

طرق الحصول على غاز الآزوت من نواتج الاحتراق والحد من التلوث البيئي

الدكتور حسن علي السليمان*

حسين محمود العلي**

(تاريخ الإيداع 10 / 1 / 2007. قُبل للنشر في 2007/5/9)

□ الملخص □

يستخدم غاز الآزوت في الكثير من مجالات الحياة الصناعية ، والزراعية والطبية، وفي مجال الطيران، وذلك لما يتمتع به من خواص فيزيائية وكيميائية. تعتمد فكرة البحث على أن عملية احتراق الوقود تتم بهدف الحصول على الطاقة، وأن الحصول على الآزوت يتم بعد معالجة نواتج الاحتراق المطروحة للوسط الخارجي مما يسهم في الحد من التلوث البيئي، حيث أن الآزوت ذو النسبة العالية (79 %) في الهواء الجوي يدخل في عملية الاحتراق ويخرج بالنسبة نفسها تقريباً، كما أن عملية فصل الآزوت عن ثاني أكسيد الكربون لا تحتاج إلى تقنيات متطورة وكلفة عالية مقارنةً بفصل الآزوت عن الأوكسجين كما في طريقة التبريد العميق.

تضمن البحث النقاط الدراسية التالية:

- شرح أهمية غاز الآزوت وطرق الحصول عليه.
- دراسة وتحليل مختلف أنواع الوقود.
- دراسة المعادلات الأساسية للاحتراق.
- دراسة وتحليل الغازات الناتجة عن احتراق مختلف أنواع الوقود.
- دراسة طرق تنقية نواتج الاحتراق من الغازات غير المفيدة.

كلمات مفتاحية:

طرق استخلاص الآزوت، تحليل الوقود، معادلات الاحتراق، تحليل نواتج الاحتراق، تنقية نواتج الاحتراق.

* مدرس - كلية الهندسة الميكانيكية - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب - سورية.
** طالب ماجستير - كلية الهندسة الميكانيكية - أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية - حلب - سورية.

Methods of Getting Nitrogen Gas from Combustion Products and Limiting of Environment Contamination

Dr. Hasan A.AL-Suleiman *

Hussein M.AL-Ali **

(Received 10 / 1 / 2007. Accepted 9/5/2007)

□ ABSTRACT □

Due to its physical and chemical characteristics nitrogen gas is used in many fields, including industry, agriculture, medicine and aeronautical. The idea of this work is based on the fact that most fuel combustion is aimed at producing energy. With this fact in mind, we can manipulate these exhaust gases, which contain about (79%) nitrogen, to produce this gas commercially in the first place and eliminate the environmental pollution in the second place. Moreover, the separation process of nitrogen by this means is cheaper than the process of obtaining nitrogen by deep cooling.

This work includes the following points:

- explanation of the consequence of nitrogen gas, and its obtaining methods.
- study and analysis of different kinds of fuel;
- study of basic burning equations;
- study and analysis of gases due to burning of different fuel kinds;
- study of filtering methods of burning products from harmful gases.

Keywords:

Methods to get the nitrogen gas, Basic burning equations analysis of different kinds of fuel, Combustion products, Filtering methods of burning products.

* Assistant professor, Faculty of Mechanical Engineering, Al-Assad Academy for Military Engineering, Aleppo, Syria.

** Postgraduate Student, Faculty of Mechanical Engineering, Al-Assad Academy for Military Engineering, Aleppo, Syria.

1- مقدمة:

لقد لاقت المحطات الحرارية (سواء أكانت ثابتة أم متحركة)، والتي تعتمد في إنتاج الطاقة على احتراق الوقود بأنواعه المختلفة انتشاراً واسعاً في الآونة الأخيرة. إن عملية احتراق الوقود تحتاج إلى الأوكسجين الذي يتم أخذه من الهواء الجوي وفي نهاية التفاعل تطرح نواتج الاحتراق إلى الوسط المحيط، وكما نعلم فإن الهواء الجوي يحوي في تكوينه على الآزوت بنسبة تفوق نسبة وجود الأوكسجين بأربع مرات تقريباً، وأن غاز الآزوت يدخل في تفاعل الاحتراق ويخرج منه بالنسبة نفسها تقريباً لأنه غاز خامل وينحصر دوره في التفاعل كمهدئ فقط. إن أهم مكونات نواتج الاحتراق الناتجة هي غاز أول أوكسيد الكربون إذا كان الاحتراق ناقصاً وغاز ثاني أوكسيد الكربون إذا كان الاحتراق تاماً، وبعض الغازات الأخرى بنسب منخفضة. إن وجود هذه المركبات السامة في نواتج الاحتراق يستوجب التفكير بطريقة علمية للتخلص منها.

2- أهمية البحث وأهدافه:

تكمُن أهمية البحث في الكلفة المنخفضة للحصول على غاز الآزوت بالمقارنة مع الطرق الأخرى، بالإضافة إلى الحفاظ على البيئة وحمايتها من مخلفات المنشآت الصناعية والآلات التي تعمل على احتراق الوقود، كما يمكن الاستفادة من هذه الطريقة في فصل المركبات الضارة واستخدامها لاحقاً في مجالات عملية مختلفة.

3- طريقة البحث:

- تم تقسيم هذا البحث إلى خمسة أقسام رئيسية وهي:
- شرح أهمية غاز الآزوت وأهم خواصه.
 - دراسة الطرق المتبعة للحصول على غاز الآزوت بشكل عام .
 - معرفة تركيب الوقود بأنواعه (سائل- صلب- غازي) ونسب العناصر الداخلة في تركيبه والتي تختلف باختلاف الوقود.
 - دراسة معادلات الاحتراق وتحديد كمية الهواء وكمية غاز الأوكسجين اللازمين لها ومن ثمة معرفة كمية الغازات الناتجة عن الاحتراق ونسبها بما فيها غاز الآزوت الذي هو موضوع الدراسة.
 - دراسة طريقة الحصول على غاز الآزوت عن طريق فصل نواتج الاحتراق.

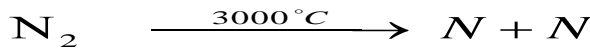
4- خواص غاز الآزوت وأهميته:

الآزوت: هو غاز ليس له لون أو رائحة عندما يوجد في الحالة الطبيعية وهو أخف من الهواء، ويعد العنصر الرابع من حيث انتشاره في المجموعة الشمسية بعد الهيليوم والهيدروجين والأوكسجين. تم اكتشاف الآزوت على يد العالم البريطاني رذرفورد عام (1772) م، وقد سماه نتروجين لعدم إمكانية وجود حياة فيه. يشكل الآزوت أعلى نسبة بين غازات الجو ويتمتع بالخواص الفيزيائية التالية: درجة الغليان ($-195.8^{\circ}C$) عند الضغط النظامي، ويتحول إلى صلب عند درجة الحرارة ($-210^{\circ}C$). درجة الحرارة الحرجة ($-147.13^{\circ}C$). الضغط الحرج ($33.49 Kg / Cm^2$). يلعب الآزوت دوراً هاماً في الطبيعة كما يلي [1]:

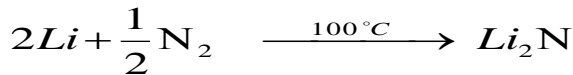
- يجعل من الهواء غازاً قابلاً للتنفس.
 - يعد عاملاً مساعداً في حدوث الظواهر الجوية مثل الحرارة والضغط والرياح.
 - يحمي سطح الأرض من تأثير الشهب التي تتحول إلى قطع متناثرة نتيجة احتراقها وتحطمها في الغلاف الجوي .
 - يحد من قساوة الغازات الأخرى الموجودة في الغلاف الجوي ويقلل من نشوب الحرائق.
 - يساعد الدخان والغيوم والطيور على التحليق وال الطيران والبقاء سابعة في الجو [2].
- ويوجد الآزوت في مركبات كثيرة نذكر منها:
- (....., $NaNO_3$, HNO_3 , NH_3) وغيرها من نترات المعادن، ومع أن الآزوت غاز خامل إلا أن له وظيفة هامة في الحياة لدخوله في تكوين الخلايا الحية وفي تركيب الدم (الكريات الحمراء والبيضاء)، كما يوجد في تركيب التربة ولكن بنسب معينة.

