

الباب الخامس

وقود الديزل وأنواع أخرى من الوقود

obeikandi.com

الباب الخامس

وقود الديزل وأنواع أخرى من الوقود

وقود الديزل :

لقد كانت ماكينة الديزل الأولى التي ساعدت علي إشاعة استعمال وقود الديزل كبديل للفحم مصممة أصلاً لحرق الفحم كمصدر للطاقة . إذ أن مسحوق الكربون العالق في الهواء والذي استخدم كوقود في ماكينة الديزل في بداية الأمر يكون خليطاً قابلاً للاشتعال بمجرد زيادة الضغط أو تعريض الخليط إلي لهب أو شرارة كهربائية .

ولم يكتب النجاح لهذه الماكينة إذ قد تعرضت إلي انفجار وقد اضطر مخترعها إلي استبدال مسحوق الكربون بوقود الديزل وفي هذا النوع من مكائن الديزل يسحب الهواء إلي داخل الاسطوانة ويضغط إلي ما يقارب 3445×10^3 نيوتن / م² ويكون هذا الانضغاط مصحوباً بارتفاع عال في درجات الحرارة إلي ما يقارب 540 م ° .

وعند اكتمال مرحلة الانضغاط يضخ وقود الديزل علي شكل قطرات صغيرة حيث تلامس الهواء الحار وتبدأ في الاحتراق وهذا بدوره يرفع كل من درجة الحرارة والضغط ويعجل في حركة ضربة المكبس السفلي .

وتعتبر سرعة ماكينة الديزل من العوامل الرئيسية التي تحدد نوعية الوقود الملائم للاحتراق . ويمكن تصنيف هذه المكائن إلي بطيئة ومعتدلة وعالية السرعة . فالمكائن البطيئة والتي تتراوح سرعتها

من 100 إلى 500 دورة في الدقيقة الواحدة تستعمل في المكائن الكبيرة الواقفة أو الوحدات البحرية .

كما وان مكائن الديزل المعتدلة السرعة والتي تتراوح سرعتها من 500 إلى 1500 تستعمل في المولدات الكهربائية والمضخات والتراكتورات والمجرفات الأولية .

بينما تستخدم المكائن السريعة والتي تتراوح سرعتها من 1500 إلى 2000 أو أكثر في الحافلات الكبيرة والطائرات . ويكون هذا النوع من المكائن ذا قدرة وزن أقل بكثير من تلك المستعملة في المكائن القديمة .

مراحل الاحتراق :

تنقسم عملية احتراق الوقود في مكائن الديزل إلى أربعة مراحل :-

أولاً : تضخ قطرات الوقود في الهواء الساخن جداً حيث تمتص هذه القطرات الحرارة وتتحول من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية .

ثانياً : تحترق هذه الأبخرة المتطايرة وتزيد من درجة الحرارة والضغط داخل الاسطوانة .

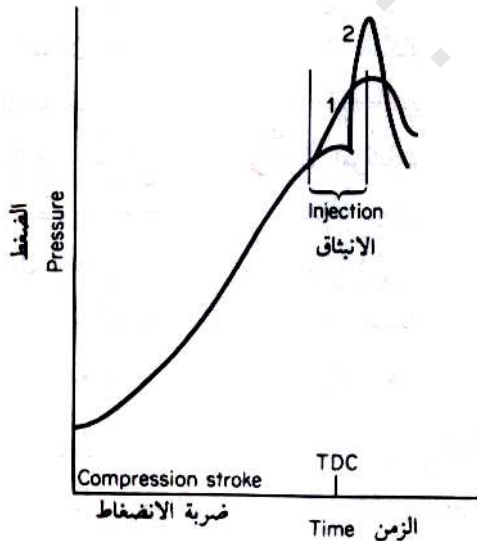
ثالثاً : تحترق قطرات الوقود التي لا تزال تتدفق داخل الاسطوانة وتكون لهيباً يزيد من ضغط الغازات التي تدفع المكبس إلى نهاية الضربة السفلي .

رابعاً : ينقطع ضخ الوقود إلى داخل الاسطوانة وتستمر القطرات غير المتبخرة أو الدهن الملامس إلى سطح الاسطوانة الداخلي عادة بوجود الترسبات الكربونية ويستغرق اكمال هذه الخطوات وقتاً صغيراً إذ لا يتعدي الجزء الصغير من الثانية .

