[19] **المملكة العربية السعودية**SA
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

[11] **رقم البراءة:** ١٠٣٥
[45] **تاريخ المنح :**١٤٢٧/٠٧/٠٥هـ
الموافـــق: ٢٠٠٦/٠٧/٣٠م

[12] براءة اختراع

[72] **اسم المخترع:** مايكل ديفيد دن، ستيفن جيمس أونـين، بيتر وليام فارنيل

[73] **مالك البراءة :** جونسون ماتثي بي ال سي

عنوانه: ٢-٤ كوكزبر ستريت، ترافالجـار سـكوير، لندن، اس دبليو١ واي ٥ بي كيو، بريطانيا

[74] **الوكيل:** حسن عيسى الملا

[21] **رقم الطلب:** ٩٦١٧٠٢١٢

[22] **تاريخ الإيداع :** ١٤١٧/٠٣/٢٢ هـ
الموافق : ١٩٩٦/٠٨/٠٦ م

[30] **بيانات الأسبقية:**
١٩٩٥/٠٨/٠٧م بريطانيا[GB] ٩٥١٦١٢٥

[51] **التصنيف الدولي**[٧] :
Int. Cl.[7]:B01J 00/00, C01B 3/26

[56] **المراجع:**

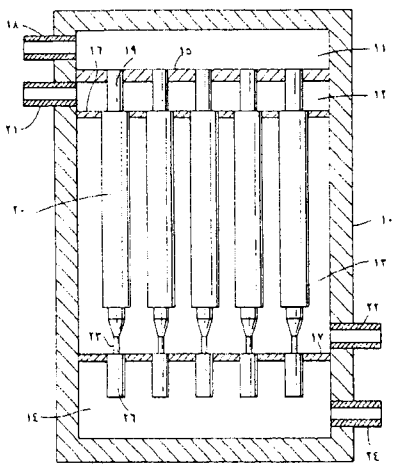
براءة امريكية	٢٤٥٨٧٥٦	١٩٤٩/٠١/١١م
طلب بريطاني	١٣١٦٨٨٦	١٩٨٣/٠٥/١٥م
طلب بريطاني	١٣٢٠١٤٨	١٩٧٣/٠٦/١٣م

اسم الفاحص: سعد بن عبدالرحمن الشهري

[54] **اسـم الاختـراع:** جهـاز وطريقـة للتبـادل الحـراري

[57] **الملخص:** جهاز وطريقة للتبادل الحـراري heat exchange apparatus and process، وبالتحديـد تبـادل حـراري أولـي مُهـذب heat exchange primary بغاز مُهذب أولـي primary reformed gas تم تعريضه إلـى عمليـة احتـراق جزئـي partial combustion (وتهذيب ثانوي اختيارياً)، ويُستخدم الغاز المحترق جزئياً الناتج كوسـط تبـادل حراري heat exchange medium لإمداد الحرارة اللازمة لعملية التهذيب الأولي، ويشمل الجهاز منطقتي دخول وخروج لـسائل المعالجـة process fluid، منفصلتين عـن منطقـة التبـادل الحـراري heat exchange zone بوسـائل تحديـد boundary means كالألواح الأنبوبية tube sheets أو المواسير الصاعدة header pipes، وتمتد مجموعة من أنابيب التبـادل الحـراري heat exchange tubes لغـاز معالجة خلال منطقة تبادل حراري من أحـد وسـائل التحديد وتتشابك بطريقة منزلقة عند وسائل التحديـد الأخرى مع الأنابيب المانعـة للتـسرب seal tubes المثبتة بوسائل التحديد الأخرى. ويتم تزويد الجانـب الداخلي للأنبوب المانع للتـسرب وأنبـوب التبـادل الحراري المرتبط بـه، بقـابض constriction ذات منطقة محدودة بمقطع مُستعرض تشكل منطقة ضـغط منـخفض lower pressure region فـي اتجـاه القابض، ومنطقة تمدد بمقطع مستعرض أكبر من الذي للقابض في اتجاهه، وممر واحد أو أكثر خلال حـائط الأنبوب الداخلي الذي يصل منطقة الضغط المنخفض بالجانب الخارجي للأنبوب الداخلي، وتوضع الممرات passages في داخل منطقة التداخل للأنبوب المـانع للتسرب وأنبوب التبادل الحراري لتوفير مسار تـدفق تسرب لوسط التبادل الحراري مـن منطقـة التبـادل الحراري عن طريق منطقة التداخل والممـرات إلـى منطقة الضغط المنخفض.

١٠ عناصر حماية، ٦ أشكال



الشكل (١)

جهاز وطريقة للتبادل الحراري

الوصف الكامل

خلفية الاختراع :

يتعلق هذا الاختراع بجهاز وطريقة للتبادل الحراري heat exchange apparatus and process، وبالتحديد بطريقة وجهاز حيث تكون هناك إمكانية حدوث تمدد حراري تفاضلي differential thermal expansion ملحوظ بين الأنابيب التي تحمل سائل المعالجة process fluid وإحدى الوسائل كاللوح الأنبوبي الذي يُحدد حدود المنطقة التي عن طريقها يمر وسط التبادل الحراري heat exchange medium في عملية التبادل الحراري مع سائل المعالجة المار خلال الأنابيب.

وفي مبادل حراري heat exchanger من النوع السابق، يتم تمرير سائل معالجة من منطقة تغذية feed zone خلال أنابيب تبادل حراري الحراريheat exchange tubes مُرتبة في داخل منطقة تبادل حراري heat exchange zone مُحددة بواسطة أنابيب متصلة لولبياً والتي عن طريقها يمر وسط تبادل حراري، وبعد ذلك إلى تصريف سائل المعالجة process fluid take-off. ويتم تزويد وسائل كالألواح الأنبوبية لفصل المناطق، ومن ثم يستطيع لوح أنبوبي أن يفصل منطقة التبادل الحراري والتي عن طريقها يمر وسط التبادل الحراري من إحدى المناطق كغرفة الإمتلاء التي تتصل بالجانب الداخلي لأنابيب التبادل الحراري للسماح بتغذية سائل المعالجة إلى الأنابيب أو تصريفه منها، ويشمل أحد الترتيبات البديلة استعمال مواسير صاعدة header pipes مُرتبة في داخل منطقة التبادل الحراري لتحديد منطقة تغذية سائل المعالجة، والذي يتم تغذيته من حيث يتدفق إلى أنابيب التبادل الحراري وخلالها، وعلى نحو مماثل ، يمكن تزويد المواسير الصاعدة header pipes لأجل تصريف سائل المعالجة process fluid take-off من الأنابيب ، وعلى نحو بديل يمكن أن يكون هناك ترابط بين الألواح الأنبوبية والمواسير الصاعدة ، فعلى سبيل المثال، يمكن تغذية سائل المعالجة إلى أنابيب التبادل الحراري من غرفة الامتلاء plenum chamber المنفصلة عن منطقة التبادل الحراري بواسطة لوح أنبوبي في حين تُزود مواسير صاعدة مُرتبة في داخل منطقة التبادل الحراري لأجل تصريف السائل من الأنابيب ، وهنا فإن هذه الألواح الأنبوبية أو

المواسير الصاعدة تُسمى وسائل تحديد نظراً لأنها تحدد الحدود بين منطقة التبادل الحراري ومنطقتي تغذية سائل المعالجة والتصريف.

وفي بعض التطبيقات، مثل البخار المُهذب للهيدروكربونات hydrocarbon، فإن أنابيب التبادل الحراري تكون ذات طول ملحوظ، نموذجياً عدة أمتار، ويوجد هناك فرق كبير في درجة الحرارة، حتى عدة مئات من الدرجات المئوية ، مثلاً من ٥٠٠ إلى ١٠٠٠ م أو أكثر بين عملية المعالجة الباردة، أي المحيطة والمطلوبة والعادية ، ونتيجة لذلك تتمدد الأنابيب طولياً بقدر مُعتبر ، غالباً ١٠ سم أو أكثر ، بالنسبة للأنابيب المتصلة لولبياً والتي تُثبت بها وسائل التحديد . والتطبيق العادي هو تزويد أطراف مصبوبة عند أحد طرفي كل أنبوب أو كليهما للسماح بالتمدد التفاضلي differential expansion حتى تُثبت الأطراف المصبوبة، بخلاف الأنابيب ذاتها ، بوسائل التحديد، وعلى نحو بديل يتم غالباً استخدام ترتيبات منفاخ للسماح بمثل هذا التمدد، غير أن الأطراف المصبوبة أو ترتيبات المنفاخ القادرة على ملائمة التمدد التفاضلي بنسبة ١٠ سم أو أكثر تظهر صعوبات عملية.

في بعض أنواع من أجهزة التبادل الحراري، فإن وسط التبادل الحراري يكون سائل المعالجة الذي يمر خلال الأنابيب ولكنه تعرض لمعالجة إضافية قبل استخدامه كوسط تبادل حراري. فمثلاً يمكن تعبئة الأنابيب بحفاز مُهذب البخار ويتم تمرير مخزون تغذية هيدروكربونية hydrocarbon feedstock مخلوطة مع بخار خلال الأنابيب، وتُسخن الأخيرة بواسطة وسط تبادل حراري لإمداد الحرارة اللازمة للتفاعل المُهذب البخار الأولي الماص للحرارة للحصول على غاز مُهذب أولي، وبعد ذلك يتعرض الغاز المُهذب الأولي الناتج للأكسدة الجزئية حيث يتم احتراق الغاز المُهذب الأولي جزئياً بالأكسجين أو الهواء، في بعض الحالات العملية المعروفة بالتهذيب الثانوي، وبعد ذلك يُمرر خلال حوض حفاز مُهذب ثانوي . والغاز المحترق جزئياً الناتج والذي بموجبه ندخل الغاز المُهذب الثانوي، يُستخدم بعد ذلك كوسط تبادل حراري يُسخن الأنابيب، ومثال هذا النوع من الطرق وأجهزة التبادل الحراري للقيام بعملية التهذيب الأولي primary reforming، مبين في براءة الاختراع البريطانية رقم ١٫٥٧٨٫٢٧٠.