يستخدم الآزوت في المجالات التالية:

- في زيادة فترة حفظ وتخزين المواد الغذائية.
 - لعزل كابلات الخطوط الهاتفية تحت ضغط ثابت تجنباً لتعرضها للرطوبة.
 - لإخماد الحرائق في الأماكن المغلقة.
 - في معظم المنظومات المستخدمة على متن الطائرات بدلاً من الهواء المضغوط.
- يتكون غاز الآزوت من جزئي فيه ذرتان بينهما رابطة ثلاثية ($N \equiv N$) وهي رابطة قوية جداً، يمكن تفكيكها بالتسخين إلى درجات حرارة تصل إلى ($3000^\circ C$) وفق المعادلة التالية:

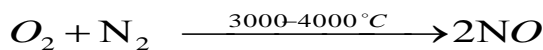


يتفاعل الآزوت مع الليثيوم عند الدرجة ($100^\circ C$) وفق المعادلة التالية:

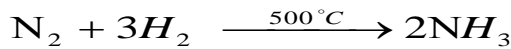


كما يتفاعل مع الأكسجين عند الدرجة ($3000-4000^\circ C$) وعند ضغط عال بوجود وسيط معطياً أوكسيد

الأزوت وفق المعادلة التالية:



ويتفاعل مع الهيدروجين عند الدرجة ($500^\circ C$) ليعطي غاز النشادر كمايلي:



5- طرق الحصول على غاز الآزوت:

5-1- طريقة التبريد العميق:

تستخدم طريقة التبريد العميق للحصول على الآزوت والأكسجين من الهواء الجوي عن طريق تجزئته إلى مركباته، حيث يتم إدخال الهواء الجوي المراد تجزئته نظيفاً من الغبار والشوائب عبر مصفاة عادية إلى ضاغط هواء ليتم رفع ضغطه إلى الضغط ($200 kg/cm^2$)، ونتيجة لارتفاع الضغط ترتفع درجة حرارة الهواء المضغوط، ثم يتم تبريده بمبرد مائي خارجي تحت ضغط ثابت. وعند انخفاض درجة الحرارة نتيجة التبريد يتم تكاثف معظم بخار الماء الموجود في الهواء. بعد ذلك يتم تبريده بمبادل حراري يدعى المكثف لتكثيف كمية إضافية من بخار الماء وذلك عند

درجة حرارة من ($5-10^{\circ}C$) يدخل بعدها إلى جهاز تنقية خاص ليخلصه من الرطوبة الباقية وغاز ثاني أكسيد الكربون والمركبات الهيدروكربونية الأخرى. وبعدها يتم إدخال الهواء المضغوط النقي إلى مبادل حراري حيث يتبرّد تبريداً مفرطاً لتتخفض درجة حرارته إلى درجة كافية لتميعه ($-193^{\circ}C$). وبما أن غاز الآزوت له درجة غليان أدنى من درجة غليان غاز الأوكسجين يتم تجزئته المائع إلى أزوت وأوكسجين حيث يتم استحصال الآزوت المطلوب، ويجب التنويه إلى أن هذه الطريقة تحتاج إلى تقنية عالية لإنتاج البرودة إضافة إلى الحجم الضخم للمحطة المستخدمة وكلفة إنتاج عالية [3].

5-2- الطريقة الكيميائية:

وتعتمد هذه الطريقة على ظاهرتي الإدمصاص والامتصاص على نحو أساسي، فعند مرور غاز على جسم صلب يُحجز في بعض الحالات جزء من هذا الغاز على سطح الجسم، فإذا نفذت جزيئات الغاز من خلال الجسم الصلب (داخله) ندعو هذه العملية بالامتصاص (absorption). أما إذا التصقت بعض الجزيئات بصورة طبقة أو أكثر على سطح الجسم الصلب فدعو العملية بالإدمصاص (adsorption). الإدمصاص الكيميائي يترافق مع تفاعلات كيميائية بين الجسم الماص والجسم المد مص بظهور مركبات كيميائية جديدة على سطح الجسم الماص. إن طريقة فصل الغازات الإدمصاصية يمكنها أن تنافس بقوة طريقة التبريد المفرط (حيث أن طريقة التبريد العميق تحتاج لضغط عالٍ وتقنيات معقدة واستهلاك كبير في الطاقة وهذا ما لا تتطلبه التقنية الإدمصاصية) [1].

5-3- طريقة الفصل الغشائية:

هذه الطريقة مبنية على استخدام نوع خاص من الأغشية التي تتميز بنفاذية انتقائية للغازات وللخلائط الغازية. الغشاء بشكل عام هو حجاب نفوذ ذي انتخابية معينة، يقوم هذا الغشاء بفصل المزيج الغازي ضمن الجهاز الغشائي إلى تيارين بضغط مختلف. التيار الأول هو التيار النافذ عبر الغشاء ويكون غنياً بالعناصر الغازية السريعة العبور، وضغطه قريباً من الضغط الجوي. أما التيار الثاني فهو التيار الذي لم يتمكن من العبور ضمن الغشاء والذي يكون غنياً بالجزيئات بطيئة العبور (ذات قدرة العبور القليلة) ويكون ضغطه عالياً، تتلخص عملية الفصل الغشائية بما يلي: كل غاز حر ينفذ وينتشر ضمن الغشاء بسرعة معينة وهذه السرعة تختلف باختلاف نوع الغاز ونوع الغشاء، لذلك، وبالاعتماد على هذا المبدأ، يتغير تركيب المزيج الغازي عند مروره عبر الغشاء وهذا ما نعني به عملية الفصل الغشائية للغازات [4].

5-4- طريقة الحصول على الآزوت من نواتج الاحتراق (الطريقة المقترحة):

تتكون نواتج الاحتراق من غاز ثاني أكسيد الكربون إذا كان الاحتراق تاماً، وأول أكسيد الكربون إذا كان الاحتراق ناقصاً، وغاز الآزوت الذي يدخل في تفاعل الاحتراق ويخرج بالنسبة نفسها تقريباً، ومركبات الكبريت، ومركبات الآزوت. تعتمد هذه الطريقة التي تم اعتمادها في هذا البحث على فصل نواتج الاحتراق عن بعضها بعضاً، ومن ثم التخلص من الغازات الضارة منها. وبالنتيجة نحصل على غاز الآزوت المطلوب وبنقاوة عالية مما يسهم في الحد من تلوث البيئة والحد من الغازات الضارة مثل ($CO_2 - CO - SO_2 - NO, NO_2, N_2O_3, H_2S$).

6- دراسة وتحليل الغازات الناتجة عن احتراق مختلف أنواع الوقود:

6-1- تصنيف الوقود:

- الوقود: هو عبارة عن مادة قابلة للاحتراق تستعمل كمصدر لإنتاج الطاقة الحرارية، ويصنف الوقود كما يلي:
- 1- حسب الحالة الفيزيائية (الطورية) إلى الوقود الصلب و السائل والغازي.
 - 2- حسب نوع الوقود إلى عضوي أو نووي.
 - 3- حسب مصدر الوقود إلى صلب طبيعي (فحم حجري- الإنتراسيت- الفحم البني- الفحم النباتي- الخشب) وصلب اصطناعي (فحم الكوك- الفحم الخشبي)[5].