كما يجب أن تكون فترة تسخين قطرات الوقود لحين حدوث الاحتراق قصيرة في الديزل السريعة إذ أن فترة ضخ الوقود يجب أن تستغرق فترة قصيرة جداً لأن القرقة غالباً ما تحدث في مكائن الديزل بسبب الاشتعال المؤخر (Retarded Ignition) .

أي عندما تكون فترة تسخين قطرات الوقود طويلة تؤدي إلى تجمع رذاذ من الوقود داخل الاسطوانة وتكون نسبة المواد البترولية في المزيج عالية مكونة خليطاً قابلاً للانفجار .

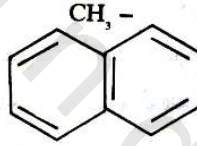
وتكون عملية الاحتراق الجيدة بعد انتهاء فترة ضخ الوقود مصحوبة عادة بارتفاع منتظم في الضغط إلى درجة قصوي . وهذا يتطلب فترة تأخر (Delay period) قصيرة واحتراق منتظم . وكما موضح في منحنيات الضغط التي تمثل الفرق بين احتراق ذو فترة تأخر قصيرة وطويلة (Short-and long-delay period) موضحة في الشكل التالي :



وتعتمد فترة التأخر (Delay period) علي عدة عوامل منها تصميم الماكنة ، نوعية المحقنة (Injector) حجم قطرات الوقود وطريقة مزج قطرات الوقود مع الهواء كلياً تؤثر علي فترة التأخر ولكن العامل الرئيسي والمهم هو المواصفات الكيمياوية لوقود الديزل .

العدد السيتاني : (Cetane Number) :

يتم تحديد جودة وقود الديزل بطريقة مماثلة لتلك التي استعملت لتصنيف جازولين السيارات ، حيث تتألف الوقود القياسية المستعملة لتحديد العدد السيتاني من السيتان القياسي ($C_{16}H_{34}$ normal Cetane) والفامثيل نفتالين (∞ - methyl naphthalene) .



وتشير الكلمة ألفا إلي أن مجموعة المثيل تكون مرتبطة إلي قمة احدي الحلقات المندمجة والسيتان هو عبارة عن سلسلة اليكان مستقيمة . ويعتبر هذا النوع من الهيدروكربونات من أحسن أنواع وقود الديزل المنتجة تجارياً ولذلك أعطي عدداً سيتانياً مساوياً إلي 100 .

وتكون المركبات الحلقية بصورة عامة ، والمركبات العطرية بصورة خاصة ، وقود ديزل رديء النوعية . فالفا مثيل نفتالين مثال علي ذلك أعطي عدداً سيتانياً مساوياً إلي صفر

وتمثل نسبة السيتان في خليط من السيتان والفامثيل نفتالين ذات طبيعة احتراق مشابهة للوقود المجري عليه الفحص بالعدد السيتاني لذلك الوقود .

وتتطلب المكائن العالية السرعة وقود ذو عدد سيتاني 50 أو أكثر بينما تشغل المكائن المعتدلة السرعة علي وقود ذي عدد سيتاني 45 . وتستعمل المكائن البطيئة وقوداً ذا عدد سيتاني بحدود 25 .

ومن الملاحظ أن اختيار وقود الديزل يتم وفق مواصفات كيميائية مخالفة لتلك المواصفات اللازمة والضرورية للجازولين . إذ تتميز جودة الجازولين بعدم الاشتعال عند الزيادة في الضغط الحاصل داخل الاسطوانة .