وفي تعديل لهذا النوع من الطرق، يتم إزالة وسائل التحديد عند طرف مخرج أنابيب التبادل الحراري. وتبدأ الأنابيب في منطقة يتم فيها إدخال غاز كالهواء أو الأكسجين حتى يحدث الاحتراق الجزئي للغاز المُهذب الأولي ويرتد الغاز المُحترق جزئياً partially-combusted gas الناتج بعد الأنابيب التي تسخنه ، وأمثلة هذا النوع من الأجهزة والطرق مبينة في براءتي

الاختراع الأمريكيتين رقمي ٨٤٣ر٥٧٩ر٢ و ٨٤٤ر٩١٩ر٤ وبراءة الاختراع البريطانية ٧٤٠ر٨١٨ر٢ ، وبرغم من أن هذا النوع من الترتيب يتجنب المشاكل المرتبطة بالتمدد الحراري التفاضلي للأنابيب ، إلا أنه يبدي مشاكل عند الرغبة في تمرير الغاز المحترق جزئياً خلال حوض حفاز مُهذب ثانوي لاستخدام الغاز المحترق جزئياً لتسخين الأنابيب، ولقد وجدت هناك أيضاً اقتراحات ، مثلاً في براءتي الاختراع الأمريكيتين رقمي ١٧٠ر٣٣٧ر٤ و ٢٠٢ر٢٦٤ر٥ لاستخدام هذا النوع من أجهزة التهذيب reformers، حيث تكون أنابيب التبادل الحراري " مفتوحة الأطراف " عند طرف المخرج حتى يكون الغاز المُهذب الخارج من الأنابيب متصلاً بمنطقة التبادل الحراري ، للقيام بتهذيب مخزون تغذية وذلك بتمرير مخزون التغذية والبخار خلال الأنابيب التي يتم تسخينها بواسطة غاز مُهذب أولي ناتج في جهاز تهذيب تقليدي. وأيضا تقترح براءة الاختراع الأمريكية السابقة رقم ١٧٠ر٣٣٧ر٤ أنه يمكن تعريض الغاز المُهذب الأولي الناتج من جهاز التهذيب التقليدي conventional reformer لتهذيب ثانوي قبل خلط الغاز المنبعث من أنابيب جهاز تهذيب التبادل الحراري واستخدامه كوسط تسخين.

الوصف العام للاختراع :

في هذا الاختراع، يتم التغلب على هذه المشاكل بتزويد أحد وسائل التحديد بأنابيب مانعة للتسرب seal tubes والتي ترتبط مع أنابيب التبادل الحراري والتي لا تُثبت بها حتى توفر الأنابيب المانعة التسرب موقعاً موضعياً لأنابيب التبادل الحراري في حين تسمح بالحركة المنزلقة بين السداد المُحكم وأنابيب التبادل الحراري لتستوعب التمدد التفاضلي، ولقد أُقترح هذا النوع من الترتيب في براءة الاختراع البريطانية ٨٨٩ر٣١٦ر١ مع حشوة صامدة refractory packing للحرارة بين السداد المحكم وأنابيب التبادل الحراري ٠ وبسبب درجة الحرارة المرتفعة التي يتم مقابلتها عند الاستخدام، فإن تقديم سداد مُحكم صامد للتسرب منزلق، مثلاً كتيم للغاز، بنسبة الخلوص المذكورة يظهر مشاكل، ومن ثم يوجد هناك حتماً ممر للتسرب بين المناطق عند كل جانب لوسائل التحديد عن طريق فراغات الخلوص clearance spaces بين الأنابيب المانعة للتسرب وأنابيب التبادل الحراري المزودة بالضرورة للسماح بمثل هذه الحركة المنزلقة، وممر التسرب المذكور يسمح لسائل المعالجة، مثلاً، الغاز المحترق جزئياً أو العكس، ويعتمد اتجاه التسرب بالطبع على الضغوط النسبية لسائل المعالجة ووسط التبادل الحراري heat exchange medium، وعموماً فعندما يكون وسط التبادل الحراري هو ناتج المعالجة الإضافية لسائل المعالجة، فإن منتج المعالجة يكون عند ضغط أعلى من وسط التبادل الحراري،

مثلاً، نتيجة لعمليات هبوط الضغط التي يقابلها أثناء مروره خلال المعالجة الإضافية قبل استخدامه كوسط تبادل حراري. وهذا يعني أن التسرب الغالب سيكون لسائل المعالجة في وسط التبادل الحراري، والذي يعني أن بعض من سائل المعالجة سوف يتجنب عملية المعالجة الإضافية . ومثل هذا التجنب لعملية المعالجة الإضافية لا يكون مرغوباً بصفة عامة. ومن ثم فعندما يكون غاز المعالجة هو ناتج البخار الأولي المُهذب لمخزون تغذية الهيدروكربون بالأنابيب، فإن محتوى الميثان methane بغاز المعالجة المُهذب الأولي يكون نموذجياً ١٠ % أو أكثر بالحجم، بينما يكون بناتج البخار الثانوي المُهذب للغاز المُهذب الأولي، نموذجياً محتوى من الميثان يبلغ أقل من ١ %، عادة أقل من ٥ر٠ % بالحجم، وفي حالة تسرب ٥ % من غاز المعالجة إلى منطقة التبادل الحراري، أي أنه يتجنب مرحلة التهذيب الثانوي، فإن الخليط الناتج من الغاز المُهذب الثانوي secondary reformed gas والغاز المُهذب الأولي primary reformed gas المتسرب يكون به محتوى من الميثان methane نموذجياً ضعف المحتوى بالغاز المُهذب الثانوي. وهذا لا يعني فقط أن كمية كبيرة من الميثان methane لم يتم تهذيبها، ولكن يعني أيضاً أن هذا الميثان methane " المنساب " "slipped"يعمل عموماً كغاز خامل في العمليات اللاحقة مثل تخليق غاز الأمونيا ومن ثم يجعل الأخير أقل كفاءة.

ولقد ابتكرنا ترتيباً حيث ، برغم من ان وسط التبادل الحراري يكون عند ضغط أقل نوعاً ما من سائل المعالجة الخارج من الأنابيب ، إلا أن التسرب الغالب يكون من وسط التبادل الحراري إلى سائل المعالجة.

الوصف التفصيلي :

ووفقاً لذلك، يقدم هذا الاختراع جهاز تبادل حراري heat exchange apparatus شاملاً منطقة تغذية سائل معالجة ومنطقة تبادل حراري ومنطقة تصريف سائل المعالجة ووسائل تجديد أولى وثانية والتي تفصل هذه المناطق عن بعضها البعض ، ومجموعة من أنابيب التبادل الحراري المُثبتة بأحد وسائل التحديد والممتدة خلال منطقة التبادل الحراري وبذلك يتدفق سائل المعالجة من منطقة تغذية سائل المعالجة process fluid feed zone، عن طريق أنابيب التبادل الحراري وإلى منطقة تصريف سائل المعالجة ، وبكل أنبوب تبادل حراري ، وأنبوب مانع للتسرب مُثبت بغيره من وسائل التحديد ، ويوضع كل أنبوب مانع للتسرب جوهرياً متحد المحور مع أنبوب التبادل الحراري المرتبط به ، بحيث يكون كل أنبوب مانع للتسرب في ترتيب منزلق مع أنبوب التبادل الحراري المرتبط به وبتلك الوسيلة يحدد منطقة التداخل ، حيث تتداخل

أنابيب التبادل الحراري والأنابيب المانعة للتسرب مع بعضها البعض وبذلك يمكن استيعاب التمدد الحراري لأنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes في داخل منطقة التداخل ، والأنبوب الداخلي لأنبوب التبادل الحراري المذكور والأنبوب المانع للتسرب المرتبط به والمزود بقابض constriction داخلي ذات منطقة مستعرضة محدودة والتي تشكل منطقة ضغط منخفض ، ومنطقة تمدد لها مقطع مستعرض أكبر من المقطع المستعرض الذي للقابض تتجه لأسفل ، في اتجاه تدفق سائل المعالجة المذكور ، لمنطقة الضغط المنخفض المذكورة ، وممر أو أكثر خلال الأنبوب الداخلي الواصل بين منطقة الضغط المنخفض المذكورة والجانب الخارجي للأنبوب الداخلي ، وتوضع الممرات داخل منطقة التداخل وبذلك توفر مسار تدفق للسائل من منطقة التبادل الحراري عن طريق منطقة التداخل إلى منطقة الضغط المنخفض في داخل الأنبوب الداخلي.

وأيضاً يقدم الاختراع طريقة يتعرض فيها سائل معالجة لخطوة معالجة تتضمن تغذية سائل إلى منطقة تغذية خاصة به مُنفصلة عن منطقة تبادل حراري بواسطة وسائل التحديد boundary means، وتمرير سائل المعالجة المذكور من منطقة التغذية عن طريق مجموعة من أنابيب التبادل الحراري الممتدة عن طريق منطقة التبادل الحراري، حيث يتم تعريض سائل المعالجة للتبادل الحراري مع وسط تبادل حراري في منطقة التبادل الحراري وتمرير سائل المعالجة من أنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes إلى منطقة تصريف سائل المعالجة والمنفصلة عن منطقة التبادل الحراري بوسائل التحديد وخضوع السائل الخارج من منطقة التصريف لخطوة المعالجة المرغوبة ، وتمرير السائل المُعالج الناتج خلال منطقة التبادل الحراري كوسط تبادل حراري ، وتكون أنابيب التبادل الحراري مُثبتة بأحد وسائل التحديد ، ولكل أنبوب تبادل حراري يوجد هناك أنبوب مانع للتسرب مُثبت بغيره من وسائل التحديد ، ويوضع كل أنبوب مانع للتسرب جوهرياً متحد المحور مع أنبوب التبادل الحراري المرتبط به بحيث أن كل أنبوب مانع للتسرب يكون في تعشيق منزلق مع أنبوب التبادل الحراري المرتبط معه وبتلك الوسيلة تُحدد منطقة تداخل حيث يتداخل التبادل الحراري والأنابيب المانعة للتسرب مع بعضهما البعض وبذلك يمكن استيعاب التمدد الحراري لأنابيب التبادل الحراري في داخل منطقة التداخل overlapping region، ويتم تزويد أنبوب داخلي لأنبوب التبادل الحراري والأنبوب المانع للتسرب المرتبط به بقابض داخلي ذات مقطع مستعرض محدد والذي يشكل منطقة ضغط منخفض ، ومنطقة تمدد ذات مقطع مستعرض أكبر من الذي للقابض تتجه لأسفل في اتجاه تدفق سائل المعالجة لمنطقة الضغط المنخفض ، وممر أو أكثر خلال حائط الأنبوب

