أكبر للهواء عند الدوران المنخفض، وهذه هي الجودة الديناميكية لوسائل النقل. وتقل إصدارات هباب الفحم لدى محركات الديزل عند الدوران المنخفض وعند التسارع أيضاً. والشاحن الميكانيكي يؤمن الضغط على مدخل الأسطوانة بقيمة أكبر مما على المخرج، وهذا ضروري لإجراء التهوية في المحركات ثنائية الأشواط. يستخدم الشاحن الميكانيكي أساساً في المحركات ثنائية الأشواط. وبدأ استخدامه مؤخراً في المحركات البنزينية في السيارات الخفيفة (سيارات المرسيدس).

ولزيادة اقتصادية المحرك، يفصل الشاحن الميكانيكي عادة عند الحملات الخفيفة.

وعلى العموم تستخدم نظم الشحن الغازية بشكل أوسع بسبب المميزات الإيجابية المذكورة على السيارات والجرارات.

١- نظم الشحن الغازية:

- طرق إيصال الغاز إلى العنفة :

توجد ثلاثة أنواع من الشحن الغازي وفق طريقة إيصال الغاز من الأسطوانات إلى العنفة (دولاب التوربين).

١.١- الطريقة الإيزوبارية :

وهي ذات ضغط ثابت للغاز (أو قريب منه) أمام العنفة. في هذا النظام تخرج الغازات من الأسطوانات جميعها إلى مجمع كبير نسبياً، تتداخل وتتراكم نبضات الضغط بنسبة كبيرة مع بعضها شكل - ١١٠، وعند تمدد الغازات في هذا الحجم، فإن جزءاً من العمل (التصادم) يفقد وتزداد بذلك الطاقة الداخلية للغازات.

من إيجابيات هذا النظام هو أن العنفة تعمل بمردود عالٍ عندما يكون تيار الغاز مستقراً.

٢.١- الطريقة النبضية:

العنفة تعمل في تيار نبضي (دفعي) للغاز. وهنا تصل الغازات إلى العنفة من عدة مجموعات للأسطوانات متحدة بمجرى واحد شكل - ١١١.

وعندئذ يصل الغاز من كل مجموعة إلى مكان خاص من دائرة العنفة ويكون مقطع وطول مجمع الغازات في الحد الأدنى وذلك للاستخدام الأمثل لطاقة الغاز في العنفة. وهنا يتولد في المجمع الضغط النبضي، والحد الأدنى للضغط المعاكس في شوط الطرد من كل أسطوانة باختيار أطوار التوزيع الغازي

المناسبة وبالتصميم الجيد للمجمع، مما يخفف من عمل التصادم. ولتحسين عملية التهوية يفضل بأن يحصل الضغط المعاكس الأدنى في المجمع في الفترة التي تكون فيها الصمامات مغلقة.

عمل العنفة النبضية هو أكبر مما في العنفة الإيزوبارية عند الظروف المشابهة، نظراً لأن فقدان طاقة الغاز عند الجريان من الأسطوانات إلى العنفة هو أقل، والحرارة المتوفرة أكبر. وعند الشحن النبضي ينخفض مردود العنفة، بسبب تغير الضغط النبضي على مدخل العنفة، وسرعة الغاز على مخرج الموجه (المفاعل)، وتغير زاوية دخول تيار الغاز على زعانف العنفة في مجالات واسعة.

ويكون فقدان الطاقة في الحد الأدنى فقط عند زاوية دخول محددة (دخول بلا صدمات) وينخفض المردود أيضاً بسبب جريان الغاز بين قطاعات العنفة ذات المداخل العديدة للغاز، لأن الضغط فيها مختلف ويتغير خلال الدورة الحرارية. والنظم الإيزوبارية أكثر كفاءة عند السرعات العالية للدوران وعند الضغوط الكبيرة في مجمعات الغاز (عند التقوية المرتفعة للشاحن الغازي) عندما تتداخل النبضات وتتجمع مع بعضها.

والنظم النبضية أكثر كفاءة عند الدوران المنخفض وعند الضغط المنخفض نسبياً في مجمع الغاز (من ٠.١٦ م.باسكال أو أقل).

٣.١ - نظام الشحن الذي يضم محوّل النبضات:

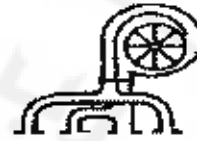
يعد هذا النظام شكل - ١١٢ نظاماً وسطياً وهو يجمع بين مكاسب الضغط النبضي في المجمع (انخفاض عمل التصادم وتحسن تهوية الأسطوانات) والمكاسب الناجمة عن انخفاض نبضات الضغط قبل العنفة التي ترفع المردود.

٢- تبريد الهواء المشحون :

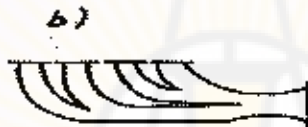
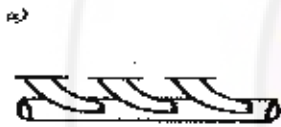
في عملية انضغاط الهواء في الضاغط (دولاب الضغط) تزداد حرارة الهواء كلما ازدادت درجة الضغط (الشحن) وكلما انخفض مردود الضاغط. في محركات السيارات والجرارات يساوي ارتفاع الحرارة من ٧٠-١٨٠ درجة مئوية .



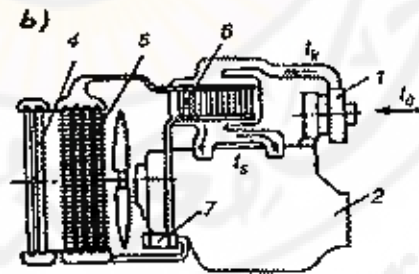
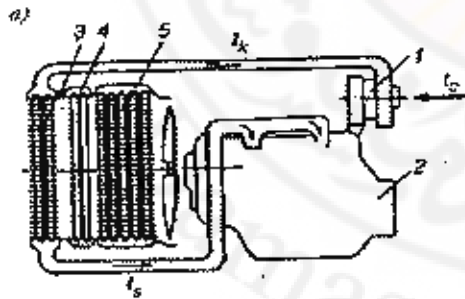
شكل ١١٠



شكل ١١١



شكل ١١٢



شكل ١١٣

وتبريد الهواء المشحون بين الضاغط ومجرى الدخول إلى الأسطوانات يمكن زيادة درجة امتلاء الأسطوانات (بالكتلة)، وهو ما يستخدم لزيادة الاستطاعة وتحسين اقتصادية العمل (انخفاض مصروف الوقود)، وتخفيض الحملات الحرارية عن أجزاء المحرك، وتخفيض حرارة الغازات أمام العنفة. على الشكل -١١٣ تظهر مخططات مبردات هواء-هواء، وماء-هواء لتبريد الهواء المشحون.

يتركب المبرد هواء-هواء عادة أمام مشعات المحرك الزيتية والمائية. ويتم التبريد بتوجيه تيار من الهواء المقابل الصادر عن مروحة خاصة. وفي المبرد ماء-هواء يستخدم سائل تبريد المحرك لتبريد الهواء المشحون. وعندئذ يمكن تركيب مضخة إضافية أو تستخدم المضخة الأساسية في نظام تبريد المحرك.

والانتقال الحراري من الهواء الساخن إلى سائل التبريد يجري بشكل أسرع منه إلى الهواء المبرد، لذلك فإن المبرد ماء-هواء هو أقل حجماً، وعلاقة الهواء المشحون أقل تأثيراً بدرجة حرارة الجو المحيط. لكن المبرد هواء-هواء يؤمن التبريد العميق، لأن حرارة الجو المحيط أقل من حرارة سائل تبريد المحرك. وتقدر درجة انخفاض حرارة الهواء المشحون $T'_k - T_k$ بمعامل فاعلية المبرد وهي :

$$E_o = \frac{T'_k - T_k}{T'_k - T_o}$$

حيث T_k, T'_k - حرارة الهواء على مخرج الضاغط و المبرد
 T_o - حرارة الجسم المبرد.

وللمبرد هواء-هواء $E_o = 0,64-0,77$ وللمبرد هواء-ماء $E_o = 0,45-0,48$ (في المجال الواسع لنظم العمل).

وتقدر جودة المبرد أيضاً عبر مقدار الفقدان في الضغط اللازم للتغلب على المقاومات الهيدروليكية ΔP_h . وهي على النظام الاسمي تساوي للمبرد هواء-هواء $\Delta P_h = 0,003 - 0,005$ ، وللمبرد ماء-هواء $\Delta P_h = 0,002 - 0,004$ م.باسكال.

المبردات هواء-هواء تستخدم عند النسب العادية لتقوية الشحن الغازي، وبوجود تيار هوائي تصادمي. وهذا يستخدم في السيارات. والمبردات ماء-هواء تستخدم غالباً في الجرارات وآليات البناء حيث تستخدم درجات عالية لشحن الهواء في الشاحن الغازي.

٣- تنظيم الشحن الغازي :

نظراً لاختلاف طبيعة وخصائص الآلات المكبسية والعنفية، عند زيادة زمن الدوران في المحرك، تزداد سرعة دوران الشاحن التوربيني بنسبة ١.٣-١.٥. وهذا يقود إلى الحصول على قيمة غير كافية لضغط الشحن عند الدوران المنخفض، وبسبب عدم كفاية الهواء تنخفض الاستطاعة، وفي محركات الديزل عندما لايتوفر المصباح المعاكس للتغذية بالوقود نسبة لضغط الهواء فإن اقتصادية المحرك تنخفض وتزداد إصدارات هباب الفحم. وعلى السرعات العالية وعند الضغط العالي للشحن وبسبب زيادة الضياع على الاحتكاك وعلى الانتقال الحراري. تنخفض الاقتصادية (يزداد المصروف) ويزداد الضغط العالي للاحتراق مما قد يسبب كسوراً في المحرك.

إضافة لذلك وبما أن محركات وسائل النقل تستخدم نظم الشحن الغازية على سرعات دوران وسطية عادة. فإنه عند الدوران الأعلى ينخفض المردود مما يسيء إلى اقتصادية المحرك بشكل إضافي . وللحصول على التغيرات المطلوبة لضغط الشحن ، وعلى الاقتصادية

العالمية للمحرك في المجال الأوسع لنظم العمل ، تستخدم طريقة لتنظيم عملية الشحن الغازي ، بوسائل مختلفة ، وذلك للحصول على الزيادة المطلوبة في ضغط الشحن عند السرعات المنخفضة للدوران و(أو) الانخفاض المطلوب على السرعات الكبيرة .