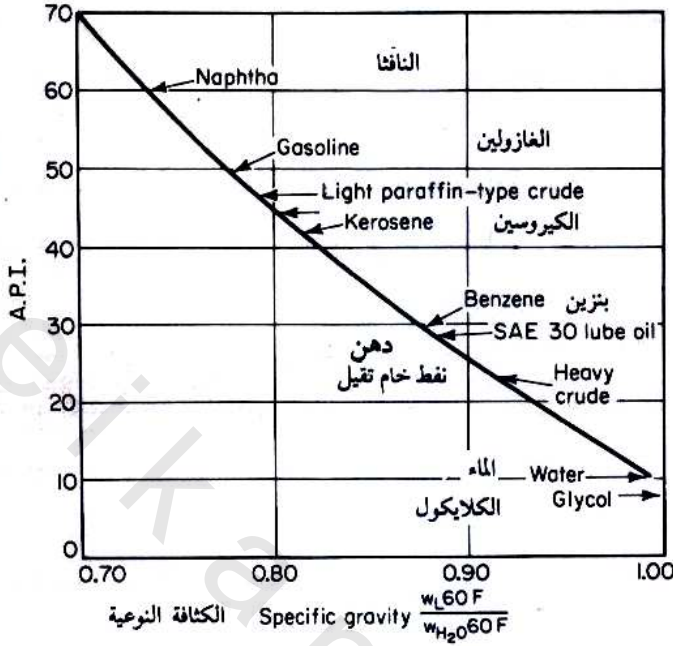
ولكن الخاصية المفضلة في وقود الديزل هي قابليته السريعة علي الاشتعال عند ارتفاع الضغط . فمثلاً العدد السيتاني لمادة ايسواوكتان (iso octane) الذي يعتبر من أحسن أنواع الجازولين هو 22 . بينما الهيبتان القياسي (n-heptane) ذو العدد الاوكتاني صفر يكون ذا عدد سيتاني 64 .

دليل الديزل : (Diesel Index) :

يرمز دليل الديزل إلي القيمة العددية التي توضح جودة وقود الديزل ويحسب عادة من معرفة أحد خواص الوقود الفيزيائية وهي الكثافة وخاصة كيميائية أخرى تدعي العدد الانيليني (API gravity and Aniline number) .

وتقاس عادة الكثافة بمقياس API المستعملة من قبل معهد البترول الأمريكي (American Petroleum Institute) . تبلغ كثافة الماء بدرجة حرارة 60 ف 10 درجة بمقياس API وتقل هذه الدرجة للسوائل الأكثر كثافة من الماء .

والعلاقة بين الكثافة المقاسة بـ API والكثافة النوعية موضحة في الشكل التالي ، كذلك يشير هذا الشكل إلي مواقع المنتجات البترولية المختلفة.



ويشير العدد الانيليني إلى درجة الحرارة التي عندها تصبح حجوم متساوية من الانيلين - مركب عضوي NH_3 - ، والمشتق البترولي ، غير ذائبة في بعضها البعض . لذلك فإن نقطة الانيلين تتناسب مع الكميات العطرية في المشتق البترولي . ويعرف دليل الديزل بما يلي :-

$$\text{دليل الديزل} = \frac{\text{نقطة الانيلين} \times \text{الكثافة (API)}}{100}$$

وكلما يزيد العدد السيتاني كلما تتحسن نوعية الوقود . ويزيد العدد السيتاني عادة بمقدار ثلاث وحدات عن دليل الديزل .

درجة الاشتعال ، نقطة الوميض ، نقطة الاحتراق :

من بين الخواص المهمة التي يجب قياسها لتحديد جودة الوقود هي درجة الاشتعال التلقائي ، نقطة الوميض ونقطة الاحتراق . وبغية الزيادة من

سرعة احتراق الوقود ، يجب أن تكون درجة اشتعال الوقود أقل بكثير من درجة حرارة الهواء المضغوط داخل الاسطوانة .

وترتبط درجة الاشتعال التلقائي (Spontaneous Ignition Temperature) ارتباطاً وثيقاً بمواصفات الوقود الكيميائية والفيزيائية . كما أن درجة اشتعال الوقود المقاسة مختبرياً تختلف عادة عن تلك التي يشتعل عندها الوقود داخل الاسطوانة نظراً لعوامل عديدة منها :

1- وجود الترسبات داخل الاسطوانة

2- مادة صنع جدران الاسطوانة وطبيعتها الفيزيائية

3- تركيز البخار

4- الضغط الكلي داخل الاسطوانة

ومن بين التجارب المختبرية التي صممت بحيث تكون ظروفها متقاربة لما يحدث حقيقة داخل الاسطوانة هي طريقة الانضغاط الادياباتي لمزيج من الهواء والبخار في اسطوانة حديدية حيث يتم الاشتعال .