الداخلي والذي يصل منطقة الضغط المنخفض المذكورة بالجانب الخارجي للأنبوب الداخلي ، وتوضع الممرات المذكورة في داخل منطقة التداخل وبذلك توفر مسار تدفق للسائل من منطقة التبادل الحراري عن طريق منطقة التداخل إلى منطقة الضغط المنخفض في داخل الأنبوب الداخلي ، ويتم تشغيل هذه العملية بحيث يكون ضغط السائل المُعالج المغذي إلى منطقة التبادل الحراري أكبر من الضغط في منطقة الضغط المنخفض ، والتي بواسطتها فإن جزء من الغاز المُعالج المُغذي إلى منطقة التبادل الحراري يمر خلال حيز الخلوص والممرات في منطقة الضغط المنخفض٠

ويُعتبر الجهاز والطريقة ذات استخدام معين للهيدروكربونات المُهذبة للبخار steam reforming hydrocarbons حيث يتم تمرير خليط من مخزون تغذية هيدروكربوني وبخار خلال أنابيب التبادل الحراري والتي تحتوي على حفاز مُهذب للبخار لتشكيل غاز مُهذب أولي ، ثم تعريضه بعد ذلك لعملية احتراق جزئي مع غاز يحتوي على أكسجين oxygen، مثلاً الهواء، ويُستخدم الغاز المحترق جزئياً الناتج كسائل تسخين في منطقة التبادل الحراري ، ويُفضل تمرير الغاز المُحترق جزئياً partially combusted gas خلال حوض من حفاز مُهذب ثانوي لأجل القيام بعملية تهذيب إضافي قبل استخدامه كسائل تبادل حراري٠

ونتيجة للقابض constriction الموجود في داخل أحد أنابيب التبادل الحراري أو الأنابيب المانعة للتسرب heat exchange and seal tubes، تُشكل منطقة ضغط منخفض lower pressure region في داخل الأنبوب الداخلي، وبجعل القابض في حجم مناسب، فإنه يمكن جعل منطقة الضغط المنخفض في حالة التشغيل العادي أقل من الضغط في منطقة التبادل الحراري حتى يكون هناك تدفق لوسط التبادل الحراري، مثلاً، المنتج ذات التهذيب الثانوي لسائل المعالجة المأخوذ من منطقة التصريف ومن منطقة التبادل الحراري عن طريق فراغ الخلوص وعن طريق الممرات في منطقة الضغط المنخفض، وفي أتجاه منطقة الضغط المنخفض يتمدد السائل في منطقة التمدد ويعطي ضغط أكبر من الذي في منطقة الضغط المنخفض، ونتيجة لذلك يوجد هناك ارتداد أو إعادة تدوير للسائل من طرف مخرج الأنبوب الداخلي عن طريق فراغ الخلوص، إلى الممرات وفي منطقة الضغط المنخفض٠

يُفضل تزويد مانع للتسرب seal في وسائل التحديد بين منطقة التبادل الحراري ومنطقة تصريف سائل المعالجة، ومن ثم تُثبت أنابيب التبادل الحراري بوسائل التحديد، مثلاً، اللوح الأنبوبي، بين منطقة دخول السائل ومنطقة التبادل الحراري. ويُفضل هذا بالتحديد حيث يكون وسط التبادل الحراري هو ناتج المعالجة الإضافية للسائل من منطقة التصريف ويتعرض السائل

لهبوط جوهري في الضغط عندما يمر في أنابيب التبادل الحراري، مثلاً، عندما يحتوي الأخير على حفاز، وفي هذه الحالات يمكن أن يكون من الصعب الحصول على انخفاض الضغط الذي يوفره القابض ليتعدى الهبوط في الضغط الذي يقابله، حيث يمر السائل خلال أنابيب التبادل الحراري بالإضافة إلى هبوط في الضغط يتعرض له السائل أثناء عملية المعالجة الإضافية قبل استخدامه كوسط تبادل حراري، ومع ذلك فإن توفير سداد محكم بوسائل التحديد بين منطقة دخول السائل ومنطقة التبادل الحراري يمكن أن له مميزات في بعض الحالات. فمثلاً عندما يتعرض السائل لتفاعل كيماوي حيث يمر خلال أنابيب التبادل الحراري فإنه يمكن أن يكون له عند طرف مدخل أنابيب التبادل الحراري كثافة مختلفة تمكن من الحصول على هبوط كبير في الضغط بواسطة القابض و/أو أن التركيب يمكن أن يكون بحيث أن السائل يكون حاتاً أقل عند طرف مدخل أنابيب التبادل الحراري، وفوق ذلك، يمكن أن تكون درجة الحرارة عند طرف مدخل أنابيب التبادل الحراري أقل حتى يتم تشغيل السداد المحكم عند درجات حرارة منخفضة.

يمكن وضع الأنابيب المانعة للتسرب seal tubes بحيث أن أنابيب التبادل الحراري تنزلق في داخل الأنابيب المانعة للتسرب، بحيث في هذه الحالة تكون أنابيب التبادل الحراري هي الأنابيب الداخلية وبها قابض في داخلها. وفي هذه الحالة، يمكن أن تبرز الأنابيب مانعة التسرب في منطقة التبادل الحراري من وسائل التحديد أو يمكن أن تمتد للخلف من وسائل التحديد في المنطقة، أي مدخل سائل المعالجة أو منطقة التصريف، عند الجانب الآخر لوسائل التحديد. ويمكن أن تمتد أنابيب التبادل الحراري من وسائل التحديد والتي يتم تثبيتها بها، خلال منطقة التبادل الحراري وخلال الأنابيب مانعة التسرب المُثبتة بوسائل التحديد الأخرى، ويمكن أن تبرز في المنطقة، أي مدخل سائل المعالجة أو منطقة التصريف take-off zone، عند الجانب الآخر لوسائل التحديد والذي تُثبت به الأنابيب المانعة للتسرب، على نحو بديل يمكن وضع الأنابيب المانعة للتسرب بحيث تنزلق في داخل أنابيب التبادل الحراري ، وفي هذه الحالة تمتد الأنابيب المانعة للتسرب في منطقة التبادل الحراري من وسائل التحديد التي تُثبت بها.

ويتم توضيح عدة نماذج بالرجوع إلى الرسومات المرفقة حيث أن شكل ١ هو مقطع مستعرض بياني لجهاز التبادل الحراري طبقاً لنموذج أول للاختراع حيث أن وسائل التحديد تكون ألواح أنبوبية، وشكل ٢ هو مقطع مُستعرض للطرف السفلي لأحد أنابيب النموذج الأول والتي توضح اللوح الأنبوبي والأنبوب المانع للتسرب المرتبطين به، وشكل ٣ هو مقطع مُستعرض بياني مشابه لشكل ١، ولكنه لنموذج ثانٍ حيث أن وسائل التحديد التي تحمل الأنابيب

المانعة للتسرب هي ماسورة صاعدة، والأشكال من ٤ إلى ٦ هي مقاطع مستعرضة بيانية لترتيبات مانعة للتسرب بديلة عديدة.

ويوفر شكل ١ جهاز تبادل حراري، مثل جهاز التهذيب للتبادل الحراري heat exchange reformer، والذي به غرف ضغط معزول خارجي (١٠) يحيط بأربع مناطق (١١) ، (١٢) ، (١٣) و (١٤) مُحددة بواسطة حوائط الغلاف والألواح الأنبوبية (١٥) ، (١٦) و (١٧)٠

تُحدد المنطقة (١١)، منطقة تغذية سائل معالجة ، بواسطة حوائط الغلاف واللوح الأنبوبي (١٥) وتزود بقناة امداد تغذية (١٨) بها مجموعة من أنابيب التبادل الحراري، مثلاً، أنابيب التهذيب (١٩) المثبتة باللوح الأنبوبي (١٥) وتمتد في اتجاهه، وعدد الأنابيب المُستخدمة يعتمد على نطاق التشغيل، وبرغم أنه يوفر بشكل ١ خمس أنابيب فقط، إلا أنه نموذجياً يمكن أن تكون هذه الأنابيب ٥٠ أو أكثر. ولأجل تهذيب البخار steam reforming تزود الأنابيب (١٩) بحفاز مهذب للبخار مناسب، مثلاً، النيكل على دعامة من مادة صامدة للحرارة مثل الألومينا alumina، الزيركونيا zirconia، أو اسمنت الوميتات الكالسيوم calcium aluminate cement. وعادة يكون الحفاز catalyst المهذب على هيئة وحدات مُشكلة محشوة عشوائياً في الأنابيب. ونموذجياً يكون للوحدات المُشكلة بعد أقصى أقل من حوالي خمس قطر الأنبوب المهذب ، ويمكن أن تكون في شكل اسطوانات بها ممر أو يفضل أكثر من ممر ، يمتد طولياً خلال الأسطوانة٠

والمنطقة (١٢) ، ومنطقة تصريف وسط تبادل حراري heat exchange medium take-off zone، تشكل الجزء الثاني من منطقة تبادل حراري، تُحدد بواسطة حوائط الغلاف واللوحين الأنبوبيين (١٥) و (١٦) ، وتمدد أنابيب التبادل الحراري ١٩ خلال المنطقة (١٢) وخلال اللوح الأنبوبي tube sheet (١٦) ، ويزود كل أنبوب (١٩) بجلبة حلقية محيطة (٢٠) ومُثبتة باللوح الأنبوبي (١٦) وتمتد أسفله ، ويتصل الجانب الداخلي للجلبات (٢٠) مع المنطقة (١٢) حتى أن وسط التبادل الحراري المانع للفراغ بين الحائط الداخلي للجلبة (٢٠) والحائط الخارجي للأنبوب (١٩) المرتبط بالجلبة ، يستطيع المرور إلى المنطقة (١٢)٠ وأيضاً تزود المنطقة (١٢) بقناة خروج لوسط تبادل حراري (٢١).