ومن المرغوب فيه أيضاً تخفيض ضغط الشحن عند الحمولات الجزئية، وتزداد الحاجة لتنظيم الشحن الغازي بزيادة مجال دوران المحرك ودرجة الشحن القسري.

والتنظيم يمكن أن يكون خارجياً أو داخلياً . ويحصل التنظيم الأول خارج نظام الشحن الغازي بطريقة خلق الهواء أو الغازات على مدخل و(أو) مخرج الضاغط والعنفة (عملية الخلق تسمح بالحد من ضغط الشحن لكن عندئذ تنخفض اقتصاديية المحرك).

ويمكن عيار نظام الشحن على نظام العمل الاسمي للمحرك ، وعند الدوران الأدنى والحمولة الأدنى ويتم تدوير محور نظام الشحن (محور الضاغط والعنفة) بطريقة ماء، إما بتيار من الزيت يقدم إلى عنفة خاصة أو بمساعدة محرك كهربائي، مع العلم أن الأجزاء الدوارة في المحرك الكهربائي يمكن أن تتركب مباشرة على محور نظام الشحن.

ويمكن أيضاً تدوير محور النظام بإعطاء الوقود والهواء إلى حجرة احتراق إضافية أمام العنفة ويستخدم هذا النظام عندما يكون ضغط الشحن عالياً جداً (في الديزل) وعندما يراد الحصول على المثانة المطلوبة بالتخفيض الكبير لنسبة الانضغاط في المحرك. وهذا يجعل من غير الممكن الإقلاع بالمحرك أو العمل عليه عند الحمولات الخفيفة من دون حجرة احتراق إضافية. جميع الطرق هذه يمكن استخدامها لتدوير محور نظام الشحن ليس فقط على النظام المستقر لعمل المحرك بل لتعجيل تسارع نظام الشحن. وتبعاً لذلك اختصار

فترة تسارع السيارة على نظم عمل المحرك الذي تستخدم فيه هذه الطرق في تنظيم عملية الشحن وعندئذ تنخفض اقتصادية المحرك.

وتوجد طريقة أخرى للتنظيم الخارجي للشحن وتتمثل بتحضير الشاحن للعمل على الدوران المنخفض والمتوسط وتمرير جزء من الغاز خارج العنفة عند الدوران العالي

والطريقة الأخيرة لتنظيم العمل و التحكم في عملية الشحن القسري للهواء تستخدم بشكل أوسع. وتمرير الغاز بسيط بتصميمه وموثوق أيضاً ولا يؤدي إلى تخفيض اقتصادية عمل المحرك على أنظمة العمل التي لا تحتاج إلى تنظيم (عند إغلاق صمام تمرير الغاز).

وفي الوقت الذي يكون فيه الصمام مفتوحاً لا يسعنا بدرجة كبيرة بلوغ المؤشرات الاقتصادية الأفضل، لأنه عند ذلك يفقد قسماً من طاقة الغازات العادمة التي تجري خارج العنفة.

ويمكن المحافظة على كامل طاقة تيار الغازات عند استخدام طريقة التنظيم الداخلي. الذي يستند إلى استخدام عناصر متحركة في أجزاء الشاحن الدوارة، (الضاغط والعنفة). وأكثرها فاعلية هي عملية تركيب زعانف دوارة في قسم التوجيه في العنفة شكل- ١١٤ a, b .

عند تدوير الزعانف من حالة الانفتاح التام شكل - ١١٤ a إلى حالة الإغلاق التام شكل - ١١٤ b. فإن وضعية المقطع A الذي يوصل الغاز إلى دولاب العنفة تنخفض، وسرعة دخول الغاز إلى الدولاب تزداد. وزاوية دخول الغاز على زعانف الدولاب ∞ تقترب من الزاوية القائمة. وكل هذا يقود إلى زيادة عدد دوران الشاحن.

ومن مساوي هذه الطريقة هو أنه يمكن استخدامها بنجاح في نظم الشحن التي تضم العنفات ذات الأقطار الكبيرة، لا يمكن استخدامها بشكل دائم في

محركات السيارات والجرارات.

وفي النظم غير الكبيرة للشحن هناك عدة طرق معتمدة لتغيير المقطع الأصغر في مجرى الغاز من العنفة F_{T0} .

وبتخفيض مساحة المقطع تزداد سرعة دخول الغاز على زعانف العنفة مما يؤدي إلى زيادة زمن الدوران وتبعاً لذلك زيادة ضغط الشحن، لكن عندئذ تحصل زيادة في الضغط المعاكس للغاز في مجمع خروج الغازات وهذا يؤدي إلى زيادة عمل (التصادم) .

عند السرعات المنخفضة من المستحسن تخفيض F_{T0} لأن عمل التصادم في هذه الحالة بسيط ويزداد عند السرعات المرتفعة والحمولات المنخفضة. على الشكل - ١١٤ c تظهر عنفات ذات تنظيم تدريجي (مرحلي) للمقطع الأدنى لدخول الغاز إلى العنفة. وعلى الشكل - ١١٤ c عندما تكون صفيحة الغاز مفتوحة يدخل الغاز إلى العنفة عبر الفتاتين $F_{0,max}$ وعندما تكون مغلقة عبر قناة واحدة فقط $F_{0,min}$.

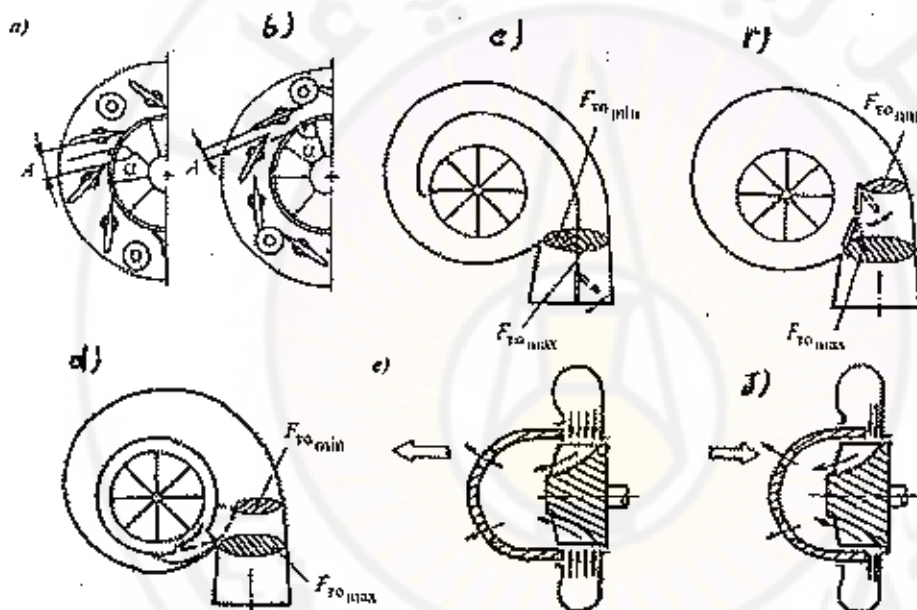
على الشكل - ١١٤ r تبلغ القيمة العظمى عندما تكون الصفيحتان مفتوحتين والقيمة الأدنى عندما تكونان مغلقتين.

والتنظيم الموحد (اللامرحلي) شكل - ١١٤ d يتم فيه تخفيض F_0 بطريقة تدوير القرص (الدولاب) مع اللسان.

على الشكل - ١١٤ j تظهر طريقة تنظيم مساحة مقطع الجريان في موجه التوربين على مدخل الغاز إلى الدولاب.

وعندما يكون التوجيه بشكل قوس وينزاح إلى اليسار شكل - ١١٤ e تزداد مساحة مقطع الجريان إلى العنفة ويبدأ تباطؤ دوران العنفة. وعندما ينزاح إلى اليمين شكل - ١١٤ j. تنخفض مساحة المقطع وتبدأ العنفة بالتسارع.

ويتميز التنظيم الداخلي لعملية الشحن بالتصميم المعقد وانخفاض درجة الوثوقية للعناصر المتحركة وخاصة عند الحرارة العالية وتراكم المواد الكربونية عليها كما يحصل في الديزل . إضافة لذلك فإن وجود العناصر المتحركة في أجزاء نظام الشحن الذوارة يؤدي إلى انخفاض المردود على جميع أنظمة العمل ويتراوح مجال تغيير F_0 من ٢٠-٣٠ % .
والطرق المبينة على الشكل ١١٤-ج تستخدم بشكل واسع في أنظمة الشحن الغازي المنتجة و المستخدمة.



شكل ١١٤-

٤- الأداء المشترك للمحرك وتجهيزات الشحن الغازي:

نتلخص خصوصية العمل المشترك للمحرك المكبسي مع نظام الشحن الغازي في أن مؤشرات عمل المحرك تتعلق بعوامل نظام الشحن (الضاغط، والعنفة) ومؤشرات عمل نظام الشحن تتأثر بعوامل المحرك .

مثال استهلاك الهواء (المزيج الغازي) في المحرك G_H وحرارة الغازات العادمة T_r تتعلق جميعها بضغط وحرارة الهواء على المدخل P_k, T_k المحددة من قبل نظام الشحن.

وفي الوقت ذاته تتعلق مؤشرات عمل نظام الشحن إضافة للعوامل الهندسية بظروف العمل وبالعوامل أخرى تتحدد من قبل العوامل T_r, G_H . وتتحدد ظروف العمل المشترك للمحرك مع نظام الشحن عبر العوامل التي تؤثر على مصروف الهواء وعلى الغازات العادمة G_r والعوامل التي تؤثر على حرارة هذه الغازات T_r .

المصروف G_H و G_r تتعلقان بالأبعاد الهندسية الرئيسية للمحرك: عدد الأسطوانات، والحجم الفعلي للأسطوانة ونسبة الانضغاط وعدد و أبعاد صمامات السحب و الطرد، وأبعاد وشكل مجمع الهواء و مجمع الغازات ونوع نظام الشحن (نيسي، إيزوباري)، وأيضاً بـ زمن الدوران n . وتتحدد الحرارة T_r بعوامل التشغيل: عدد دوران المحرك وكمية الوقود أو معامل فائض الهواء وزاوية تسبيق الاشتعال (حقن الوقود).