6-2- تحليل الوقود:

يتألف الوقود العضوي الصلب والسائل من مركبات كيميائية معقدة تعتمد في الأساس على خمسة عناصر كيميائية هي الكربون (C) والهيدروجين (H) و الكبريت (S) والأوكسجين (O) والنترجين (N)، إضافةً إلى ذلك يدخل في تركيب الوقود الرطوبة (H_2O) ومواد معدنية صلبة غير قابلة للاحتراق تنتج بعد عملية الاحتراق على شكل ترسبات جافة (A). حيث أن $(C + H + S + O + N + H_2O + A = 1)$.

يسمى التحليل الدقيق لكتلة العناصر المكونة للوقود (بالتحليل المطلق) وتشمل هذه العناصر الكربون والهيدروجين والنترجين والكبريت. الجدول (6-1) يبين التحليل المطلق للوقود [1].

الجدول (6-1) التحليل المطلق للوقود

مقدار المادة الطيارة % بالكتلة في الوقود الجاف	التحليل المطلق % مقدراً بالكتلة في الوقود الجاف					نسبة الرطوبة % مقدراً بالكتلة في الوقود.	نوع الوقود
	الرماد	N	O	H	C		
4	2.97	1.44	2.32	3	90.27	1	فحم الإنتراسيت
25	4.9	2.32	5.98	4.87	81.93	2	الفحم الحجري
50	4.25	1.62	31.89	5.72	56.52	15	ليجانب
65	4	1.52	44.36	6.42	43.7	20	Peat

يعد هذا التحليل نموذجياً، لكنه قد يتغير من عينة إلى أخرى في المجموعة ذاتها، ولذلك فإن هذا التحليل يمكن أن يؤخذ فقط كدليل مرشد. هناك تحليل آخر للوقود يدعى (بالتحليل التقريبي) يعطينا النسبة المئوية للرطوبة والمادة العظمية والمادة الصلبة القابلة للاحتراق (وتسمى الكربون الثابت) والرماد. إن الكربون الثابت يظهر كنواتج بطرح النسب المئوية للمواد الأخرى. ومعظم أنواع الوقود السائل هي مركبات هيدروكربونية توجد في حالتها السائلة ضمن شروط الضغط الجوي. يوضح الجدول (6-2) التحليل المطلق لبعض أنواع الوقود السائل والغازي.

الجدول (2-6) التحليل المطلق للوقود السائل والغازي

الوقود	الكربون	الهيدروجين	الكبريت	الرماد
غاز الأوكتان	85.1	14.89	0.01	-
وقود بترولي	85.5	14.4	0.1	-
بنزول	91.7	8	0.3	-
الكيروسين	86.3	13.6	0.1	-
زيت ديزل	86.3	12.8	0.9	-
زيت نפט خفيف	86.2	12.4	1.4	-
زيت نפט ثقيل	86.1	11.8	2.1	-
زيت وقود متبقي	88.3	9.5	1.2	1.0

يبين الجدول (3-6) التحليل النموذجي لأنواع مختلفة من الوقود، على أساس الحجم حيث أن كل مكون قد تم قياسه على أساس الحجم وفي شروط الضغط والحرارة المحيطين.

الجدول (3-6) التحليل لحجمي لأنواع مختلفة من الوقود

الوقود	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₄ H ₈	O ₂	N ₂
مازوت	54.6	9	27	-	-	3	0.4	6
غاز بترولي مسيل	12	29	2.6	0.4	-	-	4	52
الغاز الطبيعي	-	1	93	-	3	-	-	3
غاز الفرن الانفجاري	2	27	-	-	-	-	11	60

7- المعادلات الأساسية للاحتراق:

إن كلمة "الاحتراق" (combustion) تشير إلى تفاعل سريع نسبياً ويكون عادةً مصحوباً بلهب، حيث يحدث الاحتراق بين الوقود وبين حامل الأوكسجين كالهواء مثلاً، ولكن لكي تتم عملية الاحتراق يجب أن تتوفر الشروط التالية:

1- مواد قابلة للاحتراق.

2- الأوكسجين اللازم لعملية الاحتراق.

3- أداة الاشتعال.

من المعروف أن عملية الاحتراق تتم نتيجة لتأكسد ذرات الوقود القابلة للتأكسد، وينتج عن ذلك تشكل جزيئات مواد جديدة تمثل نواتج الاحتراق. تدخل كتل متناسبة من الهواء والوقود إلى حجرة الاحتراق حيث يتم التفاعل الكيميائي، ومن حجرة الاحتراق تعبر نواتج الاحتراق نحو العادم ومنه إلى الوسط الخارجي، واعتماداً على مبدأ مصونية المادة، فإن الكتلة تبقى ثابتة (أي أن الكتلة الكلية للمواد الناتجة عن التفاعل تساوي الكتلة الكلية للمواد الداخلة في التفاعل)،

إلا أن المواد الداخلة في التفاعل مختلفة في تركيبها الكيميائي عن المواد الناتجة عنه. وهذه المواد الناتجة تطرح في درجة حرارة أعلى من درجات دخولها. كما ذكرنا سابقاً فإن الأوكسجين اللازم للاحتراق يؤمن عادة من الهواء الجوي. وإنه لمن الضروري استخدام تحليل دقيق وثابت للهواء بالكتلة والحجم، ومن الطبيعي أيضاً في حسابات الاحتراق أن يعد الهواء مؤلفاً من (23.3%) أوكسجين و(76.7%) نتروجين كتلياً، و(21%) أوكسجين و(79%) نتروجين حجماً. إن الآثار القليلة للغازات الأخرى في الهواء الجاف (بوصفها غازات خاملة) تحسب مع النتروجين [5].

تعطى معادلة الاحتراق بالنسبة للهيدروجين كما يلي:



إن هذه المعادلة تبين أن الهيدروجين يتفاعل مع الأوكسجين ليشكل البخار أو الماء، وأن جزئين من الهيدروجين يتفاعلان مع جزيء واحد من الأوكسجين ليعطيا جزئين من الماء وفق الآتي :

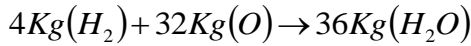
(2) واحدة الكتلة من الهيدروجين + (1) واحدة الكتلة من الأوكسجين يعطي (2) واحدة الكتلة من الماء

إن الماء المتشكل يمكن أن يكون سائلاً أو بخاراً وهذا يعتمد فيما إذا كان الناتج قد تم تبريده بما فيه الكفاية ليحدث التكثيف. والتناسب على أساس الكتلة يمكن الحصول عليه باستخدام الأوزان الذرية:

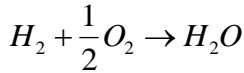


$$2 \times (2 \times 1) + 2 \times 16 \rightarrow 2(2 \times 1 + 16)$$

أي يمكن أن نكتب :



يمكن الحصول على التناسبات ذاتها بكتابة المعادلة كمايلي :



بما أن النتروجين يصاحب الأوكسجين لدى تأمين الهواء اللازم للاحتراق، لذلك يجب أن تشمل المعادلة على النتروجين، وبما أن النتروجين خامل في التفاعل الكيميائي فإنه سوف يظهر في كلا طرفي المعادلة. مع كل مول من الأوكسجين يوجد (79/21) مول من النتروجين. تصبح المعادلة كما يلي:

