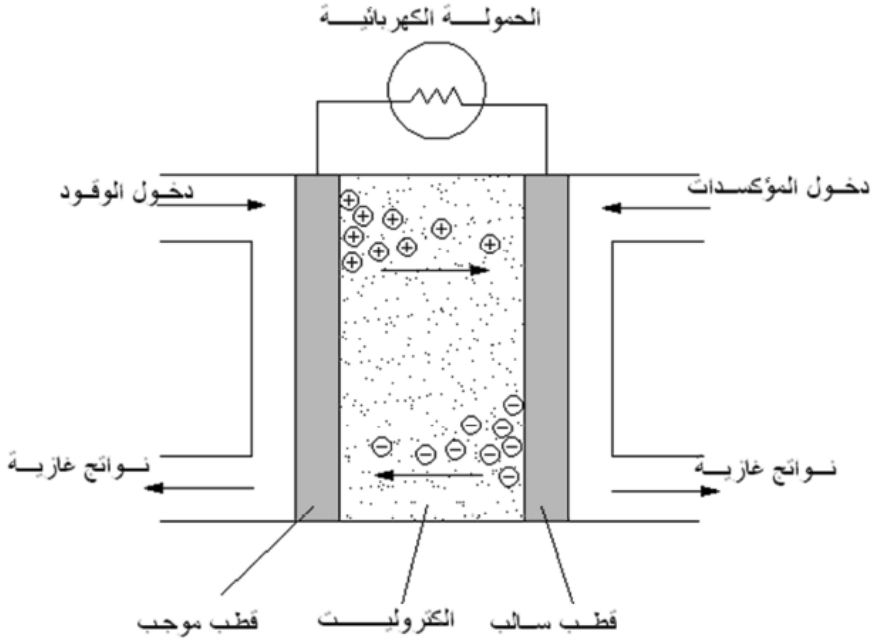
خلايا الوقود Fuel Cell

تكمن أهمية دراسة خلايا الوقود في الدور الكبير المتوقع لها في المستقبل كمصدر للكهرباء بنسب منخفضة من التلوث البيئي ، حيث تتم الدراسات والأبحاث لاستخدامها في مشاريع توليد الطاقة الكهربائية وتطوير صناعة وسائط النقل ولا سيما السيارة الكهربائية التي ستخدم فيها الهيدروجين أو الميثانول أو الغازولين.

ماهي خلية الوقود ؟؟

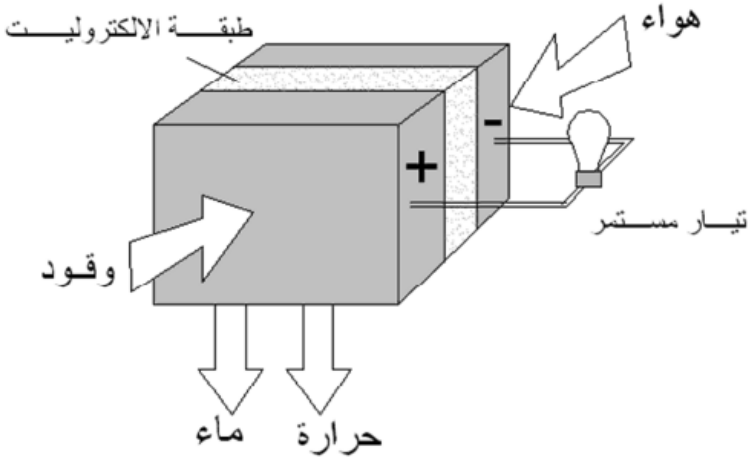
هي جهاز كهروكيماوي يحول الطاقة الكيميائية مباشرة إلى طاقة كهربائية ، تتكون خلية الوقود من محلول كهرليتي (الكتروليت) على تماس مع قطبين كهربائيين هما المصعد والمهبط على كل جانب الشكل (46) يوضح مكونات خلية الوقود والمواد الداخلة بالتفاعل و حركة الشوارد الكيميائية .