نظام الشحن يؤثر على عوامل العمل المشترك مع المحرك على أساس أنه هو الذي يولد الضغط و الحرارة للهواء على مخرج الضاغط (P'_k, T'_k) وأيضاً الضغط المعاكس على مخرج أسطوانات المحرك P_r .

مؤشرات عمل نظام الشحن تتعلق بأقطار عدد زعانف دولاب الضاغط وعرضها ودولاب العنفة، وتعلق بالمقطع الأصغر للجريان في جسم العنفة، وأشكال العناصر الأساسية للضاغط و العنفة، وتصميم المدارج وجودة عمليات الحركة الغازية و الفنية للنظام بشكل عام.

وكلما كان مردود نظام الشحن أعلى η_{TK} (جداء المردود الأديباتي للضاغط $\eta_{k,a}$ في المردود الفعلي للعنفة η_r) كانت نسبة الضغط على مدخل و مخرج

الأسطوانات أعلى، و كان امتلاء الأسطوانات (عملية السحب) بالشحنة الجديدة أعلى. وكان فقدان على التبادل الغازي أقل. وتبعاً لذلك تكون مؤشرات الاستطاعة و المؤشرات الاقتصادية أعلى .

زيادة المردود الأدبياتي للضاغط تقود أيضاً إلى انخفاض الحرارة T_x . وفاعلية العمل المشترك للمحرك ونظام الشحن تتحدد ليس فقط بالمردود η_{rx} بل أيضاً بالكفاءة التي تم اختيار نظام الشحن المطلوب بها لهذا المحرك. ونظراً لاختلاف الخصائص الهيدروليكية للآلات المكبسية والآلات العنفية، يمكن اختيار نظام الشحن المناسب فقط لنظام عمل واحد للمحرك عندما تكون η_{rx} عظمى.

وعندما ينحرف زمن الدوران وحمولة المحرك عن نظام العمل المحدد الذي يكون فيه المردود أعظمية فإن هذا المردود سوف ينخفض. لذلك في محركات وسائط النقل تنظم عمليات الشحن على نظام الحمولة الكاملة، وزمن الدوران في المجال الموافق والمحصور بين العزم الأعظمي حتى الدوران الموافق للاستطاعة الأسمية وذلك للحصول على المردود الكافي في مجال نظم العمل الرئيسية.

ويحصل نظام العمل المشترك مابين المحرك والشاحن عند إجراء واتخاذ الإجراءات و الشروط التالية :

$$N_k = N_T - 1 \quad (\text{استطاعة الضاغط، العنفية})$$

$$Nk = \frac{I_{k,a} G_k}{\eta_{k,a}}$$

حيث G_k - مصروف الهواء في الثانية (المزيج).

$I_{k,a}$ - العمل الأدبياتي اللازم لضغط الكغ من الهواء (مزيج الوقود بالهواء) في الضاغط.

$$l_{k,a} = \frac{K}{K-1} RT_o (\pi_k^{\frac{K-1}{K}} - 1)$$

حيث K- أس الأديبات للهواء (المزيج)

R - الثابت الغازي للهواء.

في المعادلة تحسب $\pi_k, T_o, l_{k,a}$ وفق عوامل التيسار المفرومل (المكبوح)

$$N_T = l_{T,a} G_T \eta_T \text{ حيث:}$$

$l_{T,a}$ - العمل المتوفر في ١ كغ من الغازات عند تمدها أديباتياً في العنفة.

$$l_{T,a} = \frac{K_1}{K_1 - 1} R_1 T_T \left(1 - \frac{1}{\pi_T K_1} \right)$$

حيث K_1 - أس أديبات الغازات العادمة.

R_1 - الثابت الغازي للغازات.

T_T - درجة حرارة الغازات أمام العنفة.

π_T - نسبة انخفاض الضغط في العنفة وتساوي $P_T \cdot \frac{P_T}{P_2}$ = الضغط

الوسطي في مجمع الغازات (أمام العنفة)،

P_2 - الضغط بعد العنفة ويساوي $P_2 = P_o + a_2$ حيث:

a_2 - انخفاض الضغط على الجزء من مجرى الطرد المحصور بين العنفة

والجو المحيط (على النظام الاسمي).

G_T - مصروف الغازات في الثانية.

η_T - المردود الفعلي للعنفة، الذي يضم المردود الميكانيكي لنظام الشحن

(يضاف الضياع الميكانيكي في نظام الشحن إلى العنفة).

وتحسب π_T, T_T, l_T وفق التيار المكبوح.

٢- $n_k = n_T$ وهذا الشرط محقق أساساً لأن الضاغط والعنفة مركبان على عمود واحد.

٣- $G_T = G_k + G_f + G_y$ - مصروف الوقود في الثانية G_y - التسرب الحاصل.

هذه النسب مناسبة للمحركات التي يضغط فيها الهواء نقياً، أما عندما يضغط مزيج الوقود بالهواء $G_T = G_k - G_y$ يمكن اعتبار أن $G_T = G_k$ وهذا الشرط يمكن إضافته بهدف حساب تغير مصروف الهواء و الغازات العادمة على حساب كبح دخول الهواء بعد الضاغط وقبل العنفة.

٤- $P_{o,r} = P_r, T_K = T'_K, P_K = P'_K$ وهذا الشرط يدل على مساواة ضغط وحرارة الهواء (المزيج) على مخرج الضاغط وعلى مدخل المحرك. وأيضاً ضغط وحرارة الغازات على مخرج المحرك ومدخل العنفة.

وعند استخدام المبرد (لتبريد الهواء المشحون) يحسب الانخفاض الحاصل لحرارة الهواء على مدخل المحرك T_K بالمقارنة مع الحرارة على مخرج الضاغط T'_K تبعاً لفاعلية مبرد الهواء E_o . وانخفاض ضغط الهواء على مدخل المحرك P_K بالمقارنة مع الضغط على مخرج الضاغط P'_K تبعاً لفقدان ضغط الهواء في المبرد (ΔP_s) .

الشروط ١، ٣، ٤ مناسبة عندما لا تحسب ظواهر العطالة الموجية، والفقدان الحاصل في مجمعات السحب والطرود.

وعند استخدام توربين القدرة (مع الشاحن التوربيني) الذي يركب على التسلسل مع عنفة الشاحن يضاف إلى الشروط المذكورة أعلاه للعمل المشترك ما بين المحرك و الشاحن، شرط مساواة مصروف الغازات عبر توربين الشاحن وتوربين القدرة $G_T = G_{CT}$ والمساواة بين ضغوط وحرارة الغازات العادمة على مخرج عنفة الشاحن ومدخل عنفة القدرة: $T_{T,r} = T_{CT}, P_{T,r} = P_{CT}$

عدد دوران عنفة القدرة يتحدد من دوران المحرك ونسبة التحويل في مخفض السرعة بينهما، مع احتساب عامل الانزلاق في القارنة الهيدروليكية لعنفة القدرة، التي يمكن أن تتركب لاستيعاب الاهتزازات الدورانية المؤثرة في عمود المرفق إلى محور عنفة القدرة.

عند تركيب الشاحن الميكانيكي تتحدد شروط الأداء المشترك بمساواة مصروف الهواء (المزيج) عبر المحرك والشاحن: $G_H = G_{n,H}$ وأيضاً بمساواة ضغط وحرارة الهواء على مخرج الشاحن ومدخل المحرك، مع احتساب إمكانية انخفاضها عند تركيب مبرد الهواء $T_{n,H} = T_K, P_{n,H} = P_K$ ويتحدد عدد دوران محور الشاحن عبر دوران المحرك ونسبة التحويل بينهما. عند نمذجة العمل المشترك للمحرك ونظام الشاحن تستخدم الطريقة التسلسلية التقريبية عندما يعطى لكل نظام عمل في البداية عدد من المؤشرات الأولية: عدد دوران محور عنفة القدرة، ضغط وحرارة الهواء المشحون، الضغط المعاكس أمام التوربين، الضغط الوسطي للضغاطات الميكانيكية وغيرها من المؤشرات التي يتم التحقق منها لاحقاً.

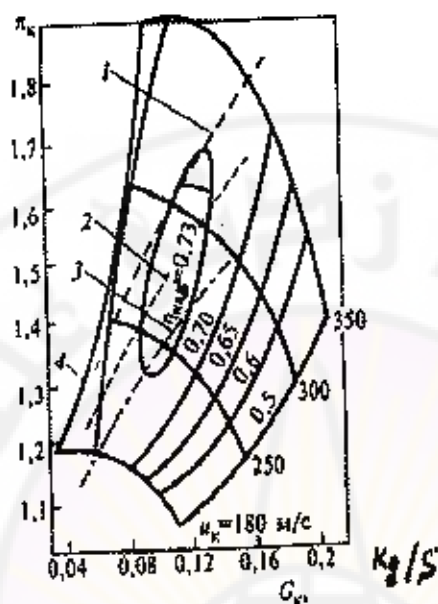
على الشكل-١١٥ تظهر نقاط العمل المشترك للمحرك والشاحن الغازي على منحنيات السرعة الخارجية وهي مرسومة على خصائص (منحنيات) ضاغط الهواء عند ثلاث قيم للمقطع الأصغر للمجرى في موجه التوربين:

$$F_{T,01} < F_{T,02} < F_{T,03}$$

وكما يظهر من الشكل فإن الخط الأمثل للعمل المشترك (٢) يحصل عند المقطع الأصغر لمجرى العنفة $F'_{T,02}$. وعند تخفيض هذا المقطع الأصغر إلى $F_{T,01}$ ينزاح خط العمل المشترك الأمثل (١) إلى اليسار.

وعندئذ تزداد أيضاً نسبة زيادة ضغط الهواء في الضاغط π_K وتبعاً لذلك يزداد ضغط الشحن P_K و الزيادة الكبيرة في ضغط الشحن تسبب إضعاف

مؤشرات القدرة والمؤشرات الاقتصادية للمحرك، وزيادة الحمولة على أجزائه أيضاً.



شكل - ١١٥

ويمكن أيضاً أن تزداد السرعة الدائرية إلى درجة الخطورة على القطر الخارجي لدولاب الضاغط U_K وعند زيادة المقطع الأصغر لمجرى التوربين $F_{T.03}$ ينزاح خط العمل المشترك (٣) إلى اليمين ويقع في مجال المنردود المنخفض للضاغط.