وقد أجريت هذه التجربة علي العديد من المواد وكانت درجة اشتعال الهكسان 366م° ودرجة اشتعال الهيبتان (والذي يمثل نوعاً جيداً من وقود الديزل) 330 م° ودرجة اشتعال البنزين العطري (ذو عدد سيتاني 10-) هي 420م° . أما الجازولين يعطي قيم تتراوح بين 353 م° و 367 م° .

ويتم الحصول علي نقطة الوميض بواسطة الزيادة التدريجية في درجة حرارة المنتج البترولي داخل قـدح الوميض القياسي حتي تتجمع كمية معينة من البخار كافية لتكوين وميض عند مرور لهب فوق فوهة القدح .

وتعتبر درجة الحرارة التي تحدث عندها هذه الظاهرة بنقطة وميض المنتج البترولي . وتشير بصورة غير مباشرة إلى مقدار المواد المتطايرة والموجودة داخل السائل . وتستخدم عادة كمؤشر لتجنب مخاطر الحرائق عند خزن ونقل المشتقات البترولية .

وجهاز نقطة الوميض الاتوماتيكي حيث تتم السيطرة علي التسخين الكهربائي في هذا الجهاز بواسطة ترمومتر مقاومة (Resistance Thermometer) مغمور في العينة تحت الفحص . وينظم معدل التسخين اوتوماتيكياً بحيث لا يزيد عن $\frac{60^\circ\text{م}}{\text{دقيقة}}$ خلال 28°م الأخيرة . ويتم إمرار لهب فوق فوهة القدم كل ستة ثواني .

وعند حدوث نقطة الوميض ، يغير لهب الوميض من موسعة المكثف الدائري (Capacitance of a circular condenser) وهذا بدوره يقدح التأثيرات (Trigger rhyration tube) والمرحل (Relay) الذي يقطع مصدر الحرارة . ومن ثم تسجل درجة الحرارة علي جهاز التسجيل (Recorder) في نفس اللحظة .

وتختلف نقطة الاحتراق من نقطة الوميض إذ تمثل درجة الحرارة التي عندها يكون ضغط بخار السائل أو مقدار الأبخرة المتصاعدة من جراء التسخين كافية لديمومة احتراق الوقود .

محسّنات وقود الديزل :

ويمكن تحسين خواص وقود الديزل بإضافة بعض المركبات الكيميائية الخاصة مثل نترات الاثيل (Ethyl Nitrate) ونتريت الاثيل (Ethyl- Nitrite) ونترات الامونيوم .

وتستعمل أنواع عديدة أخرى من المواد المضافة ولأغراض مختلفة .
فمثلاً تستخدم مركبات مانعة التفاعل الكيميائي (Inhibitor) لتأخير أو منع
تكوين الصمغ الراتنجي ، وجزئيات البولي هيدروكربونات الكبيرة
لمنع حدوث تغييرات كبيرة في خواص الوقود الفيزيائية مع ارتفاع
درجات الحرارة .

كذلك تستخدم بعض المواد المحسنة الاخرى التي تقلل من حدة الشد
السطحي والتي بدورها تسهل من عملية انشطار القطرات الكبيرة وتسفر عن
تكون رذاذ صغير متجانس .

نقطة الادخان : Smoke point :

يعتبر تكون الدخان للمنتجات البترولية عند الاحتراق عاملاً مهماً إذ
انه يساعد علي تجمع الترسبات الكربونية ، السخام (Soot) . وتحرير
الغازات المستهلكة الفذرة (Dirty cxhaust Fumes) .

وقد أشارت البحوث إلي أن حدة التدخين للمواد الهيدروكربونية
تتزايد تدريجياً في السلاسل التالية كما يلي : الكانات
الاعتيادية (n-alkanes) > الايسو الكانات Iso-alkanes > الكينات
الحلقية > المركبات العطرية Aematios .

كما تختلف حدة تدخين المركبات البرافينية الحلقية من بعضها البعض
ويصعب تحديد مكانها بين السلاسل الاخرى إذ أن قابلية التدخين تعتمد علي
حجم وتركيب الجزيئات .