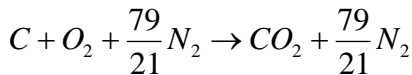


بطريقة مشابهة يمكن إيجاد معادلات مشابهة لاحتراق الكربون. هناك احتمالان للاحتراق يجب أخذهما بالحسبان

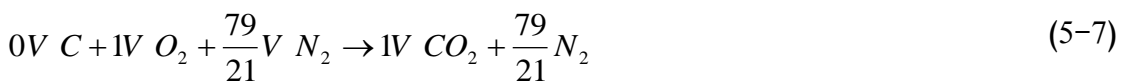
وهما :

-الاحتراق الكامل للكربون:

يكون ناتج الاحتراق ثاني أوكسيد الكربون كما يلي:

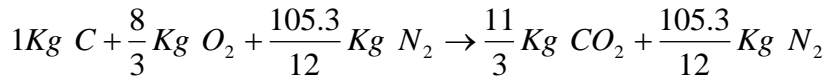
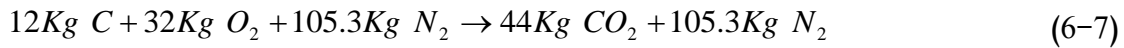


فيما إذا شملنا النتروجين وراعينا حجوم المواد الداخلة والناتجة نجد أن :



إن حجم الكربون يمكن اعتباره صفرًا وذلك لأنه بالإمكان تجاهله مقارنة بحجم الغاز.

أما كتلياً فتكون المعادلة:



-الاحتراق غير الكامل للكربون:

يحدث الاحتراق غير الكامل عندما يكون هناك كمية غير كافية من الأوكسجين ليحرق الكربون على نحو

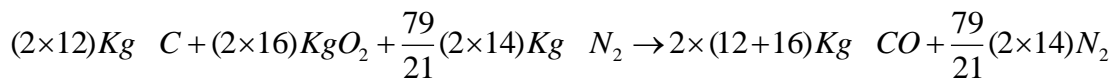
تام.



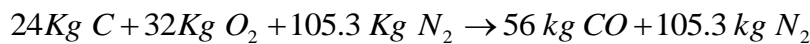
في حال وجود النتروجين يمكن حساب الكتلة بالعلاقة التالية:



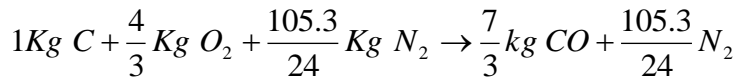
بالكتلة نكتب :



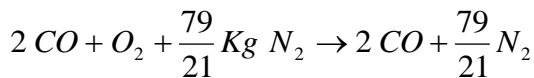
أي أن:



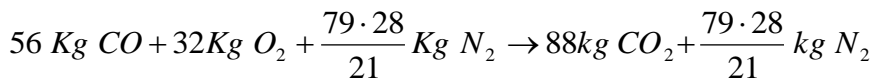
أو أن:



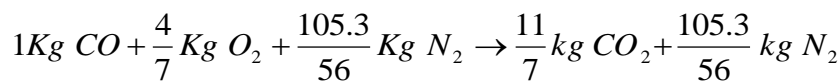
فيما إذا كان تأمين أوكسجين إضافي ممكناً عندها يمكن للاحتراق أن يستمر حتى الانتهاء وفق المعادلة التالية:



و بالكتلة نكتب :



أو:



8- نسبة الهواء والوقود المتكافئة كيميائياً:

إن المزيج المتكافئ للهواء والوقود: هو ذلك المزيج الذي يحتوي كمية الأوكسجين الكافية فقط لاحتراق كامل للوقود، والمزيج المنضمن كمية زائدة من الهواء يدعى المزيج الفقير، بينما المزيج الذي يتضمن كمية قليلة من الهواء فيدعى بالمزيج الغني، أما النسبة المئوية للهواء الزائد فتعطى على النحو التالي:

$$\varepsilon \% = (\alpha_{AF E} - \alpha_{AF Th}) / \alpha_{AF Th}$$

حيث أن:

$\varepsilon \%$: النسبة المئوية للهواء الزائد.

$\alpha_{AF E}$: نسبة الهواء و الوقود الحقيقية.

$\alpha_{AF Th}$: نسبة الهواء والوقود المتكافئة.

A: تعني الهواء air.

F: تعني الوقود fuel [6].

9- تحليل الغازات الناتجة عن الاحتراق:

إن نواتج الاحتراق هي بشكل رئيسي غازات. وعندما نأخذ عينة منها لكي نحللها فإنها عادة تبرد إلى درجة حرارة أقل من درجة تشبع البخار الموجود. و لذلك فإن كمية البخار ليست مشمولة في التحليل، ويسمى هذا التحليل بتحليل النواتج الجافة. وبما أن هذه النواتج هي غازات فإنه من الطبيعي أن يقدر هذا التحليل بالحجم. إن التحليل الذي يشمل البخار في العادم يدعى (التحليل الرطب) على سبيل المثال عند احتراق عينة من فحم الإتراسيت الجاف تكون نسبة كتلة العناصر المكونة للوقود كمايلي:

(Ash = 3% , S = 0.5% , N₂ = 1% , O₂ = 2.5% , H₂ = 3% , C = 90%)

الجدول (1-9) كمية الأوكسجين اللازم لاحتراق (1kg) من الوقود

الكتلة في 1Kg من الوقود	معادلة الاحتراق	كمية O ₂ اللازمة لاحتراق 1Kg من مكونات الوقود	نتاج احتراق كل Kg من مكونات الوقود
C=0.9	C + O ₂ → CO ₂ 12 + 32 → 44 Kg	$0.9 \cdot \frac{32}{12} = 2.4 \text{ Kg}$	$0.9 \cdot \frac{44}{12} = 3.3 \text{ Kg CO}_2$
H ₂ =0.03	2H ₂ + O ₂ → 2H ₂ O 1Kg + 8Kg → 9Kg	$0.03 \cdot 8 = 0.24 \text{ Kg}$	$0.03 \cdot 9 = 0.27 \text{ Kg H}_2\text{O}$
O ₂ =0.025	-	-0.025 Kg	-
N ₂ =0.01	-	-	0.01Kg N ₂
S =0.005	S + O ₂ → SO ₂ 32Kg + 32Kg → 64Kg	$0.005 \cdot \frac{32}{32} = 0.005 \text{ Kg}$	$0.005 \cdot \frac{64}{32} = 0.01 \text{ Kg SO}_2$
Ash = 0.03	-	-	-
		2.62 Kg	المجموع:

نستنتج من الجدول (1-9) أن كمية الأوكسجين المطلوبة لكل (1Kg) من الوقود هي (2.62Kg)، وبما أن نسبة الأوكسجين في الهواء هي (23.3%) ونسبة الأزوت هي (76.7%) فإن كتلة الهواء المطلوبة هي (11.24Kg) وكتلة الأزوت هي (0.767 · 11.24 = 8.62 Kg).

يوضح الجدول (9-2) نسب مركبات نواتج الاحتراق حجماً، حيث إن العمود الثالث يوضح النسب المئوية بالكتلة. تعطي النسبة الكتلية من كل ناتج مقسوماً على الكتلة الكلية لـ (14.47)Kg. يوضح العمود الخامس عدد المولات في (1Kg) من الوقود كما في المعادلة التالية [3]:

$$n = m / M \quad \text{حيث أن:}$$

n: عدد المولات في الكيلوغرام الواحد.

M الكتلة المولية للمادة أو المركب.

m: الكتلة الغرامية للمادة أو المركب.