الشكل (46)

في خلية الوقود النظامية يتم حقن الوقود الغازي إلى حجرة الالكترود السالب كما يتم حقن مادة مؤكسدة إلى حجرة الالكترود الموجب،التفاعل الكهروكيماوي الحاصل عند سطوح الالكترودات ينتج عنه التيار الكهربائي، إن مبدأ عمل خلية الوقود يشبه لحد ما مبدأ عمل البطاريات مع وجود فارق فالبطارية هي جهاز لاختزان الطاقة بشكل كيماوي طالما أن هناك تفاعلاً كيماوياً يحدث داخل البطارية فإن هناك تياراً كهربائياً على مخارج البطارية و عندما يضعف التفاعل الكيميائي (ضعف التيار الكهربائي المقدم من البطارية) يتم إعادة شحن البطارية أي أن هناك مصدر خارجي لتزويد البطارية بالطاقة اللازمة ،

بالنسبة لخلية الوقود لا يتم اختزان الطاقة بل تحويلها من شكلها الكيميائي إلى الشكل الكهربائي طالم أنه يتم حقن الوقود والمؤكسدإلى الالكترودات أي لا نحتاج لمصدر كهربائي كما هو الحال في البطارية القابلة للشحن .



الشكل(46 ب)

إن مهمة طبقة الكهرليت electrolyte هي تأمين وسط الانتقال للشوارد أي نقل التيار الكهربائي عبر ها بالإضافة لضمان عدم حدوث تماس بين الوقود و المادة المؤكسدة .
أما وظيفة الالكترودات فهي تأمين سطح لحدوث تفاعلات التأين أو توليد الشواردionization كذلك تأمين نقل الشوارد المتولدة عبر الوسط ذو الأطوار الثلاثة لذلك يجب تصنيع الالكترود من مادة ذات ناقلية كهربائية عالية و نشيطة كيميائياً لضمان حدوث التفاعل الكيماوي و لا سيما في بيئة تنخفض فيها درجة الحرارة .
يتم استخدام الهيدروجين كوقود في معظم أنواع خلايا الوقود بسبب قدرته العالية على إحداث التفاعل الكيماوي و سهولة الحصول عليه من المواد الهيدروكربونية بالإضافة لكثافة الطاقة القابلة للاختزان عندما يتطلب الأمر اختزان الطاقة مثل مشاريع رحلات الفضاء .
المادة المؤكسدة المستعملة هي الأوكسجين الغازي المتوفر في الجو والذي من السهل اختزانه في حاويات خاصة ، هناك توازن في عمل مكونات خلية الوقود الالكترودات و الطبقة الكهرليتية و الغازات المتدفقة عبر طبقة الكهرليت فإذا كان الكهرليت ضمن حجرة الالكترود زائداً فاضت هذه المادة و أعاقت أو أوقفت عمل الخلية .
خلايا الوقود الحديثة تمتاز بصغر حجم المكونات الداخلية و بمردود عالي للتفاعل الكهركيماوي و بتكلفة إنتاج منخفضة نسبياً.

4-5 -1تصنيف خلايا الوقود :

هناك عدة عوامل تؤخذ بالحسبان عند تصنيف خلية الوقود منها طريقة معالجة الوقود داخل الخلية أ، خارجها (تنقية داخلية أو تنقية خارجية) ،نوع الالكتروليت أو الكهرليت ، درجة حرارة التشغيل.
الطريقة الأكثر اتباعاً لتصنيف خلايا الوقود هي بالاعتماد على نوع الالكترود المستخدم لذلك نصنفه حسب الفئات التالية :
1- خلايا الوقود البوليميرية polymer electrolyte fuel cell (PEFC), .
2- خلايا الوقود القلوية alkaline fuel cell (AFC), .

منشآت خلايا الوقود لتوليد الطاقة الكهربائية :

تقوم خلية الوقود بتركيب الهيدروجين المأخوذ من الوقود مع الأوكسجين المأخوذ من الهواء لإنتاج تيار كهربائي مستمر بالإضافة للماء والحرارة ،في حال استخدام غاز الميتان في التفاعل لتوليد الهيدروجين اللازم يكون من النواتج الغازية غاز ثاني أوكسيد الكربون، يجب أن يتم التفاعل الكيماوي عند ضغط ودرجة حرارة مناسبين ،يتم بناء المنشأة حول مجمع خلايا الوقود لتزويدها بالهواء والوقود النقي ، الطاقة الكهربائية الناتجة على شكل تيار مستمر يتم معالجتها بحيث تصبح مناسبة للاستخدام في الشبكة الكهربائية ،الحرارة الناتجة عن التفاعل الكيماوي يتم سحبها و الاستفادة منها .