وفي هذه الحالة تنخفض نسبة زيادة ضغط الهواء في الضاغط π_K وضغط الشحن P_K مما يسبب أيضاً انخفاض مؤشرات القدرة والمؤشرات الاقتصادية للمحرك وتزداد في الديزل إصدارات هباب الفحم.

مجلد
العلوم
الطبيعية

وحدات القياس والرموز المستعملة في الكتاب



جدول وحدات القياس

العامل (المؤشر)	SI النظام الدولي	النظام المتري	
الطول	M	M	M
الحجم	M^3	M^3	M^3
الكتلة	كغ	كغ	كغ
		$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{kg}{m^3}$
الوزن النوعي	$\frac{N}{m^3}$	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{kg}{m^3}$
الكثافة	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{kg}{m^3}$
الضغط	$\frac{N}{m^2}$	$\frac{kg}{m^2}$	$\frac{kg}{m^2}$
القوة	N	$kg \cdot f$	$kg \cdot f$
الوزن	N	$kg \cdot f$	$kg \cdot f$

Kg f . M	كغ ق م	J(N.M)	جول (ن.م)	العمل
IHP=735,49 W	حصان	$W \left(\frac{J}{s} \right)$	واط (جول/ثا)	الاستطاعة
K°	درجة	K°	درجة	درجة الحرارة
ICal=4,187 J	كالوري	J(N.M)	جول (ن.م)	الحرارة

الرموز المستعملة

الرموز اللاتينية

A	مساحة الرسم البياني لدورة المحرك
B	عرض نافورة الوقود، معامل ثابت
C	النسبة الوزنية للكربون في ١ كغ من الوقود السائل
C_m	السرعة الوسطية لمكبس المحرك
C	التركيز الأني للعناصر الكيميائية المتفاعلة
c.a	زاوية دوران العمود المرفقي
C_p	السعة الحرارية للهواء تحت ضغط ثابت
μC_p	السعة الحرارية المولية للهواء تحت ضغط ثابت
$\mu C_p'$	السعة الحرارية المولية لنواتج الاحتراق تحت ضغط ثابت
C_v	السعة الحرارية للهواء تحت حجم ثابت
μC_v	السعة الحرارية المولية للهواء تحت حجم ثابت
$\mu C_v'$	السعة الحرارية المولية لنواتج الاحتراق تحت حجم ثابت
D	قطر الاسطوانة
d	قطر غرفة الاحتراق، قطر مكبس مضخة الوقود

E	طاقة التنشيط
F	مساحة، مقطع
f	مساحة، مقطع
G	الكمية الوزنية للشحنة أو لنواتج الاحتراق
G_f	معدل استهلاك الوقود
g	تسارع الجاذبية الأرضية، الاستهلاك النوعي للوقود
H	النسبة الوزنية للهيدروجين في 1 كغ من الوقود، القيمة الحرارية للوقود
h	الارتفاع، طول شوط مكبس مضخة الوقود
i	عدد اسطوانات المحرك
J	جول
K	نسبة الهيدروجين إلى أول أكسيد الكربون في نواتج الاحتراق، معامل ثابت
k	الأس الأديباتي
L	طول ذراع جهاز الفرملة، اختراقية نافورة الوقود
L_{th}	كمية الهواء الحجمية (المولية) اللازمة نظرياً لاحتراق 1 كغ من الوقود بشكل تام
l	كمية الهواء الوزنية الفعالية المشتركة في احتراق 1 كغ من الوقود
l_{th}	كمية الهواء اللازمة نظرياً لاحتراق 1 كغ من الوقود بشكل تام
M	متر، كمية الشحنة أو نواتج الاحتراق

m	عدد ذرات الهيدروجين في الوقود الغازي، أُس تجريبي ثابت
N	نيوتن، الاستطاعة، عدد حبيبات الوقود
n	الأُس البوليتروبي، عدد ذرات الكربون في الوقود الغازي، سرعة الدوران
O_f	النسبة الوزنية للأوكسجين في كغ من الوقود
ON	رقم الأوكتان
P	الضغط، القوة المؤثرة في ذراع جهاز الفرملة
Q	الحرارة، الغازرة
q	الحرارة منسوبة إلى كغ من الشحنة
Kg	كيلو غرام (كغ)
R	ثابت لغازات، نصف قطر المرفق
$R(=\mu R)$	ثابت الغازات العام
r	نصف القطر، النسبة الحجمية لغاز ما في نواتج الاحتراق
S	الانثروبي، طول شوط المكبس
s	سطح جبهة اللهب
T	درجة الحرارة المطلقة، عزم الدوران
t	درجة الحرارة المنوية، الزمن
U	الطاقة الداخلية للهواء
U''	الطاقة الداخلية لنواتج الاحتراق
u	سرعة انتقال اللهب، الطاقة الحرارية الداخلية النوعية

v	الحجم، السرعة
W	العمل، كمية الماء (بخار الماء) الموجود في
	الوقود، واط
w	السرعة



الرموز اليونانية

α	معامل فائض الهواء
γ_r	معامل الغازات المتبقية
δ	نسبة التمدد
ε	نسبة الانضغاط، معامل التقلص
η	الجودة (المردود)
θ	الزاوية (دوران العمود المرفقي)
λ	نسبة ازدياد الضغط تحت حجم ثابت
μ	الوزن الجزيئي، معامل التغيرات المولي، معامل التصريف
ν	اللزوجة الكينماتيكية
ξ_z	معامل مقاومة الجريان، معامل الاستفادة من حرارة الاحتراق
ρ	نسبة التمدد تحت ضغط ثابت، الكثافة
σ	التوتر السطحي، كمية الوقود المحقونة لكل دورة في محرك الديزل
τ	فترة (زمن) تأخر الاشتعال، عدد أشواط المحرك الترددي
χ	معامل انبثاق الحرارة
$\phi (\varphi)$	زاوية دوران العمود المرفقي، معاملات ثابتة
ϕ_i	فترة تأخر الاشتعال مقيسة بدراجات دوران العمود المرفقي

الرموز الدليلية (السفلية)

<i>a</i>	للوهاء، لبداية شوط الضغط
<i>b</i>	لنهاية شوط التمدد
<i>c</i>	لنهاية شوط الضغط
<i>cyc</i>	للدورة
<i>cyl</i>	للأسطوانة
<i>e</i>	فعلي، فعال
<i>f</i>	للقود
<i>h</i>	عليا
<i>i</i>	بياني
<i>id</i>	لحالة الاحمل
<i>l</i>	دنيا
<i>M</i>	ميكانيكي
<i>m</i>	وسطى، متوسط
<i>max</i>	أعظمي
<i>min</i>	أصغري
<i>O</i>	للظروف الجوية الطبيعية
<i>r</i>	للغازات المتبقية
<i>t</i>	حراري
<i>th</i>	نظري
<i>z</i>	نهاية عملية الاحتراق
I, II, III, IV	مراحل الاحتراق في المحركات الترددية

المصطلحات العلمية

- A -

ACCELERATION	التسارع
ANGULAR -	التسارع الزاوي
LINEAR -	التسارع الخطي
ACCELERATOR	معجل - تعجيل
PEDAL	دراسة التعجيل
-	
PUMP	نظام التعجيل (في المغذى)
- SYSTEM	مضخة التعجيل (في المغذى)
ACTIVATED (CARBON)	(كربون) منشط
ACTIVATION	تنشيط
- ENERGY	طاقة التنشيط
ADDITIVE	مادة مضافة
ANTISMOKE	مادة مضافة لمنع ظهور الدخان
ADLABATIC	أدياباتي (اجراء بدون تبادل حراري)
COMBRESSI -	ضغط أدياباتي
ON	
- EXPANSION	تمدد أدياباتي
-PROCESS	إجراء أدياباتي
AD-SYSTEM	نظام لتحضير الشحنة في محركات
	دريتر متعددة الوقود
ADVANCE	تسبيق - تقديم
CENTRIFUGAL-DEVICE	آلية تسبيق طاردة مركزية
INATION	(زاوية) تسبيق الاشتعال (محرك

IGNITION - DEVICE	بنزين (آلية تسبيق الاشتعال
INJECTION	(زاوية) تسبيق الحقن (محرك ديزل)
INJECTION - DEVICE	آلية تسبيق الحقن
VACUM - DEVICE	آلية تسبيق فراغية (تخلخلية)
AFTERBURNING	مرحلة الاحتراق النهائية في محرك الديزل
AIR	الهواء
- BLEED	فتحة معبرة لدخول الهواء (المغذي)
DILUTION	هواء التمديد للغازات في التوربين الغازي
- INLET	مدخل الهواء (المغذي)
- FILTER	مصفاة (فلتر) الهواء
PRIMARY	الهواء الأولي في غرفة الاحتراق للتوربين الغازي
SECONDARY	الهواء الإضافي (الثانوي) في غرفة الاحتراق للتوربين الغازي
AER RESISTANCE	مقاومة الهواء
- COEFFICIENT	معامل مقاومة الهواء
ALDEHYDES	الالدهيدات
ALPHA(a)-	مركب الفا ميثيل النفثالين
METHYLNAPHTHALENE	
ALUMINIUM	الألمنيوم
SINTERED	الألمنيوم الملبد
ANGLE	زاوية
CRANK – (c,a)	زاوية دوران العمود المرفقي
- OF INCIDENCE	زاوية الورود (المقوط)

ANNULUS	مجري طوقي (حلقي)
TOOTHED	طوق مسنن (حلقة مسننة)
ANTIKNOCK VALUE	خاصية مقاومة الصفع
ARMATURE	المتحرض، عضو الإنتاج الكهربائي (ارماتور)
AROMATICS	المركبات العطرية في النفط الخام
ARTICULATED	مفصلي، متمفصل
ASSEMBLY	مجموعة
ATOMIZATION	تذير - تقطيت إلى حبيبات دقيقة
- CHARACTERISTICS	خصائص التذير
ATOMIZER	فوهة تذير - منزر
AUTOIGNITION	الاشتعال الذاتي للوقود
AUTOMOTIVE	آلي - محرك - سيار
- ENGINE	محرك آلية (سيارة)

- B -

BALANCE	توازن - موازنة
ENGINE-	موازنة المحرك
HEAT-	الموازنة الحرارية
BARIUM	الباريوم
- COMPOUNDS	مركبات الباريوم
BARREL	اسطوانة مضخة الضغط العالي
BATTERY	في محرك الديزل
BEARING	مدخرة - بطارية
BIG END	محمل - رولمان
	محمل القسم الكبير (السفلي)
	لذراع التوصيل