والمنطقة (١٣) هي الجزء الرئيسي الأول لمنطقة التبادل الحراري وتُحدد بواسطة حوائط الغلاف (١٠) واللوحين الأنبوبين (١٦) و (١٧)٠ وتزود قناة دخول وسط التبادل

الحراري (٢٢) عند الطرف السفلي للمنطقة (١٣)٠ وتمتد الأنابيب (١٩) خلال المنطقة (١٣)٠ وتكون كل جلبة (٢٠) مفتوحة عند طرفها السفلي وتنتهي في اتجاه الطرف السفلي للمنطقة (١٣) حتى يستطيع سائل التبادل الحراري المزود للمنطقة (١٣) عن طريق القناة (٢٢)، دخول الفراغ الحلقي بين السطح الداخلي للجلبة (٢٠) والسطح الخارجي للأنبوب (١٩) المرتبط به ، وبكل من الأنابيب (١٩) جزء (٢٣) ذات مقطع مُستعرض محدود عند الأطراف السفلية أسفل الجلبات (٢٠) وتمر خلال اللوح الأنبوبي (١٧).

تُحدد المنطقة (١٤)، منطقة تصريف سائل المعالجة process fluid off-take zone، بحوائط من الغلاف (١٠) واللوح الأنبوبي (١٧) وتزود بقناة لخروج السائل (٢٤)، وتمر الأجزاء السفلية (٢٣) للأنابيب (١٩) خلال لوح أنبوبي (١٧) وتكون مفتوحة عند أطرافها السفلية (أنظر شكل ٢) وبالتالي تمكن السائل المتدفق من الأنابيب (١٩) من المرور إلى المنطقة (١٤) ومن ثم إلى الخارج خلال القناة (٢٤).

وعليه يتضح أنه، بالنظر إلى الجزئين (١٢) و (١٣) لمنطقة التبادل الحراري كمنطقة تبادل حراري heat exchange zone واحدة ، فإن منطقة دخول سائل المعالجة (١١) تُفصل عن منطقة التبادل الحراري بواسطة لوح أنبوبي (١٥) والذي يشكل وسيلة تحديد تُثبت بها أنابيب التبادل الحراري (١٩) ، وتُفصل منطقة التبادل الحراري عن منطقة تصريف السائل (١٤) بواسطة اللوح الأنبوبي (١٧) والذي من خلاله تمر أطراف أنابيب التبادل الحراري (١٩)٠

كما هو مبين بشكل ٢، لا تُثبت الأجزاء السفلية (٢٣) للأنابيب (١٩) باللوح الأنبوبي (١٧) ٠ ولكي يتم استيعاب التمدد الحراري لأنابيب التبادل الحراري (١٩) المرتبطة بالغلاف (١٠)، فإن كل جزء أنبوبي (٢٣) يمتد في أنبوب مانع للتسرب مُثبت باللوح الأنبوبي (١٧) الممتد في المنطقة (١٤)٠ ويشكل الجزء (٢٣) للأنبوب (١٩) الممتد إلى الأنبوب المانع للتسرب (٢٦) ، منطقة تداخل بها فرجة خلوص (٢٧) بين السطح الخارجي للجزء السفلي (٢٣) للأنابيب (١٩) والسطح الداخلي (٢٩) للأنبوب المانع للتسرب (٢٦) المرتبط به٠ ونموذجياً يكون هذا الخلوص بمعدل من ٠٫٠٥ إلى ٣ مم، وفي داخل منطقة التداخل، حيث يكون الجزء الأنبوبي (٢٣) في داخل الأنبوب المانع للتسرب (٢٦) ، فإن الجانب الداخلي للجزء السفلي (٢٣) للأنبوب (١٩) له مقطع مخروطي (٣٠) يؤدي إلى قابض (٣١) بمقطع مُستعرض مُحدد٠ ونموذجياً، يكون المقطع المستعرض لهذا القابض (٣١) حوالي من ١٥ إلى ٥٠ % من المقطع المستعرض (٢٣) للأنابيب (١٩) ، وفي أتجاه القابض (٣١) تزود منطقة ذات ضغط منخفض

اسطوانية (٣٢) بمقطع مُستعرض أكبر من الذي للقابض (٣١) ، وينتهي الجزء السفلي (٢٣) للأنابيب (١٩) في منطقة تمدد موسعة الفوهة داخلياً (٣٣) ، وفي داخل منطقة التداخل ، تزود الممرات (٣٤) خلال حائط الجزء السفلي (٢٣) للأنابيب (١٩) المتصلة بمنطقة الضغط المنخفض (٣٢).

وشريطة أن ضغط السائل المتدفق أسفل الأنابيب (١٩) عند المدخل إلى المنطقة المخروطية conical region (٣٠) لا يكون أكبر من ضغط وسط التبادل الحراري الداخل إلى المنطقة (١٣) عن طريق القناة (٢٢) بواسطة الاختيار المناسب لأبعاد القابض (٣١) ومنطقة الضغط المنخفض (٣٢)، يكون من الممكن ترتيب، في التشغيل العادي، الضغط في منطقة الضغط المنخفض (٣٢) الناتج من تدفق السائل عن طريق القابض (٣١) إلى منطقة الضغط المنخفض (٣٢) حيث يكون أقل من ضغط وسط التبادل الحراري الداخل إلى منطقة التبادل الحراري (١٣) عن طريق القناة (٢٢). ونتيجة لذلك يكون هناك تدفق لوسط التبادل الحراري من المنطقة ١٣، عن طريق فرجة الخلوص (٢٧) في منطقة التداخل وعن طريق الممرات (٣٤) ، في منطقة الضغط المنخفض (٣٢) ٠ ويكون الضغط عند طرف الخروج (٢٥) لأنابيب التبادل الحراري (١٩) أكبر من الضغط في منطقة الضغط المنخفض (٣٢)، ولذا يكون هناك أيضاً تدفق دوراني للسائل من طرف مخرج أنبوب التبادل الحراري (١٩) خلال فرجة الخلوص (٢٧) والممرات (٣٤) في منطقة الضغط المنخفض lower pressure region (٣٢).

ويجب إدراك أنه نظراً للسماح لتسرب وسط التبادل الحراري بعد اللوح الأنبوبي (١٧) في منطقة الضغط المنخفض، بدلاً من توفير فرجة خلوص بين الأنبوب المانع للتسرب (٢٦) والجزء السفلي (٢٣) لأنبوب التبادل الحراري (١٩)، فإنه يمكن استخدام فرجة كبيرة بسداد محكم ميكانيكي بسيط يسمح بحركة منزلقة ٠ ومن ثم يخفق السداد المحكم في السماح بتدفق وسط التبادل الحراري بعد المانع للتسرب إلى منطقة الضغط المنخفض (٣٢) ٠ وهكذا يمكن تزويد حشوة مناسبة تسمح بحركة منزلقة عند الطرف العلوي للأنبوب المانع للتسرب (٢٦) في فرجة الخلوص (٢٧) بين الحوائط الخارجية (٢٨) للجزء السفلي (٢٣) للأنبوب (١٩) والحائط الداخلي للأنبوب المانع للتسرب (٢٦) للحد من تسرب وسط التبادل الحراري من المنطقة (١٣) إلى المنطقة (١٤).

وفي حين أنه من غير الضروري أن يكون لأنابيب التبادل الحراري (١٩) أجزاء سفلية (٢٣) بمقطع محدود ، أي أنه يمكن أن يكون للأنابيب (١٩) مقطع مُستعرض كامل عند المرور خلال اللوح الأنبوبي (١٧) مع الأنابيب المانعة للتسرب (٢٦) ذات الحجم المناسب ، إلا أن

توفير جزء منخفض (٢٣) ذات مقطع مُستعرض مُحدود يسهل تصميم وتركيب مسارات " التسرب "leakage paths.

وفي ترتيب بديل، يتم الغاء الجلبات sleeves (٢٠) والألواح الأنبوبية (١٦) حتى لا تنقسم منطقة التبادل الحراري إلى جزء تبادل حراري رئيسي وجزء مخرج وسط تبادل حراري ثانوي ، ولكنها تكون ببساطة منطقة واحدة والتي عن طريقها يتدفق وسط التبادل الحراري من قناة الدخول (٢٢) ويغادر عن طريق قناة الخروج outlet conduit (٢١).

في نموذج شكل (٣)، يُستبدل اللوح الأنبوبي السفلي (١٧) ومنطقة تصريف سائل المعالجة (١٤) وقناة خروج سائل المعالجة بشكل ١، بواسطة سلسلة من المواسير الصاعدة header pipes (٣٥) المتصلة بقناة خروج سائل المعالجة (٣٦) الممتدة خلال حائط الوعاء. ويدخل وسط التبادل الحراري الوعاء عند الطرف السفلي عن طريق القناة (٢٢) ويتوقف خلال الفراغات التي بين المواسير الصاعدة المجاورة (٣٥) وبعد الأطراف السفلى للأنابيب (١٩) في الجلبات (٢٠)، وتُثبت الأنابيب المانعة للتسرب (٢٦) بالمواسير الصاعدة (٣٥) وتمتد لأعلى منها إلى منطقة التبادل الحراري (١٣)، والترتيب المانع للتسرب يكون مشابهاً لذلك المبين في شكل ٢، باستثناء أنه، كما ذُكر أعلاه ، يتم إغفال اللوح الأنبوبي وتمتد الأنابيب المانعة للتسرب (٢٦) لأعلى من المواسير الصاعدة (٣٥).