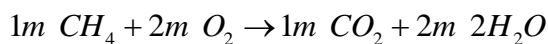
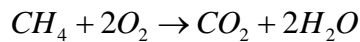
عدد المولات الكلية بالكيلو غرام من الوقود تساوي: (0.4764) بعد إنقاص عدد مولات بخار الماء نحصل على النسبة الكلية الجافة والتي تساوي (0.4614).

الجدول (9-2) نسب مركبات نواتج الاحتراق حجماً

النسبة المئوية الحجمية الجافة	النسبة المئوية الحجمية الرطبة	عدد المولات في كل واحد Kg وقود	M	النسبة المئوية من الكتلة	الكتلة الناتجة عن احتراق واحد Kg وقود	الناتج
7	6	5	4	3	2	1
16.3	15.77	0.075	44	22.8	3.3	CO ₂
-	3.16	0.015	18	1.87	0.27	H ₂ O
0.03	0.03	0.0002	64	0.07	0.01	SO ₂
3.51	3.4	0.0162	32	3.6	0.52	O ₂
80.16	77.71	0.37	28	71.65	10.37	N ₂
100	100	الرطبة = 0.4764 الجافة = 0.4614			14.47Kg	المجموع

وعلى سبيل المثال :

إن احتراق كمية من غاز الميثان (CH₄) يعطى بالمعادلة التالية :



يوضح الجدول (9-3) عملية احتراق أنواع مختلفة من الغازات :

الجدول (3-9) عملية احتراق أنواع مختلفة من الغازات

النواتج		مولات الأوكسجين/ مول من الوقود	معادلة الاحتراق	عدد المولات /مول من الوقود	العنصر
H ₂ O	CO ₂				
6	5	4	3	2	1
0.494	-	0.247	2H ₂ + O ₂ → 2H ₂ O	0.494	H ₂
-	0.18	0.09	2CO + O ₂ → 2C O ₂	0.18	CO
0.4	0.2	0.4	CH ₄ + 2O ₂ → CO ₂ + 2H ₂ O	0.2	CH ₄
0.08	0.08	0.12	C ₄ H ₈ + 6O ₂ → 4CO ₂ + 4H ₂ O	0.02	C ₄ H ₈
-	-	-0.004	-	0.004	O ₂
-	-	-	-	0.062	N ₂
-	0.04	-	-	0.04	CO ₂
0.974	0.5	0.853		المجموع:	

من الجدول (3-9) يمكن حساب كمية الهواء اللازمة للاحتراق بالعلاقة التالية : $(0.853/0.21 = 4.06\text{kg})$
مول لكل مول من الوقود. حيث أن نسبة الأوكسجين في الهواء حتمياً تساوي (21%).
النسبة الحجمية للهواء على الوقود ($A/F= 4.06/1$) حتمياً، من أجل مزيج فقير يحوي (20%) تحسب
النسبة الحقيقية:

$$\frac{A}{F} = 4.06 + \frac{20}{100} \cdot 4.06 = 4.872$$

ومن ثمة يمكن حساب كمية الأزوت: $(0.79 \times 4.872 = 3.85)$ مول لكل مول من الوقود.
أما الأوكسجين اللازم للاحتراق فهو: $(0.853 - (4.872 \times 0.21) = 0.1706)$ ، مول لكل مول من الوقود.
العدد الكلي للمولات من الأزوت في نواتج الاحتراق مع الأخذ بعين الاعتبار كمية الأزوت في الوقود يعطى
بالعلاقة التالية : $(3.85 + 0.062 = 3.912)$ مول لكل مول من الوقود.

(4-9) كمية غاز الأزوت في نواتج الاحتراق من أجل (1kg) من الوقود

كمية غاز الأزوت في نواتج الاحتراق	نوع الوقود	مسلسل
8.62 kg	فحم الإنتراست	1
9.4525 kg	البيبنزين	2
8.04563 kg	الديزل	3
9.03852 kg	الكبروسين	4
5.70632 kg	كحول ايتيلي	5

10- تنقية نواتج الاحتراق من الغازات غير المفيدة:

كما تبين نتيجة الدراسة السابقة أن أهم نواتج الاحتراق هي:
($CO_2, H_2O, N_2, SO_2, NO, NO_2, N_2O_3, H_2S$) ومن ثمة لابد من إيجاد طريقة فعالة لعزل هذه النواتج
عن بعضها بعضاً، والتخلص من الضار منها.

10-1- الطريقة الكيميائية:

يمكن باستخدام الطريقة الكيميائية التخلص من غاز ثاني أكسيد الكربون، وذلك بمعالجته بمواد كيميائية ومركبات قابلة للتفاعل معه، ومن ثم الحصول في النهاية على مركبات جديدة يمكن فصلها والاستفادة منها في مجالات مختلفة من الحياة. يمكن التخلص من (CO_2) بالطريقة التالية [1]:

أ- استخدام المواد القلوية للتخلص من ثاني أكسيد الكربون:

يعطى تفاعل المواد القلوية وغاز ثاني أكسيد الكربون بالمعادلات التالية:



يرافق هذه التفاعلات انتشار كمية من الحرارة. أما المئات النظيفة فتعد ماصة للرطوبة حيث يذوب قدر كبير منها عند الامتصاص، ومن ثمة فإن المادة الفعالة (النشطة) تفقد فعاليتها وتصبح ذات مقاومة كبيرة لتيار الغاز ولا تعد كافية لتأمين عملية الامتصاص، وهذا ما يجعلها غير واسعة الاستخدام. إن وجود المواد (Fe , Al , $MnSO_4$..) يلعب دوراً مهماً كعناصر تنشيط وترسيب وتمانع فقدان المادة الماصة لفعاليتها.

ب - استخدام أكسيد الكالسيوم وأكسيد البوتاسيوم للتخلص من CO_2 :



نجد من المعادلة (3-10) أن كل (1 Kg) من (KO_2) تمتص حوالي (0.3 kg) من غاز ثاني أكسيد الكربون، وينتج عن ذلك (0.33 kg) من الأوكسجين. يستخدم أكسيد الكالسيوم (الكلس الحي CaO) على صورة بودرة بيضاء اللون كمادة ماصة للأبخرة المنطلقة من نواتج الاحتراق (مثل H_2O و CO_2 و CS_2). ويعد من المواد الفعالة كيميائياً والتي تتحد بسرعة مع (CO_2) وفق المعادلة التالية:



لذا يستخدم (CaO) للتخلص من (CO_2). من المعادلة (4-10) يتضح أن كل (1 Kg) من (CaO) يمتص (1.2 Kg) من (CO_2).

يتفاعل CaO مع الماء بشدة في درجات الحرارة العادية وفق المعادلة التالية :



يتفاعل (CaO) مع (SO_2) وفق المعادلة التالية :



تجدر الإشارة هنا إلى أنه يمكن تحديد كمية بعض المواد اللازمة لامتصاص واحد كغ من ثاني أكسيد الكربون كما هو موضح في الجدول (1-10).