NEEDLE	محمل إبري
SLIDE -	محمل منزلق
SMALL END -	محمل القسم الصغير (العلوي)
	لذراع التوصيل
BLADE (VANE)	ريشة-شفرة
- ANGLE	زاوية الريشة
CONSTANT - ANGLE	زاوية ثابتة للريشة
GUIDE - S	ريش توجيه
INLET GUIDE - S	ريش دخول موجهة
MOVING - S	ريش متحركة
- ROOT	جذر الريشة
STATIONARY - S	ريش ثابتة
- TOP	قمة (رأس) الريشة
BLOW -- BY (GASES)	الغازات المتسربة إلى علبة
	المرفق (من الأسطوانة)
BRAKE	فريملي-فعال
- FACTORS	العوامل الفعالة
- (HORSE) POWER (BHP)	الاستطاعة الفعالة
- MEAN EFFECTIVE PRESSURE (BMEP)	متوسط الضغط الفعال
-SPECIFIC FUEL CONSUMPTION (BSFC)	الاستهلاك النوعي الفعال
- THERMAL EFFICIENCY	الجودة (الحرارية) الفعالة للوقود
- TORQUE	العزم الفعال
- C -	
CALORIFIC VALUE	القيمة الحرارية (للوغود)
HIGHER -	القيمة الحرارية العليا (للوغود)
LOWER -	القيمة الحرارية الدنيا (للوغود)

CAM	حذبة - كامه
CONTACT - BREAKER -	كامه فاصل التيار
- RING	حلقة كاميه (في مضخات الوقود)
- SHAFT	محور للكامات
CANISTER	علبة - حاوية
CAP	غطاء - قنسوة
- NUT	غطاء صامولي
PROTECTING -	غطاء واقى
CAPACITY	سعة
- WELL	الكأس الإضافية في المعوض (المغذي)
CARBIDE	الكربيد
CARBON	الكربون - الفحم
- DIOXIDE	ثاني أكسيد الكربون
- MONOXIDE	أول أكسيد الكربون
- PARTICLES	جسيمات الكربون
CARBURETION	عملية مزج الوقود والهواء داخل المغذي
CARBURETOR	جهاز المغذي (الكاربوريتر)
DUAL THROAT -	مغذي ثنائي العنق
ELEMENTARY -	مغذي بسيط
FIXED CHOKE -	مغذي باختناق ثابت المقطع
- ICING	تجلد المغذي
- IDEAL -	مغذي مثالي
TWO - STAGE -	مغذي بمرحلتين
CARNOUT	المهندس الفرنسي كارنو

- CYCLE	دورة كارنو الحرارية
CASING	غطاء-هيكال حاوي
SPIRAL (VOLUTE)	غطاء حلزوني
EPITROCHOIDAL -	غطاء ابيترو. كويدي (محرك وانكل)
CATALYST	معجل-وسيط (كيميائي)
NEGATIVE -	وسيط سلبي
POSITIVE -	وسيط ايجابي
CATAYTIC CONVERTOR	مانع وسيطي (معجل)
CERAMICS	السيراميك
CETANE	وقود السيتان
- NUMBER	رقم السيتان
- RATING	درجة السيتان
CHARACTERISTIC	مميز-خاص-خاصة
CHAMBER	حجرة-غرفة
COMBUSTION -	غرفة الاحتراق
FLOAT -	كأس العوامة (المغذي)
MIXING -	غرفة المزج (المغذي)
PRECOMBUSTION -	غرفة الاحتراق المسبقة
SWIRL -	غرفة الاحتراق الدوامية
CHARGE	شحنة
CHOKE (THROAT)	اختناق-عنق
CLEARANCE	خلوص
- VOLUME	حجم الخلوص للاسطوانة
CLUTCH	قابض-الواصل الفاصل
FREEWHEELING -	قابض عائم
COBALT	الكوبالت

COEFFICIENT	معامل
COMBUSTION	احتراق
- CHAMBER	غرفة الاحتراق
CONTINUOUS	احتراق مستمر
- INTENSITY	شدة (سرعة) الاحتراق
INTERMITTENT -	احتراق منقطع (دوري)
- KNOCK (DETONATION	ظاهرة الصفع
NORMAL -	احتراق طبيعي
- PROCESS	عملية الاحتراق
RAPID -	الاحتراق السريع
SLOW -	الاحتراق البطيء
COMBUSTOR	حراق - غرفة الاحتراق
COMPACT	مدمج - صغير الحجم والوزن
COMPENSATE	يعوض
COMPENSATING	تعويض
- DEVICE (SYSTEM)	جهاز (نظام) التعويض (المغذي)
COMPRESSION	ضغط - انضغاط
- RATIO	نسبة الانضغاط
- STROKE	شوط الضغط
COMPRESSOR	ضاغط
AIR -	ضاغط هوائي
AXIAL -	ضاغط محوري
CENTRIFUGAL -	ضاغط طارد مركزي
ENGINE - DRIVEN -	ضاغط يدار من قبل المحرك
EXHAUST GAS-DRIVEN-	ضاغط يدار من قبل غازات العوادم
CONCENTRIC	كونسنترك (المراكز أو المحاور)

CONDUCTION	انتقال
HEAT -	انتقال الحرارة
CONNECTING - ROD	ذراع التوصيل
CONSTANT	ثابت - غير متغير
GAS-	ثابت الغاز
- PRESSURE	ضغط ثابت
- PRESSURE CHARGING	الشحن تحت ضغط ثابت
- VOLUME	حجم ثابت
CONSUMPTION	استهلاك
CONTROL	تحكم - سيطرة - قيادة
- RACK	الجريدة المسننة (في مضخة الوقود)
- SLEEVE	اسطوانة التحكم (في مضخة الوقود)
- UNIT	وحدة التحكم
SORVO - UNIT	وحدة تحكم هيدروليكية مضخة
COOLING	تبريد
- SURFACE	سطح التبريد
- WATER	مادة التبريد
COUNTER	معاكس
BALANCE	الموازنة بالتقال معاكسة
- FLOW	جريان متعاكس (معاكس)
WEIGHT	ثقل موازن
CRACKING	تقطير النفط بالتهشيم (التكسير)
CRANK	المرفق
- ANGLE (c.a)	زاوية دوران العمود المرفقي

- CASE	علبة المرفق
- MECHANISM	الآلية المرفقية
- PIN	المرفق الثانوي
- RADIUS	نصف قطر المرفق (طول ساعد لمرافق)
- SHAFT	العمود المرفقي
CRITICAL	حرج
- PRESSURE	الضغط الحرج
- VELOCITY	السرعة الحرجة
CURVE	منحني (بيان)
CYCLE	دورة حرارية
BRAYTON	دورة براتون
CARNOT -	دورة كارنو
COMPOSITE	الدورة المشتركة (المخلطة)
GENERALIZED -	الدورة العامة
IDEAL AIR-STANDARD -	الدورة للهوائية المثالية
JOULE -	دورة جول
- MEAN PRESSURE	متوسط الضغط للدورة
OTTO -	دورة أوتو
SIMPLE -	الدورة البسيطة
CYLINDER	أسطوانة
- BORE (DIAMETER)	قطر الأسطوانة
- CUT OUT	فصل الأسطوانات
- HEAD	رأس (غطاء) الأسطوانة
- D -	
DASHBOARD	لوحة القيادة في السيارة
DENSITY	الكثافة

DETONATION	ظاهرة الصفع (في محركات البنزين)
DIAGRAM	رسم-شكل
INDICATOR -	الرسم البياني لدورة المحرك
POLAR -	الرسم القطبي للشعاعي
DIAMETER	قطر
DIAPHRAGM	غشاء رقيق-رق
DIESEL	ديزل
- CYCLE	دورة ديزل الحرارية
- ENGINE	محرك ديزل (محرك الاشتعال بالضغط)
DIFFUSION	انتشار
DIFFUSOR	ناشر
DIRECT	مباشر
- INJECTION (DI)	حقن مباشر
- INJECTION DIESEL	محرك ديزل ذات حقن مباشر
DISCHARGE	تصريف
- COEFFICIENT	معامل التصريف
DISPLACEMENT	انتقال-مبار
PISYON -	انتقال العكس
DISSOCIATION	التفكك الحراري لجزيئات نواتج الاحتراق
DISTRIBUTOR	الموزع-موزع
IGNITION	موزع الحرارة في محرك البنزين
- TYPE FUEL PUMP	مضخة وقود موزعة
DRAFT	تيار - جريان

DROPLET	حبيبة
D- SYSTEM	نظام D لتحضير الشحنة في محركات دويتز
DYNAMIC	ديناميكي
- ADAPTABILITY	التكيف الديناميكي (للمحرك)
DYNAMOMETER	جهاز الفرملة (الكابح) - ديناموميتر
ABSORPTION -	جهاز فرملة امتصاصي
EDDY CURRENT -	جهاز فرملي دوامي (تيارات فو كو)
ELECTRIC SWINGING FIELD-	جهاز فرملة كهربيائي بمجال متناوب
FRICTION-	جهاز فرملة احتكاكي
HYDRAULIC-	جهاز فرملة هيدروليكي
MAGNETIC-	جهاز فرملة مغناطيسي
- E -	
ECCENTRIC	لامركزي - إكسنترك
ECCENTRICITY	انزياح التمرکز (مقدار الإكسنترك)
ECONOMY SYSTEM	نظام الإغناء (المغذي)
EFFECTIVE	فعال
EFFICIENCY	جودة - مردود
BRAKE (THERMAL)-	الجودة الحرارية الفرملية
COMPRESSOR -	جودة الضاغط
INDICATED (THERMAL)-	الجودة (الحرارية) البيانية
MECHANICAL -	الجودة الميكانيكية
RELATIVE -	الجودة النسبية