وقد عرفت نقطة الادخان كأقصى ارتفاع للهب مقاساً بالمليمترات
وعنده يحترق الوقود بدون تولد دخان داخل المصباح القياسي المصباح
القياسي يستعمل لتحديد نقطة الادخان

وبغية قياس نقطة الادخان ، تشبع الفتيلة أولاً بالمادة البترولية المراد فحصها ومن ثم تثبت الفتيلة في مكانها داخل المصباح ، يوضع 20 مل من العينة داخل الوعاء (R) ويعاد ربطه إلي الجهاز وتشعل الفتيلة وتنظم بحيث يصبح طول اللهب 1 سم .

يترك المصباح مستمراً علي الاحتراق لمدة خمس دقائق وترفع الفتيلة تدريجياً بواسطة القرص (S) حتي يكون اللهب مصحوباً بانبعثات دخان ومن ثم تخفض الفتيلة حتي يخفّي الدخان كلياً .

يقاس ارتفاع اللهب عند هذه النقطة براءة التدرّج علي المدخنة بالملمترات . تعاد العملية أعلاه ثلاث مرات ويمثل معدل القراءات إلي اقرب مليمتر نقطة الادخان . والجدول التالي يبين نقاط الادخان لبعض المواد الكيميائية المختلفة .

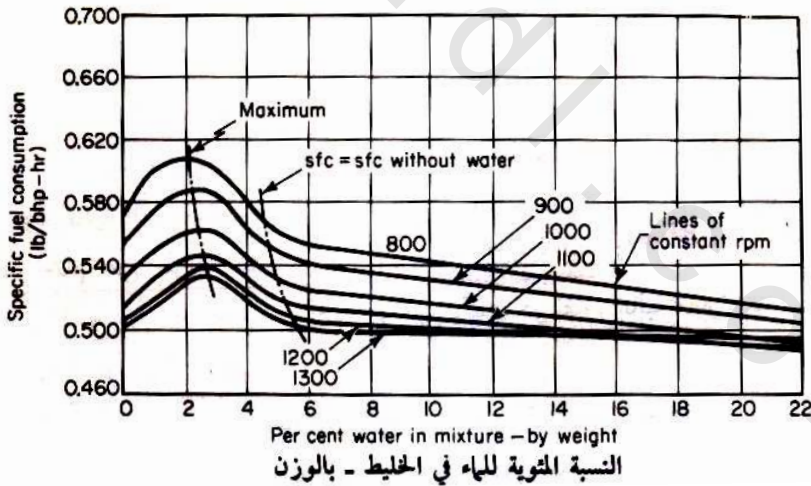
نقطة الادخان إلي بعض المركبات

117	الهيكسان الحلقي	144	الهيكسان الاعتيادي
8	بنزين	147	الاوكتان الاعتيادي
6	توليين	86	4,2,2 تراي مثيل بنتان
5	بيرازايليين	88	I - هيكسيون
5	ثايوفينول	99	I- اوكتين
4	فينيل سلفايد	102	هيكسيل ميركتان
15	انيلين	114	هيكسل سيلفايد

وتستخدم العديد من المركبات الكيميائية التي تقلل من وحدة الادخان . وهي عبارة عن مركبات عضوية معدنية وذات صيغة كيميائية FeR_2 ، حيث أن الرمز (R) يمثل جذر بنتادين الحلقي (Cyclic pentadiene) . وان إضافة 0.1 بالمائة من المركب أعلاه يحول اللهب المصحوب بالسخام الكثيف إلي لهب خال من الدخان .

ولقد اكتشف الباحثون أن وجود الماء علي شكل مستحلب مع وقود الديزل قد يساعد علي تقليل الدخان المصاحب للاحتراق ويقلل من حدة الترسبات الكربونية داخل الماكينة .

فقد أشارت البحوث إلي أن وجود الماء بنسبة 5% أو أقل أدت إلي زيادة مقدار الوقود المستهلك للقوة الحصانية الواحدة إلا أن زيادة الماء فوق هذه النسبة أدت إلي زيادة الكفاءة الحرارية .