توضح الأشكال ٤، ٥ و ٦ ترتيبات بديلة لسداد مُحكم seal عند الجانب العلوي وتغذية سائل المعالجة وطرف أنابيب التبادل الحراري. ويتم توضيح اتجاه تدفق سائل المعالجة بواسطة السهم (أ). وفي هذه الترتيبات، غير مبين بالأشكال من ٤ إلى ٦، تُثبت أنابيب التبادل الحراري (١٩) بوسائل التحديد، مثلاً، اللوح الأنبوبي أو المواسير الصاعدة، والتي تفصل منطقة التبادل الحراري عن منطقة تصريف سائل المعالجة process fluid take-off zone. وفي نماذج شكلي ٤ و ٥، تُثبت الأنابيب المانعة للتسرب باللوح الأنبوبي (١٥) والذي يشكل وسائل التحديد بين منطقة دخول سائل المعالجة (١١) من الجزء الثانوي الثاني (١٢) لمنطقة التبادل الحراري. في شكل ٤، تمتد الأنابيب المانعة للتسرب من اللوح الأنبوبي (١٥) إلى الجزء (١٢) لمنطقة التبادل الحراري ، في حين في شكل ٥، تمتد الأنابيب المانعة للتسرب لأعلى من اللوح الأنبوبي (١٥) إلى منطقة سائل المعالجة (١١). وفي ترتيب شكل ٦، يتم وضع الأنبوب المانع للتسرب (٣٧) في نطاق الطرف العلوي لأنبوب التبادل الحراري (١٩) . وفي كل هذه الترتيبات، يُزود الجانب الداخلي للأنبوب الداخلي، أي، أنبوب التبادل الحراري (١) في شكلي ٤و ٥ والأنبوب المانع للتسرب (٣٧)، بقابض ومنطقة ضغط منخفض وممرات خلال حوائط الأنبوب الداخلي

في شكل مشابه للمبين أعلاه بالنسبة لشكل ٢، وفي هذه الترتيبات يستطيع وسط التبادل الحراري التدفق من جزء منطقة التبادل الحراري (١٢) عن طريق فرجة الخلوص بين أنبوب التبادل الحراري (١٩) والأنبوب المانع للتسرب (٣٧) ، برغم من الممرات في منطقة الضغط المنخفض في اتجاه القابض في داخل أحد الأنابيب الداخلية.

في أحد الأمثلة المحسوبة باستخدام نموذج شكلي ١ و ٢، يتم نزع الكبريت من الغاز الطبيعي بإضافة نسبة صغيرة من خليط هيدروجين / نيتروجين hydrogen/nitrogen مُستخلص من غاز تنظيف الأمونيا ويُمرر عن طريق حوض من حفاز نزع كبريت مائي hydrodesulphurization وحوض من أكسيد زنك zinc oxide يعمل كمادة ماصة لكبريت الهيدروجين. ويُضاف البخار ويُغذى الخليط الناتج (التيار أ)، المُسخن مُسبقاً إلى درجة حرارة ٤٠٦ °م إلى منطقة تغذية سائل المعالجة (١١) لجهاز التهذيب عن طريق القناة (١٨)، ويُهذب أولياً في أنابيب التبادل الحراري (١٩) بقطر داخلي بلغ ١٢٥ مم وطول ١٠م ويحتوي على حفاز مهذب للبخار steam reforming catalyst المعبأ العرضي ، من النيكل nickel فوق دعامة من أسمنت ألومينات الكالسيوم calcium aluminate cement في شكل اسطوانات بطول ٦ر١٧ مم و قطر ٠ر١٤ مم ، لها أربع اسطوانيات ممتد محورياً خلال ممرات بقطر ٠ر٤ مم. ويتم تدعيم الحفاز catalyst فوق شبكة مقيدة موضوعة عند الطرف العلوي لمنطقة الانتقال حيث تقل أنابيب التهذيب في القطر لتشكل الأجزاء السفلية (٢٣) بقطر داخلي يبلغ ٢٥ مم حتى تكون خالية من الحفاز. وتبلغ درجة الحرارة والضغط لغاز المعالجة المُهذب (التيار ب) الداخل في الجزء السفلي (٢٣) لأنابيب جهاز التهذيب (١٩) ، ٧٢٢ °م و ٠ر٤٠ بار على التوالي ٠ ويمر الغاز المُهذب الناتج خلال القابض (٣١) ، وتعطى منطقة الضغط المنخفض (٣٢) زيادة في الضغط إلى ٦ر٣٨ بار مطلق في منطقة الضغط المنخفض وضغط ٣ر٣٩ بار مطلق عند طرف خروج (٢٥) للأنابيب (١٩)٠ وكما هو مبين أدناه ، يوجد هناك تيار تسريب (جـ) للغاز من منطقة التبادل الحراري (١٣) إلى منطقة تصريف سائل المعالجة (١٤) عن طريق الممرات (٣٤) ومنطقة الضغط المنخفض (٣٢).

وبعد ذلك يُغذى غاز المعالجة process gas المُهذب (stream D) المكون من stream B بالإضافة إلى leakage stream C، عن طريق القناة (٢٤) إلى جهاز تهذيب ثانوي، حيث يتعرض لعملية احتراق جزئي بتيار هواء (هـ) والمُسخن مُسبقاً إلى درجة حرارة ٦٥٠ °م ويتعرض لتهذيب ثانوي بتمرير الخليط المحترق جزئياً خلال حوض معبأ عشوائي بحفاز مُهذب ثانوي لنيكل مُدعم فوق اسطوانات أسمنت الومينات الكالسيوم calcium

aluminate cement. ولأسطوانات الحفاز catalyst المُهذب الثانوي طول يبلغ ٦ر١٧ مم ، وقطر ٠ر١٤ مم ، وأربع اسطوانيات ممتدة محورياً خلال ممرات بقطر ٠ر٤ مم ، وبعد ذلك الغاز يُغذي الغاز المُهذب الثانوي secondary reforming gas (stream F) عند ضغط ٨ر٣٨ بار مُطلق ودرجة حرارة ٩٧٠ °م ، إلى منطقة التبادل الحراري (١٣) عن طريق القناة (٢٢) ، ويتسرب جزء (stream C) من تيار الغاز المُهذب الثانوي stream F من المنطقة (١٣) إلى المنطقة (١٤) عن طريق الممرات (٣٤) ومنطقة الضغط المنخفض (٣٢) ، في حين يُستخدم الباقي (stream G) كوسط تبادل حراري يقوم بتسخين أنابيب التبادل الحراري (١٩) حيث يتوقف stream G خلال الفراغ الحلقي في داخل الجلبات (٢٠) إلى المنطقة (١٢) ، وكانت درجة حرارة الغاز الناتج (stream H) الخارج من المنطقة (١٢) عن طريق القناة (٢١) ، ٥٣٠ °م.

وللجزء السفلي (٢٣) للأنابيب بُعد داخلي يبلغ ٢٥ مم ، مُتناقص إلى قابض constriction (٣١) بقطر داخلي ١٢ مم ويتمدد إلى منطقة ضغط منخفض (٣٢) بقطر داخلي ١٨ مم وطول ١٠٨ مم ٠ والطرف المفتوح للأنبوب يتسع من قطر ١٨ مم لمنطقة الضغط المنخفض (٣٢) إلى قطر خارجي ٣١ مم للجزء السفلي (٢٣) للأنابيب (١٩) فوق طول ٧٨ مم ٠ وتم تزويد ١٢ ممر دوراني (٣٤) بقطر ٣ مم بين منطقة الضغط المنخفض (٣٢) وفرجة الخلوص الحلقية annular clearance gap (٢٧)، وتخانة فرجة الخلوص الحلقية (٢٧) بين الأنابيب المانعة للتسرب (٢٦) والسطح الداخلي (٢٨) للجزء السفلي (١٩) ، هي ٢ر٠ مم ٠ وكان طول الأجزاء السفلية (٢٣) للأنابيب (١٩) وللأنابيب المانعة للتسرب (٢٦) كافياً لدرجة أن الممرات الدورانية (٣٤) والأطراف المفتوحة (٢٥) للأنابيب (١٩) كانت في داخل الأنابيب المانعة للتسرب (٢٦) على حد سواء عند بدء التشغيل ، أي مع الجهاز في درجة الحرارة المحيطة ودرجة حرارة التشغيل العادي ، وتم حساب أنه في درجة حرارة التشغيل العادي وبصرف النظر عن ضغط التيار (ب) عند الدخول للمنطقة المخروطية (٣٠) البالغ ٢ر١ بار فوق ضغط الغاز المُهذب الثانوي ، التيار (و) ، الداخل إلى المنطقة (١٣) والبالغ حوالي ٣ % من غاز المعالجة المُهذب الخارج من الأطراف المفتوحة (٢٥) للأنابيب (١٩) ، أُعيد تدويره خلال فرجة الخلوص (٢٧) والممرات الدورانية (٣٤) و أيضاً حوالي ٣ % من الغاز المُهذب الثانوي (التيار و) الداخل في المنطقة (١٣) ، كتيار التسريب (جـ) ، عن طريق اللوح الأنبوبي (١٧) إلى منطقة الضغط المنخفض (٣٢) عن طريق فرجة الخلوص (٢٧) والممرات (٣٤)٠

ومعدلات التدفق (مُقربة إلى أقرب (١ر٠ كيلـــو مـــول / ســـاعة kmol/h) لمكونـــات التيارات المتنوعة مع درجات حرارة ومعدلات ضغط التيار ، تكون مُبينة بالجدول ١ التالي:

جـــدول ١

معدل التدفق (كيلو مول / ساعة kmol/h) ، ودرجة الحرارة (م) والضغط (بار مُطلق) للتيار								
	أ	ب	جـ	د	هـ	و	ز	ح
CH_4	٥٦٠ر٠	٤٢٨ر٢	٥ر٠	٤٢٨ر٧	٠ر٠	١٥ر٥	١٥ر٠	١٥ر٠
C_2H_6	٢٣ر١	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠
C_3H_8	٤ر٣	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠
C_4H_{10}	٣ر٢	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠
CO	٠ر٠	٦٩ر٣	١٢ر٦	٨٢ر٠	٠ر٠	٤٢١ر١	٤٠٨ر٥	٤٠٨ر٥
CO_2	٣ر٠	١٣٧ر٣	٦ر٥	١٤٣ر٩	٠ر٤	٢١٨ر٣	٢١١ر٨	٢١١ر٨
H_2O	١٧١٩ر١	١٣٨١ر١	٤٥ر٤	١٤٢٦ر٤	٤ر٦	١٥١١ر٨	١٤٦٦ر٥	١٤٦٦ر٥
H_2	٢٥٦ر٨	٩٦٠ر٩	٥٢ر٨	١٠١٣ر٧	٠ر٠	١٧٥٩ر٢	١٧٠٦ر٥	١٧٠٦ر٥
N_2	١١٣ر٥	١١٣ر٥	٣٦ر٢	١٤٩ر٧	١٠٥٥ر٥	١٢٠٥ر٢	١١٦٩ر٠	١١٦٩ر٠
O_2	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٢٨٤ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠
Ar	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٤	٠ر٤	١٢ر٦	١٣ر٠	١٢ر٦	١٢ر٦
درجة الحرارة	٤٠٦	٧٢٢	٩٧٠	٧٣٢	٦٥٠	٩٧٠	٩٧٠	٥٣٠
الضغط	٤٣ر٧	٤٠ر٠	٣٨ر٨	٣٩ر٣	٤٠ر٠	٣٨ر٨	٣٨ر٨	٣٨ر٣

في مثال مُقارن محسوب ، أُفترض أنه لا يوجد للجـزء السـفلي (٢٣) قـابض constriction وبذلك لا توجد منطقة ضغط منخفض ولا ممرات دورانية ، ولكن لها قطر داخلي ٢٥ مم لكـل طولها٠ وهكذا كان الغاز المُهذب الخارج من طرف (٢٥) الأنابيب عنـد ضـغط ٤٠ر٠ بـار مُطلق حتى كان تسرب الغاز من منطقة تصريف سائل المعالجـة (١٤) عـن طريـق فرجـة الخلوص الحلقية (٢٧) إلى منطقة التبادل الحراري (١٣)٠

ومعدلات التدفق (مُقربة إلى أقرب ار٠ كيلو مول / ساعة kmol/h) لمكونات التيارات المتنوعة مع درجات حرارة ومعدلات ضغط التيار ، تكون مُبينة بالجدول ٢ التالي.

جـــدول ٢

معدل التدفق (كيلو مول / ساعة) ، ودرجة الحرارة (°م) والضغط (بار مُطلق) للتيار								
	أ	ب	جـ	د	هـ	و	ز	ح
CH_4	٥٦٠ر٠	٤٢٨ر٢	٢١ر٤	٤٠٦ر٨	٠ر٠	١٤ر٢	٣٥ر٦	٣٥ر٦
C_2H_6	٢٣ر١	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠
C_3H_8	٤ر٣	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠
C_4H_{10}	٣ر٢	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠
CO	٠ر٠	٦٩ر٣	٣ر٥	٦٥ر٩	٠ر٠	٣٨٨ر١	٣٩١ر٦	٣٩١ر٦
CO_2	٣ر٠	١٣٧ر٣	٦ر٩	١٣٠ر٤	٠ر٤	٢٠١ر٢	٢٠٨ر١	٢٠١ر١
H_2O	١٧١٩ر١	١٣٨١ر١	٦٩ر١	١٣١٢ر٠	٤ر٤	١٣٩٣ر٧	١٤٦٢ر٧	١٤٦٢ر٧
H_2	٢٥٦ر٨	٩٦٠ر٩	٤٨ر٠	٩١٢ر٨	٠ر٠	١٦٢٠ر٨	١٦٦٨ر٨	١٦٦٨ر٨
N_2	١١٣ر٥	١١٣ر٥	٥ر٧	١٠٧ر٨	١٠٠٣ر٩	١١١١ر٧	١١١٧ر٤	١١١٧ر٤
O_2	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٢٧٠ر١	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠
Ar	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	٠ر٠	١٢ر٠	١٢ر٠	١٢ر٠	١٢ر٠
درجة الحرارة	٤٠٦	٧٢٢	٧٢٢	٧٢٢	٦٥٠	٩٧٠	٩٦١	٥١٥
الضغط	٤٣ر٧	٤٠ر٠	٤٠ر٠	٤٠ر٠	٤٠ر٠	٣٨ر٨	٣٩ر٣	٣٨ر٨

٥ العمليات السابقة بما فيها عملية التهذيب الأولي والثـانوي primary and secondary reforming بالهواء ، مُصممة لإنتاج غاز مُهذب للإستخدام في انتاج الأمونيا٠ ونظراً لأنه فـي مصنع أمونيا ، يُعرض الغاز المُهذب عادة لتفاعل انتقال حيث أساسـاً يتفاعـل أحـادي أكسـيد

الكربون carbon mono-oxide مع البخار لإنتاج carbon dioxide and hydrogen، فإن كمية ammonia التي يمكن إنتاجها ، تعادل إجمالي محتويات الهيدروجين وأحادي أكسيد الكربون stream H.

وبسبب تسرب الغاز من منطقة تصريف سائل المعالجة (١٤) إلى منطقة التبادل الحراري (١٣) في حالة المقارنة ، فإن درجة حرارة الغاز المُستخدم لوسط تبادل حراري تكون منخفضة ٠ وأيضاً في المقارنة ، يكون معدل التدفق لجهاز التهذيب الثانوي secondary reformer منخفضاً وينبغي استخدام هواء أقل للحصول على درجة حرارة خروج جهاز التهذيب الثانوي ، وبالتالي فإن هذا يعني أن كمية الغاز (stream F) الخارجة من جهاز التهذيب الثانوي تكون منخفضة وهكذا برغم من زيادتها أكثر من استنزافها ، بواسطة تسرب stream C، فإن كمية الغاز (stream G) المتوفرة للاستخدام كوسط تبادل حراري تكون منخفضة. وهذا الانخفاض في الكمية ودرجة حرارة الوسط الحراري والبخار (و) ، يعني أنه للحصول على نفس كمية التهذيب في أنابيب التبادل الحراري (١٩) فإن درجة حرارة الغاز الناتج والتيار (ح) الخارج من جهاز التهذيب عن طريق القناة (٢١) ، تكون منخفضة، وبالتالي انخفاض كمية الحرارة التي يمكن استخلاصها من تيار الغاز٠

يوضح جدول ٣ التالي النقاط البارزة الناشئة عن المقارنة السابقة٠

جـدول ٣

	التسرب من المنطقة ١٣ إلى المنطقة ١٤ (الاختراع)	التسرب من المنطقة ١٤ إلى المنطقة ١٣ (المقارنة)
مكافئ H_2 للبخار (ح)	٠ر٢١١٥ كيلو مول/ساعة	٤ر٢٠٦٠ كيلومول/ساعة
محتوى الميثان (methane) من التيار(ح)	٠ر٣ %	٠ر٧ %
إجمالي تدفق التيار (د)	٦ر٣٢٤٤ كيلو مول/ساعة	٨ر٢٩٣٥ كيلو مول/ساعة
الهواء المُستخدم	٢ر١٣٥٧ كيلو مول/ساعة	٨ر١٢٩٠ كيلو مول/ساعة
إجمالي تدفق التيار (ز)	٨ر٤٩٨٩ كيلو مول/ساعة	١ر٤٨٩٦ كيلو مول/ساعة
درجة حرارة التيار (ز)	٩٧٠° م	٩٦١° م

درجة حرارة التيار (ح)	٥٣٠° م	٥١٥° م

يُلاحظ من جدول ٣ أن مكافئ الهيدروجين hydrogen equivalent وبالتالي الإنتاج المحتمل ammonia، لحالة الاختراع يكون حوالي ٢ر٦٥ % أكبر من حالة المقارنة وبالإضافة إلى أن كمية ammonia التي يمكن إنتاجها ، أيضاً تعتمد على محتوى methane بالغاز المُهذب ، نظراً لأن الغاز يمثل مادة خاملة في التخليق اللاحق للأمونيا subsequent ammonia synthesis زيادة في محتوى methane من الغاز المُهذب ، كما في حالة المقارنة ، يعني أن كمية التطهير المطلوبة في حلقة تخليق ammonia اللاحقة تزداد مع انخفاض ناتج في كمية ammonia المنتجة. ونتيجة لذلك ، فإن كمية الأمونيا التي يمكن انتاجها في الحالة طبقاً للاختراع تكون بصورة ملحوظة أكثر من ٢ر٦ % أكبر منها في حالة المقارنة.

وبرغم من المبين أعلاه بصورة أولية بالنسبة لعملية تهذيب التبادل الحراري، فإنه يلزم إدراك أن للاختراع أيضاً استخدام في التطبيقات الأخرى للتبادل الحراري حيث ينبغي ادراك ان التمدد الحراري التفاضلي وتسرب وسط التبادل الحراري في سائل المعالجة لا يكون مرفوضاً. والأمثلة تشمل المبادلات الحرارية المغذية / المتفرعة ، مثلاً ، حيث التغذية لخطوة معالجة كالتفاعل exothermic، مثلاً ، تخليق methanol أو ammonia، تُسخن بواسطة التبادل الحراري مع الصبيب من خطوة المعالجة. وفي هذه الحالات يمكن أن تكون أنابيب التبادل الحراري خالية من الحفاز catalyst ما لم يكون مرغوباً ، كما في عملية التهذيب السابقة ، حيث يتم إجراء تفاعل الحفاز فوق سائل المعالجة أثناء تعرضه للتبادل الحراري.