تبدأ مراحل العمل بمعالجة الوقود الداخل (غاز طبيعي ،ميثانول ،فحم حجري ،غازات كربوهيدرية) حيث يتم تنقية الوقود وتصفيته بعدها يتم تحويله لغاز يحتوي على الهيدروجين، يتولد التيار الكهربائي المستمر من مجموعة الخلايا المصطفة والمتراصة في كتلة واحدة تشبه الخلايا المكونة لبطارية السيارة حيث تصطف صفائح الرصاص لجانب بعضها البعض ، مجموعة الخلايا المتراصة في كتلة واحدة تسمى stack (رفوف التجميع) عدد هذه الرفوف يحدده قيمة التيار الكهربائي المطلوب الحصول عليه ،المرحلة الأخيرة تكون بمعالجة التيار المستمر وتحويله لتيار متناوب بتردد مناسب يمكن حقنه للشبكة العامة .

3-5-4 دراسة تفصيلية لبعض أنواع خلايا الوقود :

1- خلية الوقود البوليميرية PEFC :

تمتاز هذه الخلية بالقدرة على تقديم كثافة تيار كهربائي عالية ، صغر الحجم والوزن ،تكلفة منخفضة نسبياً .الحاجز المسامي غير القابل للتحريك الموجود ضمنها والذي يشكل طبقة الالكتروليت يسهل من تشكيل تصميم كتيم ضد التسرب أثناء عملية التصنيع كذلك يخفض من عوامل التآكل الداخلي ويعطي عمراً أطول للخلية . تمتاز هذه الخلية أيضاً بالإقلاع السريع و تجاوب متوسط للتغير في الطلب على الطاقة على مخرجها المغذي للأحمال الكهربائية ،تستخدم هذه الخلية في وسائط النقل الصغيرة . لاحظ الشكل (47) .

الحاجز المسامي ضمن الخلية يلعب دوراً هاماً في تأمين حركة الشوارد وحجز الغازات الناجمة عن التفاعل ، يستخدم حمض قوي لتأمين الاحتكاك والتفاعل بين جانبي الحاجز المسامي و سطوح عناصر التنشيط الكيماوي ، الدراسات الحديثة أثبتت أن الخلية تعمل وبشكل جيد حتى بدون إضافة الحمض ولا تحتاج سوى لحاجز مسامي رطب ، طبقة الالكتروليت (الحاجز المسامي) متوضعة كشريحة (تشبه في توضعها السندويش) بين شريحتين مساميتين هما القطبان الكهربائيان الموجب والسالب مصنوعان من البلاتينيوم ،أحد سطوح القطب تطلى بمادة التفلون لتسهيل انتشار الغاز .

التفاعل الكهروكيماوي في الخلية يسير بالشكل التالي : غاز الهيدروجين عند المصعد (القطب الموجب) يولد البروتونات المتجهة عبر الالكتروليت نحو القطب السالب (المهبط) و تتفاعل مع الأوكسجين و ينتج عن ذلك الماء وبشكل متعاقب عند المهبط .

لدى استخدام هذا النوع من الخلايا في وسائط النقل فإن الوقود المستخدم على الأغلب هو الميثانول يمكن استخدام الهيدروجين المضغوط ضمن حاويات خاصة قابلة للنقل ،كذلك يستخدم الغازولين المؤكسد جزئياً كوقود ،يمكن استخدام هذه الخلية لمشاريع توليد الطاقة الكهربائية ويستخدم كوقود الغاز الطبيعي أو أي غاز غني بالهيدروجين .

العمل بدرجة تشغيل منخفضة نسبياً يعتبر صفة إيجابية وسلبية بنفس الوقت ،فهو ميزة إيجابية حيث تستطيع الخلية العمل بظروف المحيط و تقلع للعمل بسرعة حتى بظروف عمل بوقود فقير بالهيدروجين ،وبنفس الوقت صفة سلبية حيث من الضروري توفر عنصر البلاتينيوم لتحقيق التفاعل الكهروكيماوي ، غاز أحادي الكربون يرتبط بقوة إلى موقع البلاتينيوم عند درجات حرارة أقل من 150 درجة مئوية و يأخذ موقع غاز الهيدروجين على القطب ،لذلك لا بد من آلية لإنقاص نسبة أحادي الكربون في الوقود الغازي المستخدم .