إذ قد بلغت الزيادة القصوي في الكفاءة الحرارية 9.7% للوقود الذي يحتوي علي 22.5% من الماء . والشكل التالي يبين العلاقة

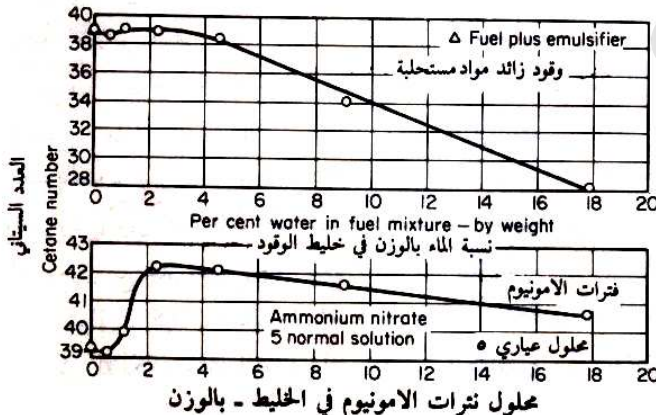
بين استهلاك الوقود النوعي ونسبة الماء المئوية الموجود علي شكل مستحلب داخل الوقود .

وعند إضافة محلول نترات الامونيوم بدلاً من الماء إلي وقود الديزل تسير عملية الاحتراق بانتظام وتكون غير مصحوبة بالقرقرة التي غالباً ما تحدث عند حرق وقود الديزل وحده .

إن هذا يشير إلي حدوث زيادة في العدد السيتاني . وإضافة إلي ذلك ، تكون السرعة التي تتراوح بين 100 إلي 1200 دورة بالدقيقة مصحوبة بزيادة في الكفاءة الحرارية . الشكل (6.9) يوضح تأثير مستحلب نترات الامونيوم علي العدد السيتاني لوقود الديزل .

البتروال الأبيض : (Kerosene) :

ويطلق الاصطلاح البتروال الأبيض أو زيت الفحم علي ناتج التقطير للبتروال الخام بين 175 إلي 1200م° . وذات كثافة تتراوح من 43 إلي 45 درجة علي مقياس API . يجب أن يكون الكيروسين خال من المركبات العطرية والمركبات الهيدروكاربونية الغير مشبعة والمركبات الحاوية علي الكبريت .



لأن وجود مثل هذه المركبات يزيد من حدة الأدخنة المتطايرة ، ولتحديد نسبة المركبات الهيدروكاربونية الغير مشبعة في الكيوسين يفضل إنتاجه بطريقة التقطير الاعتيادي للبتروال الخام علي طريقة التكسير الحراري للمشتقات البترولية .

كما أن البترول الأبيض المنتج من بترول خام من أصل برافيني يكون ذو نقاوة عالية مقارنة بذلك المنتج من أصل عطري . وتجري العديد من التفاعلات الكيميائية علي الكيوسين الحاوي علي مواد عطرية ومركبات هيدروكاربونية غير مشبعة قبل استعماله كوقود للطبخ والتدفئة .

وفي الماضي كانت عملية التحلية تنحصر بمعاملة البترول الأبيض بحامض الكبريتيك المركز لإزالة المركبات العطرية والمواد الهيدروكاربونية الغير مشبعة . إلا أن هذه الطريقة تسفر عن خسارة كبيرة بالمواد الكيميائية والمواد البترولية وأصبحت غير عملية من الناحية الاقتصادية في الوقت الحاضر .

ولقد استبدلت الطريقة أعلاه بطريقة أخرى تسمى طريقة اللديليو **Eldeleneau process** تتضمن هذه الطريقة معاملة البترول الأبيض مع ثاني اوكسيد الكبريت السائل **Liquid So₂** في درجة حرارة منخفضة تتراوح من -12م إلي -10م وتحت درجة عالية من الضغط لمنع تبخر ثاني اوكسيد الكبريت .

وأثناء عملية المزج تذوب المركبات العطرية والمركبات الحاوية علي الكبريت في سائل ثاني أوكسيد الكبريت ومن ثم تفصل عن المذيب بعملية التقطير ، وفي نهاية العملية يعامل البترول الأبيض المنقي قبل عرضه إلي الأسواق بمحلول هيدروكسيد الصوديوم .

ومن الطرق الحديثة المتبعة لتحلية البترول الأبيض هي طريقة الهدرجة والتي تتضمن معاملة البترول الأبيض بغاز الهيدروجين تحت عوامل مساعدة من الكوبالت - موليبدنوم **Cobalt-Molybdenum** وظروف معينة من الضغط والحرارة .