عناصر الحماية

١- جهاز تبادل حراري heat exchange apparatus بما في ذلك منطقة تغذية feed zone سائل معالجة process fluid (١١)، ومنطقة تبادل حراري heat exchange zone (١٢، ١٣)، ومنطقة تصريف take-off zone سائل معالجة process fluid (١٤) ووسائل تحديد أولى وثانية (١٥، ١٧ شكلي ١-٢،٣٥ بشكل (٣) تفصل المناطق عن بعضها البعض، ومجموعة من أنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes (١٩) مُثبتة بأحد وسائل التحديد (١٥ بالأشكال من ١ إلى ٣) وتمتد خلال منطقة التبادل الحراري heat exchange zone وبالتالي يستطيع سائل المعالجة process fluid التدفق من منطقة تغذيته feed zone، عن طريق أنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes إلى منطقة التصريف ولكل أنبوب تبادل حراري، وأنبوب مانع للتسرب seal tube (٢٦ بالأشكال من ١ إلى ٣،٣٧ بالأشكال من ٤ إلى ٦) مُثبت بوسائل التحديد boundary means الأخرى (١٧ بشكلي ١-٢ ،٣٥ بشكل ١٥،٣ بالأشكال من ٤ إلى ٦)، ويوضع كل أنبوب مانع للتسرب seal tube جوهرياً متحد المحور coaxially مع أنبوب التبادل الحراري heat exchange tube المرتبط به بحيث يكون الأنبوب المانع للتسرب seal tube في تعشيق منزلق sliding engagement مع أنبوب التبادل الحراري heat exchange tube المرتبط به وبذلك يحدد منطقة تداخل lapping region حيث تتداخل أنابيب التبادل الحراري والمانعة للتسرب seal tube مع بعضهما البعض ، ومن ثم يمكن استيعاب التمدد الحراري thermal expansion لأنابيب التبادل الحراري في داخل heat exchange tubes منطقة التداخل، يتميز بأن تزويد الأنبوب الداخلي لأنبوب التبادل الحراري heat exchange tube والأنبوب المانع للتسرب seal tube بقابض constriction داخلي (٣١) بمنطقة ذات مقطع مستعرض محدد يشكل منطقة ضغط منخفض (٣٢) ، ومنطقة تمدد (٣٣) منطقة المقطع المُستعرض أكبر من تلك التي للقابض constriction في اتجاه التيار، في اتجاه تدفق سائل المعالجة process fluid، لمنطقة الضغط المنخفض low pressure region، وممر أو أكثر (٣٤) خلال حائط الأنبوب الداخلي الواصل بين منطقة الضغط المنخفض إلى الجانب الخارجي للأنبوب الداخلي ، وتكون الممرات موضوعة في داخل منطقة التداخل وبذلك توفر مسار تدفق للسائل من منطقة التبادل

الحراريheat exchange zone عن طريق منطقة التداخل إلى منطقة الضغط المنخفض low pressure region في داخل الأنبوب الداخلي.

٢- جهاز تبادل حراري heat exchange apparatus وفق عنصر الحماية ١، حيث تشمل وسيلة التحديد الأخرى لوح أنبوبي (١٧ بشكلي ١ و٢، ١٥ بشكلي ٤ و ٥) والتي عن طريقها تمتد هذه الأنابيب.

٣- جهاز تبادل حراري heat exchange apparatus وفق عنصر الحماية ١ ، حيث تشمل وسيلة التحديد مواسير صاعدة header pipes (٣٥) متصلة بقناة تصريف سائل المعالجة process fluid off-take conduit (٣٦).

٤- جهاز تبادل حراري heat exchange apparatus وفق أي من عناصر الحماية من ١ إلى ٣، حيث أن الأنابيب الداخلية تشكل الجزء السفلي (٢٣) لأنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes ولمنطقة الضغط المنخفض low pressure region (٣٢) منطقة ذات مقطع مستعرض أكبر من تلك التي للقابض constriction (٣١) ولكن أصغر من تلك التي للجزء السفلي لأنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes في عكس اتجاه القابض constriction.

٥- جهاز تبادل حراري heat exchange apparatus وفق أي من عناصر الحماية من ١ إلى ٤، حيث تُثبت أنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes بوسائل التحديد (١٥) بين منطقة مدخل سائل المعالجة process fluid ومنطقة التبادل الحراري heat exchange zone.

٦- جهاز تبادل حراري heat exchange apparatus وفق أي من عناصر الحماية من ١ إلى ٥، في شكل جهاز تهذيب للتبادل الحراري heat exchange reformer متصل عملياً بوسيلة احتراق جزئي مُصممة لإجراء الاحتراق الجزئي partial combustion لسائل المعالجة process fluid بعد مروره خلال الأنابيب ولتزويد الغاز، بعد الاحتراق الجزئي partial combustion، إلى جهاز التهذيب كسائل تبادل حراري.

٧- جهاز تبادل حراري heat exchange apparatus وفق عنصر الحماية ٦، حيث أن وسيلة الاحتراق الجزئي partial combustion تشمل حوض حفاز تهذيب ثانوي secondary reforming cataylst والذي عن طريقه يمر الغاز المحترق جزئياً قبل إمداده إلى جهاز تهذيب للتبادل الحراري كسائل تبادل حراري.

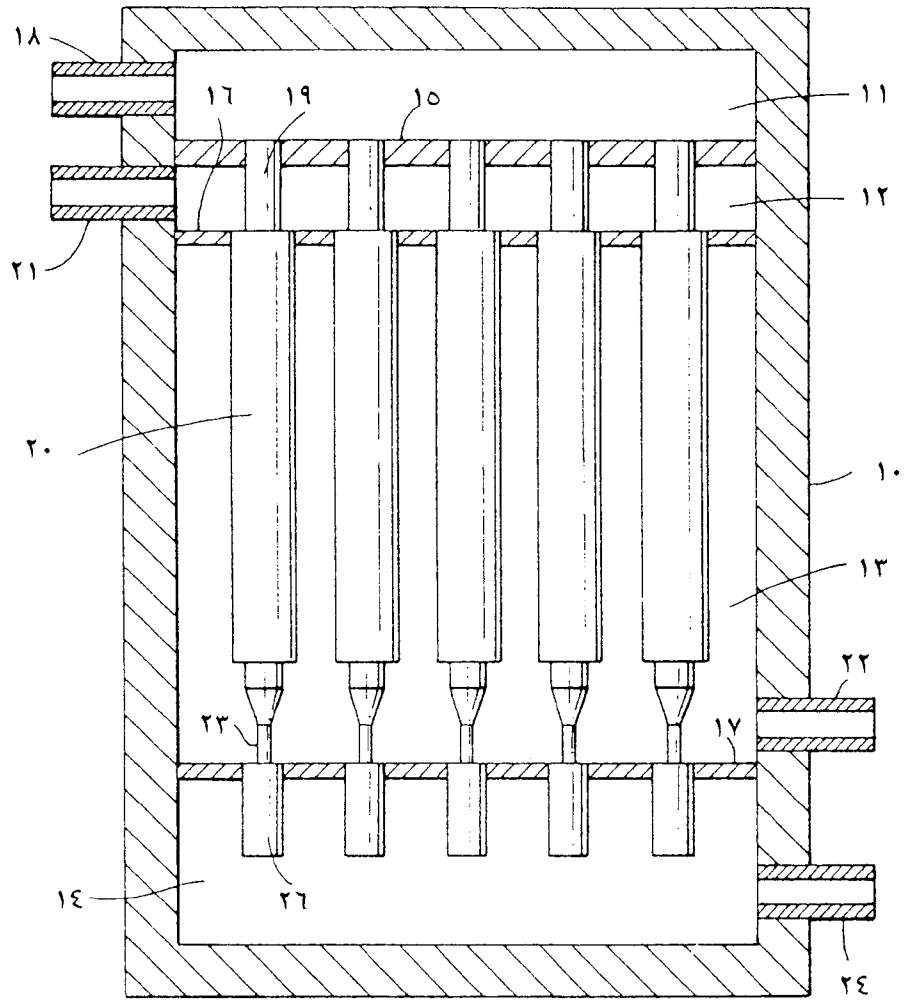
٨- طريقة حيث يتم تعريض سائل معالجة process fluid لخطوة معالجة تشمل تغذية سائل معالجة process fluid إلى منطقة تغذية (١١) المنفصلة عن منطقة تبادل حراري heat exchange zone (١٢، ١٣) بواسطة وسيلة تحديد (١٥) وتمرير السائل من منطقة تغذية سائل المعالجة process fluid عن طريق مجموعة من أنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes (١٩) الممتدة خلال منطقة تبادل حراري heat exchange zone، حيث يتم تعريض سائل المعالجة إلى تبادل حراري بوسط تبادل حراري في منطقة التبادل الحراري، وتمرير سائل المعالجة من أنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes إلى منطقة تصريف السائل (١٤ بشكل ١ و ٢،٣٦ بشكل ٣) مُنفصلة عن منطقة التبادل الحراري بواسطة وسيلة تحديد (١٧ بشكلي ١ و٢ ،٣٥ بشكل ٣) ، وتُثبت أنابيب التبادل الحراري إلى أحد وسائل التحديد boundary means (١٥ بشكلي ١و ٢)، ولكل أنبوب تبادل حراري ، يتم تزويد أنبوب مانع للتسرب seal tube (٢٦ بشكلي ١ و ٢،٢٧ بالأشكال من ٤ إلى ٦) مُثبت بوسيلة تحديد أخرى (١٧ بشكلي ١و ٢ ،٣٥ بشكل ٣ ، ١٥ بالأشكال من ٤ إلى ٦)، ويوضع كل أنبوب مانع للتسرب seal tube جوهرياً متحد المحور مع أنبوب التبادل الحراري المرتبط به بحيث يكون كل أنبوب مانع للتسرب seal tube في تعشيق منزلق مع أنبوب التبادل الحراري وبذلك يحدد منطقة تداخل حيث تتداخل أنابيب التبادل الحراري والأنابيب المانعة للتسرب seal tubes مع بعضها حيث يمكن استيعاب التمدد الحراري لأنابيب التبادل الحراري في داخل منطقة التداخل ،

تتميز بان الأنبوب الداخلي لأنبوب التبادل الحراري والأنبوب المانع للتسرب seal tube المرتبط به، يزود بقابض constriction(٣١) داخلي ذات منطقة بمقطع مستعرض محدود والتي تشكل منطقة ضغط منخفض low pressure region (٣٢) ومنطقة تمدد (٣٣) بمقطع مُستعرض أكبر من الذي للقابض في الاتجاه لأسفل، في اتجاه تدفق سائل المعالجة process fluid لمنطقة الضغط المنخفض ، وممر أو أكثر (٣٤) عن طريق حائط الأنبوب الداخلي الذي يربط منطقة الضغط المنخفض بالجانب الخارجي للأنبوب الداخلي ، وتوضع الممرات في داخل منطقة التداخل ، وبالتالي تزويد مسار تدفق للسائل من منطقة التبادل الحراري heat exchange zone عن طريق منطقة التداخل إلى منطقة الضغط المنخفض low pressure region في داخل الأنبوب الداخلي ، وحيث يتم تعريض سائل المعالجة process fluid المُعالج الناتج خلال