STAGE -	الجودة المرحلية (لكل مرحلة)
THERMAL-	الجودة الحرارية
VOLUMETRIC-	الجودة الحجمية
EMULSION	مستحلب (مزيج من الهواء والوقود غير المتبخر)
ENDOTHERMIC REACTION	تفاعل اندونثري (مع امتصاص حرارة)
ENERGY	طاقة-قدرة
ACTIVAYION-	طاقة للتنشيط
CHEMICAL-	الطاقة الكيميائية
EXCESS-	الطاقة الفائضة
HEAT-	الطاقة الحرارية
INTERNAL-	الطاقة الداخلية
KINETIC-	الطاقة الحركية
MECHANICAL-	الطاقة الميكانيكية
ENGINE	محرك
AIR COOLED-	محرك تبريد الهواء
AUTOMOTIVE-	محرك واسطة نقل (البنة-سيارة)
COMPRESSION IGNITION-	محرك اشتعال بالضغط
DIRECT INJECTION-	محرك ذات حقن مباشر
DUAL FUEL-	محرك ثنائي الوقود
EXTERNAL COMBUSTION-	محرك احتراق خارجي
FOUR-STROKE-	محرك رباعي الأشواط
HEAT-	محرك حراري
HYBRID-	محرك هجين (يجمع بين صفات محرك لينزيان و

INDIRECT INJECTION-	الديزل)
INDUSTRIAL-	محرك ذات حقن غير مباشر
INLINE-	محرك صناعي
	محرك اسطواناته مرتبة على خط واحد
INTERNAL COMBUSTION-	محرك احتراق داخلي
- LOAD	حمل المحرك
MARINE-	محرك بحري
MULTIFUEL-	محرك متعدد لوقود
- PERFORMANCE	أداء المحرك
RECIPROCATING PISTON-	محرك مكبسي ترددي
ROCKET-	محرك صاروخي
ROTARY PISTON-	محرك مكبسي دوار (محرك وانكل)
SHORT-STROKE-	محرك قصير لشوط
SPARK-IGNITION	محرك اشتعال بالشرارة
- SPEED	سرعة المحرك
STEAM-	محرك بخاري
STIRLING-	محرك ستيرلينغ
-TORQUE	عزم المحرك
TURBO-JET-	محرك توربيني نفاث
TURBO-PROPELLER-	محرك توربيني مروحي
TWO-STROKE-	محرك ثنائي الأشواط
VEE-	محرك اسطواناته مرتبة بشكل حرف V
WANKEL-	محرك وانكل
WATER-COOLED-	محرك تبريد مائي

ENTROPY	الانثروبي
EPITROCHOID	منحني لابيترو كويد
EQUATION	معادلة-قانون
PERNOULLI-	معادلة برنولي
CONTINUITY-	معادلة استمرارية الجريان
-OF STATE	معادلة الحالة (في الترموديناميك)
EQUILIBRIUM	توازن
EVAPORATION	تبخر
EXCESS	فائض
- AIR	فائض الهواء
- AER COEFFICIENT	معامل فائض للهواء
- ENERGY	طاقة فائضة
- WORK	عمل فائض
EXHAUST	العادم
- GASES	غازات العادم
- MUFFLER	كاتم صوت العادم
- PORT	فتحة العادم
- STROKE	شوط العادم (الطرد)
- TURBO-CHARGER	شاحن توربيني يدار من قبل غازات العادم
- VALVE	صمام العادم
EXOTHERMIC REACTION	تفاعل اكزوترمي (مع انقاص حرارة)
EXPANSION	تمدد
ADIABATIC-	تمدد ادياباتي
POLYTROPIC-	تمدد بوليثروبي

-RATIO	نسبة التمدد
- STROKE	شوط التمدد
- F -	
FACTOR	عامل - مؤشر
BRAKE- S	العوامل الفعالة (الفرملية) للمحرك
CHARACTERISTIC - S	العوامل المميزة للمحرك
INDICATED -S	العوامل البنائية للمحرك
FERROTIC	الفيروثيك (مادة مؤلفة من كربيد التيتانيوم والحديد)
FILTER	مصفاة - مرشح - فلتر
AIR -	مصفاة الهواء
FUEL -	مصفاة الوقود
OIL -	مصفاة الزيت
FIRING ORDER	ترتيب الاشتعال في المحرك
FLAME	لهب - شعلة
COLD -	اللهب البارد
- FRONT	جبهة اللهب
IIOT -	اللهب الحار
-PROPAGATION	انتشار (جبهة اللهب)
FLAMMABILITY	قابلية الاشتعال
FLOAT	العوامة (في كأس العوامة المغذي)
- CHAMBER	كأس العوامة
FLOW	جريان - تدفق
FORCED-VORTEX-	تدفق دواملي قسري
FREE-VORTEX-	تدفق دواملي حرا

STEADY-	تدفق مستقر
FLUCTUATION	تغير -تبدل-تذبذب
SPEED-	تغير السرعة
FLYWHEEL	الحداقة
FM-SYSTEM	نظام FM حضير الشحنة في محركات مان
FORCE	قوة
CENTRIFUGAL-	قوة طاردة مركزية
GAZ-	قوة ضغط الغاز
INERTIA-S	قوى العطالة
RADIAL-	قوى قطرية (باتجاه مساعد للمرافق)
REACTIVE-	قوة رد لفعل
TANGENTIAL-	قوة مماسية
THRUST (PROPULSION)-	قوة دافعة
FUEL	وقود
- ACCUMULATOR SYSTEM	نظام المجتمع لحقن الوقود في محرك ديزل
- ATOMIZATION	تذيرير للوقود
- CONSUMPTION	استهلاك الوقود
DIESEL-	وقود الديزل (المازوت)
- INJECTION SYSTEM	نظام حقن الوقود
- PUMP	مخضبة الوقود
- TANK	خزان الوقود
FULL THROTTLE POSITION	وضعية صمام التحكم مفتوح كلياً
FURNACE	فرن_ لئون

GAS	غاز
BLOW-BY-ES	الغازات المتسربة من الأسطوانة إلى علبة المرفق
- CONSTANT	ثابت الغاز
CRANKCASE-ES	غازات علبة المرفق
- EXCHANGE	التبادل الغازي (السحب والطرد)
EXHAUST-ES	الغازات العادم
- GENERATOR UNIT	وحدة توليد الغاز في التوربين الغازي
INDUSTRIAL-	الغاز الصناعي
NATURAL-	الغاز الطبيعي
RESIDUAL-ES	الغازات المتبقية
-SEAL	مانع تسرب الغازات
- TURBINE	توربين غازي
GEAR	مسنن_ترس
GEARBOX	علبة المسننات (السرعة)
GLOWING SURFACES	السطوح المتوهجة (في غرفة الاحتراق)
GOVERNOR	منظم السرعات
ALL-SPEED-	منظم متعدد السرعات
HYDRAULIC-	منظم هيدروليكي
MECHANICAL-	منظم ميكانيكي
PNEUMATIC-	منظم هوائي
SINGLE-SPEED-	منظم وحيد السرعة
TWO-SPEED-	منظم ثنائي السرعة

GRAPHITE

الغرافيت

GROOVE

خدود_مجري_فرصة

HELICAL-

خدود حلزوني

GUDGEON PIN

محور (اصبع) المكبس، البنز

- H -

HARMONIC MOTTON

حركة دورية

HARTRIDGE SCALE

مقياس هارتريدج لـمستوى

النخّان

HEAT

حرارة

- BALANCE

الموازنة الحرارية

- CAPACITY

السعة الحرارية

- ENGINE

محرك حراري

- RECEIVED

الحرارة المعطاة للدورة

الحرارية

- REJECTED

الحرارة المطرودة من الدورة

الحرارية

- SINK

مغطس حراري خارجي

- SOURCE

مصدر حراري خارجي

- UTILIZATION

الاستفادة من حرارة الاحتراق

HEAT EXCHANGER (HE)

مبادل حراري

COUNTER FLOW--

مبادل حراري يجري معاكس

ROTARY--

مبادل حراري دوّار

TUBULAR--

مبادل حراري أنبوبي

HEAT RELEASE

انطلاق (تحرر) الحرارة نتيجة

لعملية الاحتراق

CUMULATIVE--

معامل انطلاق الحرارة

RATE OF --

معدل (سرعة) انطلاق الحرارة

HEATING VALUE	القيمة الحرارية للوقود
HIGHER--	القيمة الحرارية العليا للوقود
LOWER--	القيمة الحرارية الدنيا للوقود
HELIX	حلزون-الخدود الحلزوني على مكبس مضخة الوقود
METERING-	المجرى الحلزوني لمعايرة كمية الوقود
HEPTANE	وقود الهيبتان
(HORSE) POWER (HP)	الحصان الميكانيكي (وحدة الاستطاعة)
BRAKE—(BHP)	الاستطاعة الفعلية
FRICTIONAL—(FHP)	الاستطاعة المفقودة نتيجة للاحتكاك
INDICATED—(IHP)	الاستطاعة البيانية
HYBRID	هجيني
HYDROCARBONS	الهيدروكربونات
HYPTROCHOID CURVE	منحني الهيبتروكيد
- 1 -	
ICE (INTERNAL COMBUSTION ENGINE)	محرك الاحتراق الداخلي
IDLING	عمل المحرك بدون حمل (حالة اللاحمل)
- POSITION	وضعية اللاحمل لصمام التحكم
- SPEED	سرعة اللاحمل
- SYSTEM	نظام اللاحمل (في المغذي)
IGNITION	اشتعال
- ADVANCE	زاوية تسبيق الاشتعال
- DELAY (LAG)	فترة تأخر الاشتعال

IMPELLER (RUNNER)	الدفاعة (العجلة الدوارة)
INDICATOR	جهاز المبيّن
- CARD	بطاقة جهاز المبيّن
- DIAGRAM	الرسم البياني لدورة المحرك
ELECTRONIC-	جهاز مبيّن إلكتروني
ELECTRO-PNEUMATIC-	جهاز مبيّن كهرو-هوائي
INERTIA	عطالة
- FORCES	قوى العطالة
MOMENT OF	عزم العطالة
INLET	مدخل
INLINE ENGINE	محرك اسطواناته مرتبة على خط واحد
INJECTION	حقن
- ADVANCE	زاوية تسبيق الحقن
AIR-BLAST-	نظام الحقن الهوائي للوقود
- CHARACTERISTICS	خصائص (قانون) الحقن
DIRECT	حقن مباشر
- DURATION	فترة (استمرار) الحقن
FUEL-	حقن الوقود
INDIRECT-	حقن غير مباشر
- NOZZLE	فوهة الحقن
PILOT-	الحقن الدليلي للوقود
STEP-	الحقن المدرج
WATER-	حقن الماء
INJECTOR	حاقن (بخاخ)
- BODY	جسم الحاقن
CLOSED-TYPE-	حاقن من النوع المغلق