وفي هذه الظروف تتفاعل المركبات الحاوية علي عناصر الكبريت أو النتروجين مع غاز الهيدروجين مكونة غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S والامونيا NH_3 علي التوالي . كما أن معظم السلاسل الغير مشبعة تتفاعل مع الهيدروجين مكونة سلاسل الالكان **Alkanes** .

وبذلك يصبح الكيروسين ذو نقاوة وجودة عالية لأغراض التسخين والاستعمالات الاخرى . ولقد كان استعمال البترول الأبيض قليلاً ومقتصراً في بداية الأمر لأغراض التسخين فقط . إلا انه بعد اكتشاف الطائرات النفاثة فقد ازداد معدل استهلاك الكيروسين كوقود لمثل هذا النوع من المكين بعد إجراء بعض التعاملات الكيميائية والفيزيائية عليه .

إن وقود الطائرات والمسمى بـ **Aircraft Turbine Kerosene** يكون ذو نقاوة عالية جداً إذ أن درجة الانجماد لا تزيد علي 50 لمنع تكون البلورات الصلبة التي تؤدي إلي انسداد أنابيب توصيل الوقود .

ومن الخواص المهمة لوقود الطائرات **ATK** هو درجة اللزوجة ، درجة الانجماد ، والقابلية علي التبخر والجدول التالي أدناه يبين المواصفات الكيميائية والفيزيائية لوقود الطائرات .

مواصفات وقود الطائرات ATK

40	الكثافة بمقياس API
41 م° الحد الأدنى	نقطة الوميض
170 م°	المقطر 10% بالحجم
275 م°	نقطة الغليان النهائية
25 الحد الأدنى	اللون بطريقة السيبوليت
30 جزء بالمليون	الكبريت
سالب	الكشف Doctor test
10 ملجم الحد الأعلى كجم	قيمة التفحم Char Value
6 ملجم الحد الأعلى 100 مل	المواد الصمغية
25 ملم الحد الأدنى	نقطة الادخان
50- م° الحد الأعلى	نقطة الانجماد
لا توجد	الحامضية الغير عضوية

وقود الصواريخ : (Rocket Fuels) :

يشمل وقود الصواريخ مواد اعتيادية مثل الجازولين والكيروسين ،
ويكون معدل احتراق الوقود في الصواريخ عال جداً مقارنة

باستهلاك الطائرات النفاثة والتوربينات الغازية ويكون مصحوباً بارتفاع عال في درجات الحرارة .

فدرجة الحرارة في موتور الصاروخ (Rocket Motor) تتراوح بين 2760 إلى 3310 م° ، بينما تتراوح درجة حرارة ماكينة الطائرات النفاثة بـ 975 م° .

ويتم الحصول علي هذا المعدل السريع من الاحتراق بواسطة استعمال الأوكسجين السائل أو بعض المواد المؤكسدة القوية مثل 95 إلى 100 بالمائة بيروكسيد الهيدروجين وحامض النتريك المدخن Fuming Nitric Acid كما قد تم تجربة الأوزون ، الفلور ، الكلور تريايفلورايد كمواد مؤكسدة قوية .

وعلي سبيل المثال فإن الصاروخ الألماني V-2 Missile والذي استعمل في الحرب العالمية الثانية قد زود بالوقود المكون من ثلاثة وربع طن من الكحول ومن ستة وثلاثة أرباع طن من الأوكسجين السائل . ويولد معدل احتراق الوقود دفها Thrust كاف لرفع الصاروخ البالغ طوله 14م إلي ارتفاع 195 كم .

تصنيف وقود الصواريخ : Classification of Rocket Fuels :

تصنف وقود الصواريخ بكمية تسمي الدفع النوعي . ويعرف الدفع النوعي بمقدار الدفع بالباونات لكل باوند وقود في الدقيقة الواحدة . ويكون وقود الصاروخ الجيد ذو دفع نوعي مساوياً 250

والجدول التالي أدناه يبين الدفع النوعي لبعض الوقود المختلفة والعوامل المؤكسدة القوية .