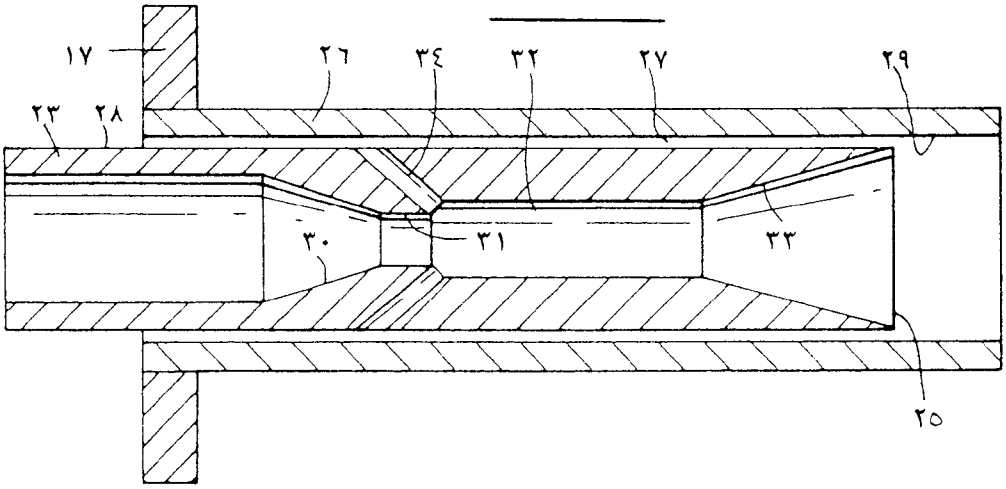
منطقة التبادل الحراري heat exchange zone كوسط تبادل حراري heat exchange medium، ويتم إجراء العملية بحيث أن ضغط السائل المُعالج process fluid إلى منطقة التبادل الحراري يكون أكبر من الضغط في منطقة الضغط المنخفض ، وبالتالي يمر جزء من السائل المُعالج process fluid إلى منطقة التبادل الحراري heat exchange zone عن طريق منطقة التداخل والممرات إلى منطقة الضغط المنخفض low pressure region .

٩- طريقة وفق عنصر الحماية ٨ لتهذيب البخار steam reforming لمخزون تغذية هيدروكربون hydrocarbon feedstock، حيث أن سائل المعالجة process fluid المُغذي إلى منطقة تغذيته، يشمل خليط من مخزون تغذية هيدروكربون hydrocarbon feedstock وبخار، وتُثبت أنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes بوسائل تحديد بين منطقة تغذية سائل المعالجة process fluid ومنطقة التبادل الحراري heat exchange zone، وتحتوي على حفاز مُهذب للبخار ، وتُثبت الأنابيب المانعة للتسرب seal tubes بوسائل التحديد التي تفصل منطقة التبادل الحراري عن منطقة تصريف off-take zone سائل المعالجة process fluid وبالتالي يتم تعريض الخليط إلى عملية تهذيب البخار في أنابيب التبادل الحراري للحصول على تيار غاز مُهذب أولي، وتمرير تيار الغاز المُهذب الأولي من أنابيب التبادل الحراري إلى منطقة تصريف off-take zone سائل المعالجة ، وتعريض الغاز المُهذب الأولي من منطقة تصريف سائل المعالجة إلى الاحتراق الجزئي partial combustion بغاز يحتوي على أكسجين ، وتمرير الغاز المحترق جزئياً الناتج عن طريق منطقة التبادل الحراري heat exchange zone لتسخين أنابيب التبادل الحراري heat exchange tubes.

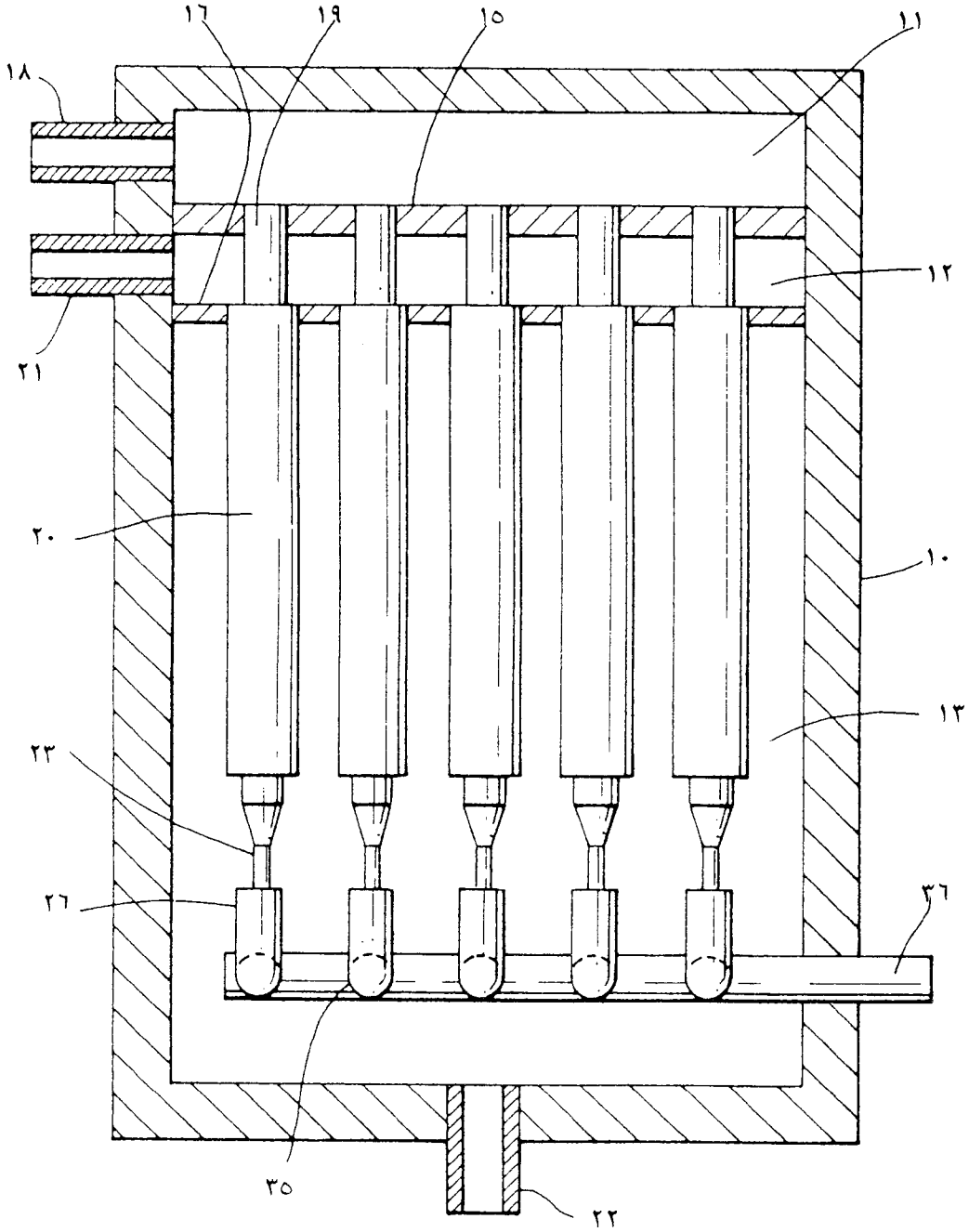
١٠-طريقة وفق عنصر الحماية ٩، حيث يتم تمرير الغاز المحترق جزئياً partially combusted gas خلال حوض من حفاز مُهذب ثانوي secondary reforming catalyst يُغذى إلى منطقة التبادل الحراري heat exchange zone .



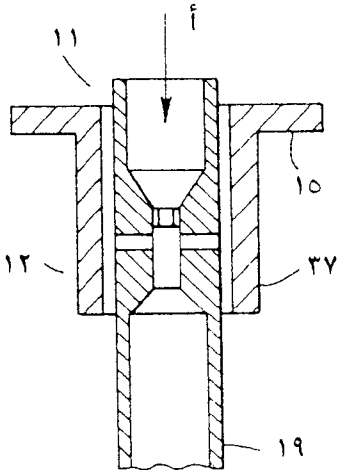
شکـــل ١



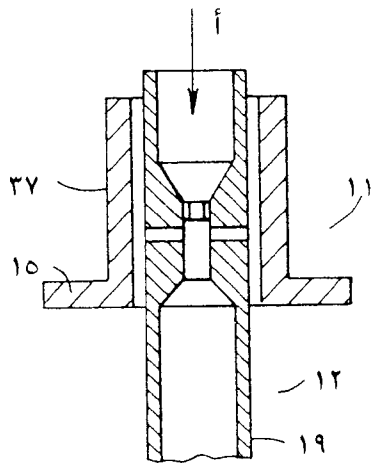
شکـــل ٢



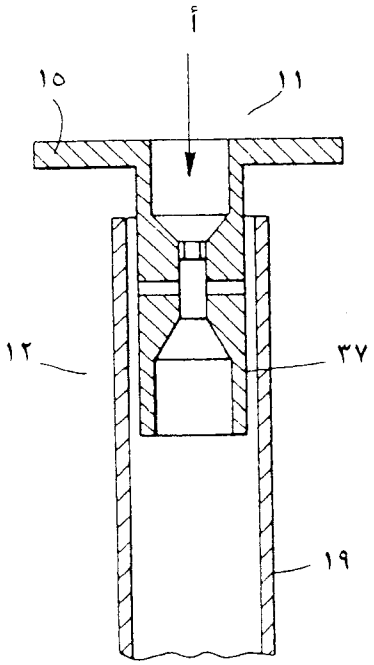
شکـــــل ٣



شكل ٤



شكل ٥



شكل ٦