OPEN TYPE-	حاقن من النوع المفتوح
INTERCOOLING	عملية التبريد المرحلي - التبريد المتوسط
ISENTROPIC PROCESS	إجراء ايزنتروبي (الانتروبي ثابت)
ISO-OCTANE	وقود الايزو اوكتان
ISOTHERMAL PROCESS	إجراء ايزوثيرمي (درجة الحرارة ثابتة)
JERK PUMP	-J- مضخة وقود نابضة (محرك الديزل)
JET	نافورة
FUEL-	نافورة الوقود
MAIN-	النافورة الرئيسية
KNOCK (ING)	- K - الصفع - الطرق
ENGINE-	ظاهرة الصفع في محرك البنزين
DIESEL-	ظاهرة الطرق في محرك الديزل (خشونة العمل)
LEAD	- L - الرصاص
- COMPOUNDS,	مركبات الرصاص
LEVER	ذراع - ساعد
CONTROL-	ذراع التحكم (السيطرة)
LINKAGE	ارتباط - وصلة
LOSSES	ضياعات - مفاقد

MAIN	رئيسي - أساسي
MANGANESE	المنغنيز
MANIFOLD	مجمع - وصلة عامة
EXHAUST-	مجمع أنابيب الطرد
INLET-	مجمع أنابيب السحب
MASK	حاجز - قناع
MASS	كتلة
MEAN	وسطي - متوسط
MIXTURE	خليط - مزيج (من الهواء والوقود) - شحنة
- FORMATION	تشكيل الشحنة
HOMOGENOUS-	شحنة متجانسة
LEAN-	شحنة فقيرة بالوقود
RICH-	شحنة غنية بالوقود
-STRENGTH	تركيب (تركيز) الشحنة
MOLE (GRAM MOLECULE)	جزيء غرامي
MOLAR CHANGE	التغير المولي (تغير حجم الغازات نتيجة للاحتراق)
MOLYBDENUM	المولبدنوم
MOMENT	عزم - مزدوجة القوى
- OF INERTIA	عزم العطالة
TILTING-	عزم القلب في المحرك
MOMENTUM	كمية الحركة (التحرك)
ANGULAR-	كمية الحركة الزاوية
RATE OF CHANGE OF	معدل تغير كمية الحركة
MOTION	حركة

M-SYSTEM	نظام M لتحضير الشحنة
MUFFLER	(التحضير السطحي للشحنة) كاتم الصوت
- N - NAPHTHENES	مركبات النفثانات في الوقود الخام
NATURALLY ASPIRATED ENGINE	محرك بتغذية طبيعية
N-HEPTANE	الهيبتان العادي
NICKEL	النيكل
NITROGEN	الآزوت
- DIOXIDE	ثاني أكسيد الآزوت
- OXIDES	أكاسيد الآزوت
NITRIC OXIDE	أول أكسيد الآزوت
NITROUS ACID	حامض النيتروز (أزوتوز)
NOISE	ضجيج - ضجة
ENGINE- - LEVEL	ضجيج المحرك مستوى الضجيج
NOZZLE	فوهة
-CAP NUT	صامولة تثبيت الفوهة
INJECTION- - OPENING PRESSURE	فوهة الحقن الضغط الذي تفتح عنده فوهة الحقن
PILOT-INJECTION	فوهة الحقن الدليلي
PINTAUX-	فوهة بينتوكس (فوهة بينتل معدلة)
PINTLE-	فوهة بينتل (بمحور ارتكاز رأسي)

NUT	صامولة
CAP-	غطاء صامولي
LOCK-	صامولة زلق (تثبيت)

-O-

OCTANE	اوكتان
ISO-	الايزو اوكتان (وقود بمقاومة جيدة للصفع)
-NUMBER	رقم الاوكتان
- RATING	درجة الاوكتان
ORIFICE	فتحة - ثقب
CALIBRATED-	فتحة معيرة
OUTLET	مخرج - منفذ
PROGRESSION-	فتحة الانتقال من اللاحمل إلى الحمل
SLOW-RUNING-	فتحة السرعة البطيئة عند اللاحمل في المغذي
OXIDATION	أكسدة
OXYGEN	الاوكسجين
OZONE	الاوزون (جزء مشكل من ثلاث ذرات من الاوكسجين)

-P-

PARAFINS	المركبات البارافينية في النفط الخام
PARALLELOGRAM	متوازي الأضلاع
- OF FORCES	متوازي أضلاع القوي
PART	جزء - جزئي
- LOAD	حمل جزئي

- THROTTLE POSITION

وضعية صمام التحكم (مفتوح جزئياً)

PARTICULATES

جسيمات قاسية

PASSAGE

ممر - معبر

LONGITUDINAL-

ممر طولي

PEDAL

دواسة

ACCELERATOR-

دواسة التعجيل (في السيارة)

PENETRATION

اختراق - تغلغل

FUEL SPRAY-

اختراقية نافورة الوقود

PERFORMANCE

أداء

- CURVES

منحنيات الأداء

ENGINE-

أداء المحرك

PEROXIDE

البيروكسيد (مركب غني

بالأكسجين) - فوق أوكسيد

PETROL

وقود البنزين

- ENGINE

محرك بنزين

- INJECTION SYSTEM

نظام حقن الوقود في محرك

البنزين

PIN

محور صغير - مسمار - دسار

COTTER-

مسمار مشقوق (اللتئيم)

CRANK

المرفق الثانوي - دسار المرفق

GUIDEON-

أصبع (بنز) المكبس (بين

المكبس وذراع التوصيل)

KNUCILE-

محور ذراع التوصيل الثانوي

في المحرك

PINKING

الصوت الناتج عن ظاهرة

الصفع

PIPE	أنبوب - قسطل
FEED-	أنبوب تغذية
LAMINATED-S	أنابيب صفاحية (أقطار مختلفة ومحور واحد)
SPILL-	أنبوب رجوع الفائض
TAIL-	الأنبوب الخلفي (للسيارة أو لمحرك الطائرة النفاثة)
PISTON	مكبس
- ACCELERATION	تسارع المكبس
- DISPLACEMENT	النقل المكبس
MEN- SPEED	سرعة المكبس الوسطية
ROTARY	مكبس دوّار
-VELOCITY (SPEED)	سرعة المكبس
PLANIMETER	مقياس المسطحات (بلازيمتر)
PLUNGER	مكبس مضخة الوقود ذات الضغط العالي
POLLUTANT	منصر ملوث - ملوث
POLLUTION	تلوث
AIR-	تلوث الهواء
POLYTROPIC	بوليتروبي
- COMPRESSION	ضغط بوليتروبي
- EXPANSION	تمدد بوليتروبي
- PROCESS	أجراء بوليتروبي
PORCELAIN	بورسلان
PORT	مجرى - فوهة
DIRECTIONAL-	مجرى سحب فوهة
INDUCTION (INLET)	مجرى الدخول (السحب)

OUTLET(EXHAUST)-	مجرى الخروج (العادم)
SPILL-	فتحة لتصريف (الفائض)
SPIRAL-	مجرى سحب حلزوني
VORTEX-TYPE-	مجرى سحب دوراني
PPM (PART PER MILLION)	جزء من المليون حجماً
PREIGNITION	الإشعال المبكر
PRESSURE	ضغط
BACK-	ضغط معاكس
BOOST-	ضغط الشحن (القسمي)
BRAKE MEAN EFFECTIVE-(BMEP)	متوسط الضغط الفعال
CYCLE MEAN	متوسط الضغط للدورة
- GALLERY	غرفة الضغط (في مضخة الوقود)
INDICATED MEAN EFFECTIVE-	متوسط الضغط البياني
- RAYIO	نسبة الضغط (في الضاغط)
RESIDUAL-	الضغط المتبقي
PRESSURE RISE	ارتفاع الضغط
RATE OF--	معدل (سرعة) ارتفاع الضغط
PUMP	مضخة
DISTRIBUTOR-	مضخة موزعة
FEED-	مضخة تغذية
FUEL-	مضخة وقود
HIGH-PRESSURE-	مضخة ضغط عالي
- INJECTOR UNIT	وحدة مضخة/حاقن
JERK-	مضخة نابضة (مضخة الضغط العالي)
LIFT-	مضخة رافعة

PLUNGER-TYPE-

مضخة وقود بصمام (مكبس)

منزلق

POSITIVE DISPLACEMENT-

مضخة وقود بصمام منزلق

PRIMING-

مضخة تجهيز (تحضير)

- ROTOR

محور المضخة (الموزعة)

TRANSFER-

مضخة تحويل

-Q-

QUARTZ

كوارتز

FUSED

كوارتز مصهور

QUENCH

يخمد - يكبح

- AREA

المنطقة المخددة (الكابحة)

للصفح

- R -

RADIAL

قطري - باتجاه القطر

RADIATOR

مبرد - رادياتور

RACK

الجريدة المصفنة (في مضخة

الوقود)

RADICAL

أساس كيميائي

RADIUS

نصف قطر دائرة

RAM EFFECT

ظاهرة الهواء المتضاغط (رام)

RATE

معدل - سرعة

RATING

درجة - تقدير

CETANE-

درجة السيتان للوقود

NOMINAL

الشروط الاسمية (من سرعة

واستطاعة) للمحرك

OCTANE-

درجة الاوكتان للوقود

REACTION

تفاعل - رد فعل

BIOMOLECULAR-	تفاعل ثنائي الجزيئات
CHAIN-	تفاعل تسلسلي
CHEMICAL-	تفاعل كيميائي
DEGREE OF-	درجة رد الفعل (في التوربين)
- TURBINE	توربين رد فعلي (ارتكاسي)
REACTOR	مفاعل - مانع تلوث
CATALYTIC-	مفاعل وسيطي
THERMAL-	مفاعل حراري لمنع التلوث
RECIPROCATING MOTION	حركة ترددية
RECIRCULATION	إعادة تدوير
EXHAUST- GAS-(EGR)	إعادة تدوير غازات العادم إلى
	إسطوانة المحرك
REGENERATION	الاسترجاع الحراري في
	التوربينات
REHEATER	وحدة إعادة التسخين
REHEATING	إعادة التسخين
RECIPROCATING	ترددي
RETARD	تأخير - تعويق
IGNITION-	(زاوية) تأخير الاشتعال
INJECTION-	(زاوية) تأخير الحقن
REVERSIBLE	انعكاسي
REVERSIBILITY	خاصية الانعكاس
RIM	إطار - حافة خارجية
HEAVY-	أطار ثقيل
HEAVY-FLYWHEEL	حذافة باطار ثقيل
ROD	ذراع
CONNECTING-(CONROD)	ذراع التوصيل في المحرك