الدفع النوعي لبعض الوقود المختلفة والعوامل المؤكسدة القوية

الوقود	المادة المؤكسدة	الدفع النوعي
$C_2H_5 - OH$	$1.5 O_2$	242
$C_2H_5 OH$	$4H_2 O_2$ (%99)	230
JP_4	$2.2 O_2$	248
NH_3	$1.3 O_2$	250
JP_4	2.3 (%70 O_2 , %30 O_3)	253
	1.9 (% 100 O_3)	266
JP_4	$2.6 F_2$	265
$NH_2 NH_2$	$0.63 O_3$	277
NH_3	$2.6 F_2$	288
$B_2 H_6$	$5.0 F_2$	291
$CH_3 OH$	$2.3 F_2$	296
$NH_2 NH_2$	$1.98 F_2$	298
H_2	$8.1 O_2$	511

وقود الصواريخ الصلب :

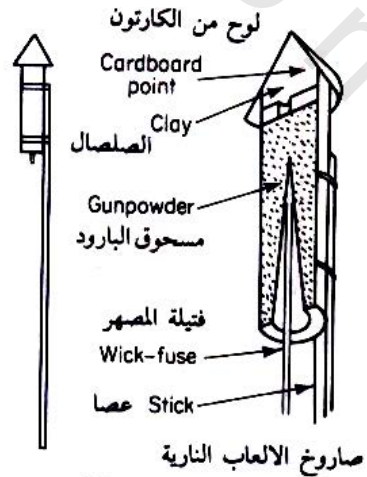
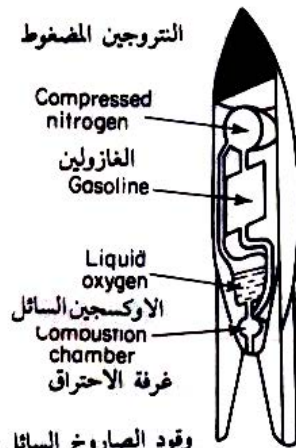
إن مصدر قوة الدفع في الصواريخ المستعملة في الألعاب النارية هو الغازات الساخنة والناجمة عن احتراق مسحوق البارود الصلب . وان معظم الصواريخ القاذفة الصغيرة مثل صواريخ الطائرات بحجم 7 سم تحرق خليطاً من نايتروجل سيرين والنايتروسيلولوز **Nitroglycerine – nitrocellulose** .

كما قد أثبتت التجارب إمكانية استعمال ثايكول **Thiokol** ، هيدرازين **hydrazine** بورايد معينة **Certain Borides** ، ومختلف البوليمرات **Polymers** كوقود صلب بعد اختيار العامل المؤكسد المناسب .

ورغم إمكانية تنظيم احتراق الوقود الصلب بتحديد مكونات وشكل وحجم حبيباته ، لا تزال عملية السيطرة علي احتراق معقدة مقارنة بتنظيم احتراق الوقود السائل .

وقود الصواريخ السائل :

الشكل التالي يمثل مخططاً توضيحياً لصاروخ يحرق الوقود السائل إذ أن النتروجين المضغوط أو أي عنصر خامل آخر يدفع الوقود بكميات منتظمة إلي داخل غرفة الاحتراق .



ويتم رفع درجة حرارة الوقود الداخل ودرجة حرارة موتور الصاروخ بمبادلات حرارية ملائمة الشكل التالي يوضح الصاروخ أطلس والذي استخدم لدفع 7 Friendship إلى مداره مستخدماً سائلاً هيدروكربونياً مع سائل الأوكسجين .

يعتبر الهيدروجين وقوداً مثالياً من حيث مقدار تحرر الحرارة للباوند الواحد إلا انه يتطلب ضغطاً عالياً لتحويله إلى سائل ويجب أن يكون الخزان بمثابة معينة لتحمل هذا الضغط العالي .

" الأسئلة "

- 1- عرف العدد السيتاني .
- 2- كيف يمكن تقصير فترة التأخر .
- 3- ما هو دليل الديزل وما هو فحواه ؟
- 4- من بين المركبات التالية حدد المركب الذي يسفر حرقه عن تولد اكبر كمية من الدخان C_6H_6 , C_6H_{14} , C_6H_{12} .
- 5- اذكر ثلاث سنات إلي وقود الديزل .
- 6- ما هو الفرق بين نقطة الوميض ، نقطة الاحتراق ، ونقطة الاشتعال .
- 7- وقود الهيدروجين مع الفلورين يكون ذو دفع نوعي 350 .
بين مساوئ ومحاسن هذا الوقود مقارنة مع وقود خليط الفلورين - هايدروكربون