وظيفة الماء في الخلية :
يتم إنتاج الماء في الخلية ليس كبخار فقط إنما كسائل من النقاط المهمة الاحتفاظ بنسبة معينة من الماء ضمن طبقة الالكتروليت لتأمين الناقلية الجيدة للشوارد ، الناقلية للشوارد تكون أعلى عندما يكون الحاجز المسامي مشبعاً بالماء و هذا يعني مقاومة كهربائية صغيرة في وجه حركة التيار الكهربائي وبالتالي زيادة مردود الخلية .
يجب المحافظة ضمن الخلية على التوازن بين الماء المتشكل والماء المتبخر ، فإذا كان الماء المستهلك كبخار وغيره أكثر من الماء المتشكل عندها يجب تعريض الغاز الداخل للمصعد للرطوبة، أيضاً إذا كانت نسبة الرطوبة عالية عندها ستفيض الأقطاب مما يمنع حركة الغاز عند الأقطاب .
عندما تكون كمية الماء دون الحد المطلوب ينتج : تياركهربائي أقل ،حركة جريان أكبر للعناصر المتفاعلة ، رطوبة أقل ،درجة حرارة أعلى ، ضغط أقل .
عندما تكون كمية الماء زائدة عن الحد المطلوب ينتج : تيار كهربائي أعلى ،حركة جريان أقل للعناصر المتفاعلة ، رطوبة أعلى ،درجة حرارة أقل ، ضغط أعلى .
معظم الخلايا من هذا النوع مزودة بصفائح لاقطة من الغرافيت لالتقاط التيار الكهربائي وتوزيعه و توزيع الغازات و التحكم بالحرارة ، التبريد يتم باستخدام سائل تبريد (المبرد) و عل الأغلب يستخدم الماء لهذا الغرض .
إن وجود نسبة من أحادي أوكسيد الكربون ولو 1% ضمن الوقود الهيدروكربوني المستخدم ستنعكس سلباً على عمل الخلية حيث سيمنع حركة الهيدروجين لمواقع عناصر التفاعل ،لذلك يجب تعريض الوقود لعملية معالجة خاصة لتخفيض كمية أول أوكسيد الكربون ،إن استخدام أنظمة معالجة سيزيد من

4-5-4 أنظمة الطاقة العاملة على خلايا الوقود :

تحتاج نظم الطاقة العاملة على خلايا الوقود إلى مجموعة من العناصر المتكاملة في وظيفتها إضافة لخلايا الوقود حيث أن خلية الوقود تعطي تياراً مستمراً ولا يمكن استخدامه بشكل مباشر في الشبكة الكهربائية .

بشكل عام يتألف نظام الطاقة العامل على خلية الوقود من : وحدة معالجة الوقود ، قسم خلايا الوقود، وحدة تعديل التيار الكهربائي و وحدة التدوير الحراري للاستفادة من الحرارة الناتجة .

معالجة الوقود :

تعرف عملية معالجة الوقود بأنها تحويل الغاز السائل أو الوقود الصلب الخام إلى وقود غازي منقى يمكن حقنه في خلية الوقود وكأمثلة على عمليات المعالجة :

- تنظيف الوقود الخام وإزالة شوائب الكبريت والأمونيا لمنع عوامل التسمم في الخلية .
- تحويل الوقود الخام : تحويل الوقود الهيدروكربوني إلى غاز منقى غني بالهيدروجين .

-تحويل أول أوكسيد الكربون والماء الموجودين في الوقود الغازي المنقى إلى هيدروجين وغاز ثاني أوكسيد الكربون من خلال تفاعلات الإزاحة حيث يتم انتقاء الأوكسجين للتقليل من نسبة أحادي أوكسيد الكربون للحدود الدنيا أو إزالة الماء بطريقة التكثيف لزيادة تركيز الهيدروجين .

هناك عدة عوامل تتحكم بوحدات معالجة الوقود نذكر منها :

الوقود المتوفر في السوق والمناسب لاستخدامات خاصة ، مواصفات الوقود الغازي المنقى اللازم لخلايا الوقود ، حجم خلية الوقود ، عملية التبخير للمواد الهيدروكربونية الثقيلة .

المواد الهيدروكربونية الثقيلة مثل الديزل تحتاج لدرجة حرارة بحدود 350 إلى 400 درجة مئوية ليتم تحليل مكونات هذه المواد .

الدراسات المتعلقة بمعالجة الوقود تركز على الوقود المستخدم من أجل وسائط النقل الصغيرة، التركيز على معالجة وقود الميثانول كخطوة أولى والخطوة الثانية هي معالجة الغازولين.