الجدول (1-10) بعض المواد اللازمة لامتصاص (1kg) من ثاني أكسيد الكربون

الكمية المطلوبة من المادة للتفاعل مع CO_2	معادلة التفاعل الكيميائي للمادة مع CO_2	الرمز الكيميائي	أسم المادة
$x = \frac{62}{44} = 1.4 \text{ kg}$	$Na_2O + CO_2 \rightarrow Na_2(CO_3)$ 62 44 x 1	Na_2O	أكسيد الصوديوم
$x_1 = \frac{100}{44} = 2.27 \text{ kg}$	$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$ 100 44 x_1 1	$CaCO_3$	كربونات الكالسيوم
$x_2 = \frac{34}{44} = 0.77 \text{ kg}$	$2NH_3 + CO_2 \rightarrow Ca(NH_2)_2 + H_2O$ 34 44 x_2 1	NH_3	النشادر
$x_4 = \frac{74}{44} = 1.68 \text{ kg}$	$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$ 74 44 x_4 1	$Ca(OH)_2$	مئات الكالسيوم
$x_5 = \frac{78}{44} = 1.77 \text{ kg}$	$Na_2S + CO_2 + H_2O \rightarrow Na_2CO_3 + H_2S$ 78 44 x_5 1	Na_2S	كبريتات الصوديوم

10-2- طريقة الامتصاص والادمصاص:

يستخدم من أجل فصل الغازات بطريقة الامتصاص والادمصاص المواد التالية:

1- مادة السيليكاجيل:

يمكن وصف مادة السيليكاجيل بأنها عبارة عن حبيبات بلورية صلبة غير لامعة (شفافة) وذات أقطار تتراوح بين (2.5 ÷ 3 mm)، ويمكن الحصول عليها عند تفاعل السيليكون النقي مع حمض الكبريت. يعد السيليكاجيل المادة الأكثر استخداماً في امتصاص الماء و يملك الصيغة الكيميائية التالية (SiO_2). ومن أهم خواصه أنه ذو بنية مسامية ويقوم بسرعة بعملية الامتصاص من السطح الخارجي إلى الجوف الداخلي له. يختلف السيليكون ذي المسامات الصغيرة بقطر حوالي ($15A^0$) عن السيليكون ذي المسامات الكبيرة بقطر حوالي ($50A^0$) حيث أن الشكل الأخير يملك قدرة على الامتصاص أقل من الأول، و لكنه يملك قدرة أكبر على الامتصاص عند الضغط العالي للبخر والغاز مقارنة مع السيليكون ذي المسامات الصغيرة. يستخدم السيليكون ذو المسامات الصغيرة من أجل امتصاص الماء من الهواء عند الرطوبة المنخفضة وكذلك من أجل امتصاص عدة أبخرة وغازات أخرى مثل غاز ثاني أكسيد الكربون. عندما يفقد السيليكاجيل القدرة على الامتصاص يمكن إعادة إرجاعه عن طريق تمرير هواء ساخن وجاف من خلاله، وتقدر القدرة الامتصاصية لكل (1kg) من السيليكاجيل بحوالي (0.34 – 0.40) Kg من الماء

بكثافة (0.7 gr/cm^3). تؤخذ سرعة جريان الغاز من خلال الأسطوانة مع القدرة على الامتصاص بحدود $(0.1-0.3) \text{ m/sec}$. وأما سماكة طبقة المادة الماصة فيها فهي بحدود $(10-15) \text{ cm}$ ، وتغطي مساحة مقطع أسطوانة السيليكاجيل بالعلاقة التالية:

$$S_n = \frac{W_P}{V} \quad (7-10)$$

حيث إن:

W_P : التدفق الحجمي للخليط الغازي (غازات نواتج الاحتراق).

V : سرعة جريان الغاز من خلال الأسطوانة [1].

2-المادة الماصة (XIII):

المادة الماصة (XIII) هي عبارة عن خليط من عدة مواد كيميائية، والتي تعد فعالة و ناشرة للحرارة على نحو قليل نسبياً ، إذ يدخل في تركيبها المركبات التالية:

$Ca(OH)_2$	76 %
$MnSO_4$	2.66 %
$Fe(OH)_3 + Al(OH)_3$	1.2 %
$Na(OH)_2$	1.83 %
H_2O	18.31 %

ويمكن حساب كمية المادة اللازمة لامتصاص غاز ثاني أوكسيد الكربون باستخدام العلاقة التالية:

$$G_{XIII} = \frac{G_{CO_2}}{\varphi^\xi}$$

حيث أن:

G_{XIII} : الكمية اللازمة من المادة الماصة (XIII).

G_{CO_2} : كمية غاز ثاني أوكسيد الكربون الممتصة.

φ : معامل الامتصاص من أجل أحد مكونات المادة الماصة.

يحسب معامل الامتصاص (φ) من أجل ماءات الكالسيوم $Ca(OH)_2$ بالعلاقة التالية:

$$\frac{CO_2}{Ca(OH)_2} = \frac{12 + 32}{40 + (16 + 1) \cdot 2} = \frac{44}{74} = 0.59$$

ξ : معامل استخدام المادة الماصة ويتعلق بالشوائب الموجودة وكميتها في الأسطوانة العاملة، وتؤخذ قيمته في الحياة العملية بحدود ($\xi = 0.45$). إن القدرة الامتصاصية لكل (1 kg) من المادة (XIII) هي حوالي $(120-150) \text{ L}$ من غاز ثاني أوكسيد الكربون، و ذلك من أجل كثافة $(0.88) \text{ gr/cm}^3$ [5].

3-ماءات الليتيوم $LiOH$:

تملك المادة الماصة ($LiOH$) بالمقارنة مع المادة (XIII) قدرة أعلى على الامتصاص حيث أنه:

كل (1 Kg) من ($LiOH$) وفقاً لشروط عمل محددة يمتص حوالي $(350-400) \text{ L}$ من غاز ثاني أوكسيد

الكربون، وذلك وفق المعادلة التالية:



ويعد التفاعل ناشراً للحرارة على نحو كبير. لكن عملية إرجاع مادة $(Li)_2CO_3$ صعبة و معقدة جداً وهذا يعد أحد المساوئ التي تحد من استخدامه في استخلاص (CO_2) . تحسب كمية $(LiOH)$ اللازمة للتخلص من غاز (CO_2) في العلاقة التالية:

$$G_{LiOH} = \frac{G_{CO_2}}{\varphi_{LiOH} \cdot \xi_{LiOH}} \quad (9-10)$$

حيث أن:

G_{CO_2} : كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المطلوب امتصاصها.

φ_{LiOH} : القدرة الامتصاصية لمادة ماءات الليتيوم وتحدد قيمتها من العلاقة التالية:

$$\varphi_{LiOH} = \frac{CO_2}{2LiOH} = \frac{44}{2 \cdot (6.9 + 17)} = 0.92$$

$\xi = 0.95$: معامل استخدام المادة الماصة وذلك من أجل $(LiOH)$.

نحتاج إلى 19 Kg من المادة المذكورة لامتصاص كمية 11.8 Kg من غاز ثاني

أكسيد الكربون. يحسب

حجم الأسطوانة العاملة بحسب بالعلاقة:

$$V_{II} = \frac{G_{LiOH}}{\rho_{LiOH}} \quad (10-10)$$

حيث أن:

G_{LiOH} : كمية المادة الماصة للرطوبة.

ρ_{LiOH} : كثافة ماص الرطوبة وتتراوح قيمتها بين $0.68 \div 0.85 \text{ gr/cm}^3$ [1].

4- مادة التساليات:

تعد مادة التساليات المادة الأكثر استخداماً لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، وتضاف إليها بعض الشوائب المعدنية لتسهيل عملية الامتصاص. تملك مادة التساليات مسامات بقطر $A^0 (4 \div 5)$ ، حيث أن أقطار المسامات متناسبة طردياً مع أقطار جزيئات الغاز. فمثلاً يبلغ قطر جزيء الأوكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون $A^0 (2.8)$ ، وقطر جزيء الآزوت $A^0 (3)$. أما جزيء الماء فيصل قطره إلى $A^0 (3.15)$. يملك التساليات قدرة امتصاص مختلفة ومتغيرة وفقاً للغاز الممتص، وذلك لأن قدرة التساليات على امتصاص (CO_2, H_2O) أعلى بكثير من امتصاصه لكل من الآزوت والأوكسجين. وهذا يعلل صعوبة وتعقيد آلية امتصاص التساليات لجزيء مختلف الغازات بالمقارنة مع عملية التقاط مسامات التساليات لهذه الغازات، وبالإضافة إلى ما ذكر فإن قطبية الجزيئة تلعب دوراً في عملية الامتصاص أيضاً، فعلى سبيل المثال:

من أجل تساليات بقطر مسامات $A^0 (5)$ تكون القدرة الامتصاصية عند استخدام (1 kg) من التساليات وفقاً لنوع

الغاز كما يلي:

لغاز ثاني أكسيد الكربون: $(0.126) \text{ gr}$.