LINK-	الترندي V ذراع التوصيل الثانوي في
MASTER-	محرك V ذراع التوصيل الرئيسي في
ROLLING	محرك
- COEFFICIENT	تدريج - دروج (الآلية)
ROOTS BLOWER	معامل التدريج للسيارة
ROTOR	ضاغط روتس
ROUND OFF	محور - عمود دوار
RUNNER (IMPELLER)	يكور - يقرب
	الدفاع - العجلة الدوارة
	للمضخة
- S -	
SCAVENGER	مضخة كاسحة
SCAVENGING	عملية كسح الأسطوانة من بقايا
	الاحتراق
SCREW	لولب - بزال
SEAL	مانعة تسرب
GAS-	مانعة تسرب الغازات
SEPARATION	انفصال
SERVO CONTROL UNIT	وحدة تضخيم هيدروليكية
SERVO MECHANISM	آلية تضخيم (مضاعفة) الحركة
	هيدروليكي
SHAFT	محور - عمود
CAM-	محور (عمود) الكامات
OUTPUT-	محور القدرة (المعطاة
	للمستهلك)

SILICON	سيليكون
SLUDGE	كدارة - حمأة (مادة سوداء لزجة ناتجة عن خفق الزيت والماء في علبة المرفق)
SMOG	سموخ (ضباب صناعي ناتج عن تلوث الهواء)
SOOT	هباب الفحم
SPRAY	نافورة
FUEL~	نافورة الوقود
- HOLLS	فتحات التهدير
SPARK	شرارة
- ADVANCE	تقديم الشرارة
- PLUG	شمعة الاحتراق
- RETARD	تأخير الشرارة
SPEED	سرعة
SPEED CURVES	منحنيات السرعة
ABSOLUTE--	منحنيات السرعة الحدية المطلقة
CONTINUOUS RATING--	منحنيات السرعة الحدية الاستثنائية
PART LOAD--	منحنيات السرعة الجزئية
SMOKE-LIMITED--	منحنيات السرعة الحدية لظهور الدخان
SPINDLE	مسمار - محور طويل
SPRING	نابض
SQUISH	حركة الهواء المحورية إلى داخل غرفة الاحتراق عندما يتحرك الكبس إلى TDC

- AREA	منطقة المزيج في غرفة
BACK	الاحتراق حركة الهواء المعاكسة من غرفة الاحتراق عندما يبتعد المكبس عن TDC
STAGE	مرحلة
MULTI-	متعدد المراحل
SINGLE-	وحيد المرحلة
START	إقلاع
COLD-	الإقلاع البارد
STATOR	الجزء الثابت من الآلة الدوارة
STOICHIOMETRIC MIXTURE	شحنة من الهواء والوقود بنسبة
STORE	يحفظ - بخزن
STROKE	سوط المكبس
SUPERCHARGER	وحدة الشحن القسري
SUPERCHARGING	الشحن القسري
COMPOUND-	الشحن المختلط
EXHAUST-(TURBOCHARGING)	الشحن التوربيني
MECHANICAL	الشحن الميكانيكي
SUPPORTS	مساند - دعائم
SURFACE	سطح
COOLING - S	سطوح التبريد
- TENSION	التوتر السطحي
SWEPT VOLUME	الحجم المزاح (الفعال) للمحرك
SWIRL	دوامة - دوران
AIR-	دوامة هوائية
- COMBUSTION	غرفة احتراق دوامية

SYNCHROMESH

تشبيك تزامني للمسننات

- T -

TACHIMETER

جهاز قياس سرعة الدوران

TANTALUM

التانتوم

TEMPERATURE

درجة الحرارة

TETRAETHYLED (TEL)

رابع اثيل الرصاص

TETRAMETHYLEAD (TML)

رابع مثيل الرصاص

THERMAL

حراري

- CALCULATION

الحساب الحراري

- EFFICIENCY

الجودة الحرارية

THERMODYNAMICS

التيرموديناميك

FIRST LAW OF-

القانون الأول للتيرموديناميك

SECOND LAW OF-

القانون الثاني للتيرموديناميك

THROAT

عنق - اختناق

PRIMARY-

عنق أساسي

SECONDARY-

عنق ثانوي

THROTTLE

صمام التحكم (القرصي) في

محرك البنزين

THROTTLING

ظاهرة الخنق

TITANIUM

التيتانيوم

TOP DEAD CENTER (TDC)

النقطة الميتة العليا للمكبس

TORQUE

عزم الدوران - عزم الفتل

TOTAL VOLUME

الحجم الكلي لاسطوانة المحرك

TRIHEDRAL

ثلاثي السطوح

TUBE

أنبوب

TUNGSTEN

التنغستين

TURBINE

توربين - عنفة

AUTOMOTIVE GAS- AXIAL FLOW	محرك توربيني للسيارات توربين محوري (جريان محوري)
COMPRESSOR-(CT)	توربين للضاغط
GAS-(GT)	توربين غازي (محرك)
IMPULSE-	توربين دفعي
INDUSTRIAL GAS-	توربين غازي صناعي
JET PROPULSION GAS-	توربين غازي نفاث
MIXED FLOW-	توربين ذات الجريان المختلط
POWER – (PT)	توربين القدرة
RADIAL FLOW-	توربين قطري (جريان قطري)
REACTION-	توربين رد فعلي (ر.انكاسي)
SINGLE-SHAFT GAS-	توربين غازي بمحور واحد
THREE-SHAFT GAS-	توربين غازي بثلاثة محاور
TWO-SHAFT GAS-	توربين غازي بمحورين
TURBOCHARGER	الشاحن القسري التوربيني
TURBOCHARGING	الشحن القسري التوربيني
CONSTANT-PRESSURE-	الشحن التوربيني تحت ضغط ثابت
IMPULSE-	الشحن التوربيني الدفعي
TURBULENCE	اضطراب - هيجان
TURBULENCE	مضطرب - هائج
- FLOW	جريان مضطرب
- V -	
VALVE	صمام
BY-PASS-	صمام مساعد (فرعي)
CORRECTOR-	صمام (تصريف) مصحح

DELIVERY-	صمام تصريف
EXHAUST-	صمام طرد (عادم)
- GUIDE	دليل (مرشد) الصمام
- HOLDER	ماسك الصمام
INLET-	صمام الدخول
MASKED-	صمام (سحب) مع حاجز
METERING-	صمام معايرة
NEEDLE-	صمام إبري
OUTLET-	صمام خروج
OVERHEAD-	صمام علوي
- OVERLAP	تداخل (توافق فتح) صمامات السحب والطرد
PURGE-	صمام كسح
RETURN-	صمام رجوع
- SEAT	مقعد الصمام
SIDE-	صمام جانبي
SOLENOID-	صمام بملف لولبي
- SPINDLE	مسمار لدفع في صمام الحاقن
- SPRING	نابض الصمام
THROTTLE-	صمام التحكم (الفرص) في محرك البنزين
- TIMING	توقيت (فتح وإغلاق) صمامات السحب والطرد
VANE	شعرة - ريشة
VAPOUR	بخار (الوقود)
- RECOVERY SYSTEM	نظام استرداد بخار الوقود في المسيارة

VEE ENGINE	محرك اسطوانات مرتبة بشكل
VELOCITY	حرف V
ANGULAR-	سرعة
CRITICAL-	سرعة زاوية
- ENERGY	سرعة حرجية
- HEAD LOSS	الطاقة الحركية
- TRIANGLE WHIRL	الضبايع الناتج عن سرعة الحركة
VENTILATION	مثلث السرعات
POSITIVE CRANKCASE-(PCV)	المركب المماسي لسرعة الجريان المطلقة
- SYSTEM	تهوية
VENTURI	التهوية الايجابية لعلبة المرفق
POWER-	نظام التهوية
STRANGLER (CHOKE) DICK-	فنتوري
VISCOSITY	صمام القدرة (وحدة الانماء)
DYNAMIC-	صمام اختناق قرصي (وحدة الإقلاع)
KINEMATIC-	اللزوجة
VOLATILS	اللزوجة الديناميكية
VOLATILITY	اللزوجة الكينماتيكية
VOLUME	قابل للتطاير (التبخير)
CLEARANCE-	قابلية التطاير (التبخير)
SWEPT-	حجم
	حجم الخلوص في اسطوانة المحرك
	الحجم المزاح (الفعال) من قبل

TOTAL-	المكبس
UNLOADING-	الحجم الكلي للاستطوانة
VOLUMETRIC	الحجم المرغ (في صمام
- EFFICIENCY	التصريف)
	حجمي
	الجودة الحجمية
- W -	
WAVE	موجه
PRESSURE-S	موجات الضغط
SHOCK-S	موجات صدمية
WEAR	تآكل - إهتراء
CRANK PIN-	تآكل المرفق الذائوي
WEIGHT	وزن - ثقل
WORK	عمل
CYCLE-	عمل الدورة
ENGINE-	عمل المحرك
- Z -	
ZIRCONIUM	الزيركونيوم



المراجع

١. د. لوكاتين ب.ن وآخرون، محركات الاحتراق الداخلي - المدرسة العليا موسكو ٢٠٠٧.
٢. د. أورلين. آ. وآخرون، نظرية المحركات المكبسية - تضييع الآليات - موسكو ١٩٨٤.
٣. د. هوفاخ. م.، محركات السيارات - موسكو ١٩٧٧.
٤. د. كروتون. ب، التحكم الآلي وقيادة محركات الاحتراق الداخلي - موسكو ١٩٨٩.
٥. د. لوتكوب لوكاتين ب، استخدام أنواع الوقود المختلفة في محركات الاحتراق الداخلي، موسكو ٢٠٠٠.
٦. د. ماروزوف. ك، الملوثات في محركات السيارات - موسكو - ٢٠٠١.
٧. د. باكروفسكي. ج، التحكم الإلكتروني في محركات السيارات - موسكو - ١٩٩٤.

اللجنة العلمية:

- الأستاذ الدكتور أحمد فائز الزبيق
- الأستاذ الدكتور علي صبح
- الأستاذ الدكتور طارق الخاير

المدقق اللغوي: أحمد نتوف

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات
الجامعية