من المنظور البيئي يعتبر الهيدروجين هو الوقود الأنسب فيما يخص وسائط النقل لكن هناك مسألة تخزين ونقل هذا الغاز ضمن حاويات خاصة حيث المساحة والحجم عنصر مهم لذلك سمح باستخدام الهيروجين في وسائط النقل الكبيرة كالحافلات والقطارات ومنع في السيارات السياحية.
يعتبر الميثانول هو أنسب وقود ممكن تحويله لهيدروجين ليتم استخدامه في وسائط النقل ،وهو لا يتفاعل مع أحادي الكربون في درجات حرارة أقل من 400 درجة مئوية لكن من حيث المردود يأتي الميثانول بعد الغازولين من حيث الاستخدام في وسائط النقل .
الغازولين يمتلك عدة ميزات تفضلع عن الميثانول لكن المشكلة تكمن في عملية تحويله لهيدروجين حيث يتطلب درجات حرارة تتجاوز 650 درجة مئوية .

5-4 -5 عملية تحويل الوقود :

تتم عملية تحويل الوقود الغازي أو السائل المكون من مواد هيروكربونية خفيفة إلى هيدروجين و أحادي الكربون بمرحلة تسمى التصفية أو التنقية reforming وهناك ثلاث طرق شائعة لتنقية الوقود وهي :
1- التنقية بالبخار .
2- التنقية بالأكسدة الجزئية .
3- التنقية الحرارية التلقائية .

1-التنقية بالبخار :Steam reforming

هذه الطريقة قديمة الاستخدام والأكثر شيوعاً في تحويل الكربوهيدرات الخفيفة إلى أوكسجين ،يتم هنا تسخين الوقود وتبخيره ثم يتم حقنه مع بخار شديد الحرارة إلى حجرة التفاعل ،الوقود الهيدروكربوني الثقيل يحتاج لدرجات حرارة أعلى مع البخار ،التنقية بالبخار تتم باستخدام عنصر النيكل كعنصر تفاعل كما يمكن استخدام الكوبالت والمعادن الثمينة لكن هذا فيه تكلفة عالية كل الهيدروكربونات الثقيلة يتم تحويلها لخليط غازي يحتوي الهيدروجين والميثان وغاز أوكسيد الكربون ،كذلك لعنصر التفاعل دور في حصول تفاعلات الإزاحة shift reaction من نوع ماء –غاز .
هذا النوع من التنقية هو عملية بطيئة وتتطلب بنفس الوقت حجرة تفاعل بحجم كبير ويتم استخدام أفران تسخين بدرجات حرارة عالية ، يزداد مردود وحدة المعالجة إذا تم الاستفادة من الحرارة الناجمة عن التسخين .
التنقية بالبخار مناسبة للهيروكربونات الثقيلة حيث ينتج عنها عنصر الميثان المناسب لعمليات التنقية الداخلية لخلايا الوقود عند درجات حرارة عالية .

2- التنقية بالأكسدة الجزئية Partial Oxidation Reforming :

هذا النوع من التنقية هو احتراق داخلي ناقص وغير كامل للوقود حيث يتم استخدام الهواء في هذه العملية لرفع درجة حرارة المفاعل لقيمة عالية ،يتم تمرير بخار مرتفع الحرارة لضمان حصول تفاعل إزاحة ماء –غاز و تفاعل التنقية بالبخار، عند درجات حرارة أقل يمكن استخدام عنصر التنشيط الكيماوي لتسريع التفاعل .
إن عملية المعالجة للغازولين بدون منشط كيماوي يتطلب درجة حرارة 1000 درجة مئوية ، استخدام درجات حرارة منخفضة في عملية التحويل تعطي مقادير أقل من أول أوكسيد الكربون وهذه نقطة مهمة للخلايا التي تعمل بدرجات حرارة منخفضة كذلك العمل بدرجات حرارة منخفضة يزيد من مردود المفاعل .
بالنسبة لوقود الديزل الحاوي على عنصر الكبريت يحتاج المفاعل لدرجة حرارة مقدارها 925 درجة مئوية و بالنسبة لوقود الديزل العادي تستخدم حرارة 1175 درجة مئوية .
على الرغم من أن الدراسات أثبتت أن المردود في عملية التنقية بالأكسدة الجزئية هو أعلى منه في عملية التنقية بالبخار إلا أن كمية الهيدروجين في الأخيرة هي أكبر .