لبخار الماء : gr (0.2).

لغاز الآزوت : gr (0.02).

لغاز الأوكسجين : gr (0.008).

توضح البيانات السابقة القدرة العالية نسبياً لمادة التساليت على امتصاص كلٍ من (CO_2) و (H_2O). من أجل زيادة فعالية الامتصاص لغاز ثاني أوكسيد الكربون يجب تحميص التساليت قليلاً قبل تمرير المزيج الغازي عليه. إن أهم ما يميز التساليت هو سهولة إرجاعه بالمقارنة مع بقية المواد المستخدمة في عمليات التنقية والتجفيف، حيث تتم عملية الإرجاع إما عن طريق التسخين حتى درجة الحرارة ($t = 300^\circ C$)، أو باستخدام الخلطة الغازية كطريقة أخرى، وفي حالة الخلطة يمكن أن يتم سحب (CO_2) من حبيبات التساليت المستخدمة. تتعلق قدرة التساليت على الامتصاص بالضغط النسبي وسرعة جريان الغاز، حيث وجد بأنها تزداد بازدياد الضغط النسبي، بينما تنخفض بازدياد سرعة مرور الغازات [1].

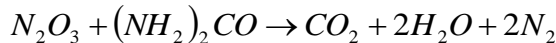
11- التخلص من أكاسيد الآزوت:

يمكن تقسيم طرق التخلص من أكاسيد الآزوت إلى ثلاث طرق رئيسية وهي:

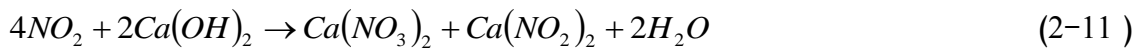
1- امتصاص أكاسيد الآزوت بواسطة مادة ماصة سائلة:

تعدّ هذه الطريقة من أفضل الطرق المستخدمة للتخلص من أكاسيد الآزوت بواسطة المواد السائلة التالية:
($NaOH$), ($Ca(OH)_2$), (Na_2CO_3)، ولكن هذه الطريقة لا تؤمن النقاوة المطلوبة لأن قدرة الامتصاص الفعالة لا تزيد على ($60 \div 70\%$)، وذلك وفق المعادلات الكيميائية التالية:

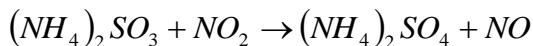
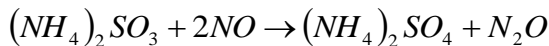
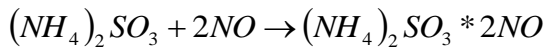
- يمكن التخلص من (N_2O_3) باستخدام ($Ca(OH)_2$) و ($(NH_2)_2CO$) كما يلي:



- كما يمكن استخدام ($Ca(OH)_2$) للتخلص من NO_2 وفق المعادلة التالية:



- يمكن التخلص من (NO) و (NO_2) باستخدام كبريتات النشادر كما يلي:



2- امتصاص أكاسيد الآزوت بواسطة مادة ماصة صلبة:

عند استخدام المواد الصلبة في امتصاص الآزوت يعد الكربون النشط من أهم العناصر المستخدمة في هذه الطريقة .

3- إرجاع أكاسيد الأوزون:

تم استخدام هذه الطريقة حديثاً وتعد من أحدث الطرق إلا أن لها مساوئ عدة منها الضياعات والجهد الكبير، الحجم الكبير للمعدات والتجهيزات [7,8].

12- تنظيف الغازات ميكانيكياً من الشوائب الأخرى:

12-1- استخدام المرقدات:

يتم بهذه الطريقة ترسيب العوالق الصلبة أو السائلة عن طريق التغيير الحاد لاتجاه أو سرعة التيار الغازي (جهاز التدوير). يمتاز جهاز التدوير بين الأجهزة المخصصة لترسيب الجزيئات الكبيرة نسبياً بقطر أكبر من ($5\mu m$) بفعالية كبيرة، إذ إن الجزيئات العالقة تنفصل عن الهواء (الغاز) بفعل القوة النابذة المتولدة عن الحركة الحلزونية لتيار الغاز على طول الجهاز وتحت مقاومة هيدروليكية متفاوتة، حيث تصل فعالية فصل جزيئات الغبار من مقاسات ($5 - 20\mu m$) إلى ($99\% - 40$) [2].

12-2- التصفية:

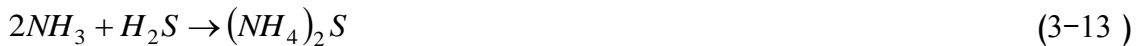
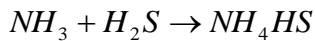
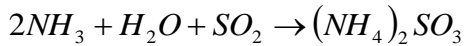
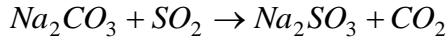
وفقاً لهذه الطريقة يتم تمرير تيار الغاز عبر حواجز مسامية تمرر الغاز وتبقي على الجزيئات الصلبة. تقوم المصفاة بالنقاط دقائق الغبار التي يزيد قطرها على ($1\mu m$) وتتمتع بفعالية تصفية عالية. لدى مرور الغاز عبر هذه المواد يعلق عليه الغبار، وتبعاً لزيادة سماكة طبقة الغبار فإن مقاومته الهيدروليكية تتزايد حتى تبلغ ($1.3 k pa$)، ولذلك يجب إزالة هذا الغبار دورياً أو على نحو متواصل بفصله ميكانيكياً، أو بالكس العكسي، أو بالجمع بين الأسلوبين. تصنع مواد التصفية من مواد قماشية أو غيرها كاللباد مثلاً، وتختار المادة بالنظر إلى متانتها الميكانيكية وخواصها الكيميائية ومقاومتها الحرارية، والتي يمكن أن تصل إلى ($90^\circ c$) للألياف النباتية و($120^\circ c$) للكيميائية، و($300^\circ c$) للألياف المعالجة بالفلور، و($230^\circ c$) للألياف الزجاجية، و($500^\circ c$) للشبك المعدني. كما تصل مدة خدمة مادة التصفية من تسعة أشهر إلى سنتين. تمتلك المصافي الحبيبية عناصر تصفية قادرة على تحمل درجات حرارة تصل إلى ($800^\circ c$).

13- التنظيف من المركبات الكبريتية:

تستخدم هذه الطريقة بشكل أساساً لفصل مكونات الغازات الدخانية المتشكلة نتيجة لاحتراق أنواع الوقود الكبريتية والغازات المنطلقة من معالجة المواد الخام المحتوية على الكبريت. تستخدم طرق الامتصاص على نطاق واسع لعملية التنظيف من (SO_2) ومركبات هيدروكبريتية، ونظراً لوجود الأوكسجين في الغازات، يمكن أن تتأكسد هذه المركبات مشكلة السلفات التي تُعزل على أنها مركبات جانبية. يمكن استخدام غاز النشادر من أجل امتصاص (SO_2) عند درجة حرارة ($35 \div 55^\circ c$) مع وجود محلول هيدروكبريتيت الأمونيا (NH_4HSO_3) و($(NH_4)_2SO_4$). في هذه الطريقة وعند درجة حرارة ($85 \div 90^\circ c$) وتحت ضغط تخلفي ($40 \div 50 k pa$) فإن (NH_4HSO_3) ينحل، وينطلق (SO_2) الذي يمكن معالجته والحصول منه على الكبريت الصرف أو حمض الكبريت ذي الاستخدامات الواسعة. وبهذه الطريقة ونتيجة للتفاعل بين المحلول الناتج عن امتصاص (SO_2) من محلول مائي (NH_3) بوجود المرجع (NH_4HSO_3) يتشكل (SO_2) و($(NH_4)_2SO_4$) الذي بدوره عند الدرجة ($300 \div 400^\circ c$) يتفكك إلى

(NH_4HSO_4) وكذلك (NH_3) لتبدأ العملية من جديد. يتجدد السلفات المتشكل بالامتصاص بإضافة الكبريت. يمكن أن يتم امتصاص (SO_2) بمحلول أكسيد المغنيزيوم عند الدرجة ($45 \div 65$ °C)، وتشكل بلورات مائية من ($MgSO_3$) وقليلًا من ($MgSO_4$). وبحرق هذه النواتج عند الدرجة ($900 \div 1000$ °C) ينتج (MgO) وغازات محتوية على (10%) من (SO_2).

- يمكن استخدام (Na_2CO_3) و(Na_2SO_3) و(NH_3) و($(NH_4)_2SO_3$) للتخلص من (SO_2) و(H_2S) كما هو موضح في المعادلات التالية [1,7,8]:



14- طريقة التنظيف بواسطة التبريد:

يتم في هذه الطريقة التخلص من أغلب الغازات الموجودة في نواتج الاحتراق وخاصة (CO_2) و (H_2O) عن طريق تبريد هذه النواتج إلى درجة حرارة التميع والقيام بعملية ترقيده لهذه المواد ضمن مرقدات، حيث يتم فصل الماء أولاً لأنه يتميع قبل (CO_2) ومن ثم يتم تميع (CO_2) وترقيده. الجدول (1-13) يبين درجات حرارة التميع لعدد من الغازات، والجدول (2-13) يبين الضغط والحرارة الحرجة لبعض الغازات [1].

الجدول (1-14) درجات حرارة التميع لبعض الغازات

الكثافة kg/m^3	درجة حرارة التميع	الرمز الكيميائي	أسم المادة
1.428	-182.97 °C	O_2	أوكسجين
1000	100 °C	H_2O	الماء
1.9768	-78.48 °C	CO_2	ثاني أوكسيد الكربون
1.2505	-195.81 °C	N_2	الأزوت
0.0898	-252.93 °C	H_2	الهيدروجين
0.17685	-288.93 °C	He	الهليوم
1.34	-152 °C	NO	أوكسيد الأزوت
1.25	-191.5 °C	CO	أوكسيد الكربون

الجدول (14-2) الضغط والحرارة الحرجين لبعض الغازات

الضغط الحرج kg/cm^2	الكثافة الحرجة kg/cm^3	درجة الحرارة الحرجة	الرمز الكيميائي	أسم المادة
49.713	0.43	$-118.82\text{ }^{\circ}C$	O_2	أوكسجين
45.8	0.162	$-82.1\text{ }^{\circ}C$	CH_4	الميثان
72.72	0.464	$+30.96\text{ }^{\circ}C$	CO_2	ثاني أكسيد الكربون
33.49	0.311	$-147.13\text{ }^{\circ}C$	N_2	الأزوت
12.80	0.031	$-239.91\text{ }^{\circ}C$	H_2	الهيدروجين
34.6	0.303	$-139\text{ }^{\circ}C$	CO	أوكسيد الكربون

15- طريقة التخلص من ثاني أكسيد الكربون بطريقة الفصل الغشائية:

تم الاستفادة من الفرق الكبير بين معامل النفاذية لكل من ثاني أكسيد الكربون والأزوت في عملية الفصل الغشائية كما هو موضح في الجدول (15-1) [4]:

الجدول (15-1) قيمة معامل نفاذية الأغشية بالنسبة لبعض الغازات

معامل النفاذية $10^{-18} * m^3 * m/m^2 * sec * p_a$					البوليمير
H_2	He	O_2	N_2	CO_2	
32	-	14	5	820	الكوجول الطبيعي
346	225	159	59	980	بولي ايزوبرين
3900	-	3800	1880	16350	بولي ميثيل سيلوكسان
1770	-	360	83	1660	بولي فينيل تري ميثيل سيلان
59	40	22	6	85	بولي إيثيلين 2

الاستنتاجات والتوصيات:

- أهم النتائج التي تم التوصل إليها هي التالية:
- نتيجة تحليل ودراسة عملية احتراق واحد كيلوغرام من البينزين ينتج (9.4525) كيلوغرام أزوت ، وينتج من حرق كيلوغرام من الديزل (8.04563) كيلوغرام أزوت.
- تنظيف البيئة من هذه النواتج الضارة $CO_2 - CO - SO_2 - NO, NO_2, N_2O_3, H_2S$.
- تبين نتيجة الدراسة أن المركب $(Ca(OH)_2)$ يمتص أغلب نواتج الاحتراق ماعدا الأزوت ولاسيما أكاسيد الأزوت.
- يمكن الاستفادة من بعض نواتج الاحتراق في استخدامات أخرى بعد معالجتها بالطرق المناسبة.
- تعد هذه الطريقة اقتصادية للأسباب التالية:
- أولاً- أن عملية حرق الوقود لا تتم بغرض الحصول على غاز الأزوت وإنما لأغراض أخرى مثل التدفئة أو توليد الطاقة. وتكون عملية معالجة نواتج الاحتراق بغرض الحصول على الأزوت والتخلص من النواتج الضارة.

ثانياً- تعد هذه الطريقة بسيطة وغير معقدة ولا تحتاج إلى طاقة كبيرة ولا إلى معادن تعمل بدرجات حرارة منخفضة جداً كما في طريقة التبريد العميق.

المراجع:

- 1-ИЛЮШИН,Ю.С.; ОЛИЗАРОВ,В.В.-*Системыобеспеченияжизнедеятельности и спасения экипажей летательных аппаратов*, ВВАи.Н.Е жуковского. 1972,486р.
- 2-VINCENT, E. T. -*Theory and Design of Gas Turbines and Jet Engines*, McGraw-Hill, 1960, 512р.
- 3-EASTOP, T. D.; MCCONKEY, A. -*Applied Thermodynamics for Engineering Technologist*, Longman Group Limited, 1970, 786 p.
- 4-ДЫТНЕРСКИЙ Ю.И.; БРЫКОВ В.П.; КАГРАМАНОВ Г.Г.- *Мембранное разделение газов*. М.: Химия, 1991, 325 р.
- 5- نبهان، محمد خياطة؛ ماجدة، علي كمال يرمداء- *الترموديناميك الهندسي (2)* - منشورات جامعة حلب، 1996، 530 ص.
- 6-АХМЕТОВ, Н. С .- *Общая и Неорганическая Химия*, Москва Высшая Школа, 1998, 257 р.
- 7-СУГАК Е.В., ВОЙНОВ Н.А., НИКОЛАЕВ Н.А.- *Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами*, Казань, 1999. 224Р.
- 8-СУГАК Е.В., ВОЙНОВ Н. А., СТЕПЕНЬ Р. А., ЖИТКОВА Н.Ю.- *Очисткапромышленных газов от газообразных дисперсных примесей* , Химия Растительного Сырья, №3,1998,РР.21-34.