بسم الله الرحمن الرحيم

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

المملكة العربية السعودية

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

إن المشرف العام على مكتب البراءات السعودي، وبموجب أحكام نظام براءات الاختراع والتصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة والأصناف النباتية والنماذج الصناعية الصادر بالمرسوم الملكي الكريم رقم م/٢٧ وتاريخ ١٤٢٥/٠٥/٢٩هـ، واستناداً لأحكام اللائحة التنفيذية له الصادرة بالقرار الإداري رقم ٣٦٠٧٣٢٩-٢-١٦١ وتاريخ ١٤٣٦/١٢/٣٠ هـ، يقرر منح:

اركيما انك.

Arkema Inc.

براءة اختراع رقم ٤٨٥٧

بتاريخ ١٤٣٧/٠٨/٢٩هـ الموافق ٢٠١٦/٠٦/٠٥ م

عن الاختراع المسمى/ مفاعل أكسدة ذو غلاف وأنبوب بمقاومة محسنة لتكوّن الأوساخ

Shell and tube oxidation reactor with improved resistance to fouling

ولمالك البراءة الحق في الانتفاع بكامل الحقوق التي يمنحها النظام في المملكة العربية السعودية.

المشرف العام على مكتب البراءات السعودي

م. سامي بن علي السديس

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

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

[11] رقم البراءة: ٤٨٥٧
[45] تاريخ المنح: ١٤٣٧/٠٨/٢٩ هـ
الموافـــق: ٢٠١٦/٠٦/٠٥ م

[12] براءة اختراع

[72] اسم المخترع: مايكل اس ديكورسي، جون ال ستينباخ، نيكولاس دوبونت، روجر ال روندي

[73] مالك البراءة: اركيما انك.
عنوانه: ٩٠٠ فيرست افنيو، كينج اوف بروسيا، بنسلفانيا ١٩٤٠٦، امريكا
جنسيته: امريكية

[74] الوكيل: سعود محمد علي الشواف للمحاماة والإستشارات القانونية

[21] رقم الطلب: ٥١٥٣٦٠١٧٨

[22] تاريخ دخول المرحلة الوطنية: ١٤٣٦/٠٦/٠٣ هـ
الموافق: ٢٠١٥/٠٣/٢٣ م
تاريخ الإيداع للطلب الدولي: ٢٠١٣/٠٨/٢٠ م

[86] رقم الطلب الدولي: PCT/US2013/055689
[87] رقم النشر الدولي: WO/2014/046829
تاريخ النشر الدولي: ٢٠١٤/٠٣/٢٧ م

[30] بيانات الأسبقية:

US	٦١/٧٠٤,٦٣٦	٢٠١٢/٠٩/٢٤م
US	١٣/٦٥٢,٥٢٢	٢٠١٢/١٠/١٦م

[51] التصنيف الدولي (IPC[8]):
B01J 008/000, C07C 051/000

[56] المراجع:

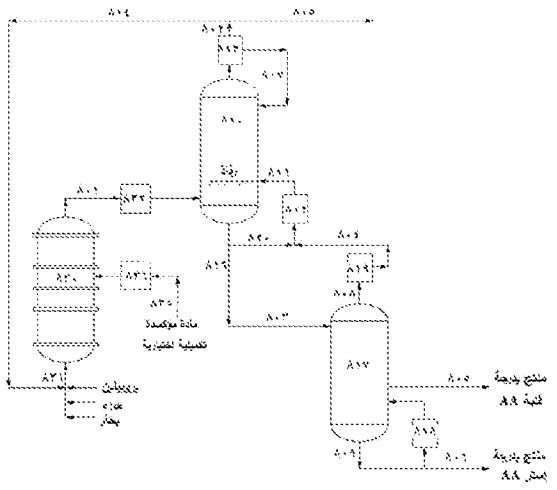
US	٤٥١٨٥٧٤	١٩٨٥/٠٥/٢١ م
US	٢٠٠٨٠٢١٢٤٢	٢٠٠٨/٠١/٢٤ م

اسم الفاحص: عبدالله بن سعدالعبدالجبار

[54] اسم الاختراع: مفاعل أكسدة ذو غلاف وأنبوب بمقاومة محسنة لتكوّن الأوساخ

Shell and tube oxidation reactor with improved resistance to fouling

[57] الملخص: يتعلق الاختراع الحالي بمفاعل بيني مفتوح أحادي الغلاف single shell open interstage reactor ("SSOI"). يشتمل SSOI على مرحلة تفاعل أولى first reaction stage، مبادل حرارة بيني an interstage heat exchanger، منطقة بينية مفتوحة open interstage region، ومرحلة تفاعل ثانية second reaction stage. يمكن تصميم SSOI للتشغيل بالتدفق الصاعد upflow أو التدفق الهابط downflow. علاوة على ذلك، يمكن أن المنطقة البينية المفتوحة بـ SSOI على تغذية مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant feed. عندما تشتمل المنطقة البينية المفتوحة على تغذية مادة أكسدة تكميلية، يمكن أن يشتمل SSOI أيضاً على تجميعة خلط مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant mixing assembly. يتم أيضاً الكشف عن عمليات لإنتاج حمض أكريليك acrylic acid من خلال أكسدة بروبيلين propylene.



الشكل (٨)

عدد عناصر الحماية (٢٨)، عدد الأشكال(٨)

مفاعل أكسدة ذو غلاف وأنبوب بمقاومة محسنة لتكوّن الأوساخ

Shell and tube oxidation reactor with improved resistance to fouling

الوصف الكامل

خلفية الاختراع

يتعلق الاختراع بمفاعلات أكسدة ذات غلاف وأنبوب shell and tube oxidation reactors وعمليات لتحضير حمض أكريليك acrylic acid من خلال أكسدة البروبيلين propylene.

يتم ممارسة إنتاج حمض أكريليك acrylic acid عن طريق أكسدة حفزية بطبقة ثابتة للبروبيلين propylene على نطاق واسع ويتضمن أكسدة البروبيلين propylene إلى الأكرولين acrolein الوسيط وبعد ذلك أكسدة إضافية للأكرولين acrolein إلى حمض أكريليك acrylic acid. تم تطوير المحفزات المتعددة من النوع الجسيمي الصلب solid particulate-type catalysts لمساعدة عملية الأكسدة ذات المرحلتين two-stage oxidation process هذه وتم توثيق طرق لتحضير تلك المحفزات أيضاً في الفن.

بصفة عامة، تستخدم مرافق التصنيع بالنطاق التجاري محفزين منفصلين من حيث التركيبة compositionally distinct catalysts، محفز مرحلة أولى first stage catalyst ومحفز مرحلة ثانية second stage catalyst، في إنتاج حمض أكريليك acrylic acid. تكون محفزات المرحلة الأولى (يشار لها في هذه الوثيقة بـ "محفزات R1") هي محفزات أكسيد معدن مختلطة mixed metal oxide ("MMO") بصفة عامة تتضمن موليبينيوم molybdenium، بيزموث bismuth ، واختيارياً حديد iron، ويتم استخدامها لتعزيز تحول البروبيلين propylene إلى الأكرولين acrolein. تكون محفزات المرحلة الثانية (يشار لها في هذه الوثيقة بـ "محفزات R2") أيضاً عبارة عن محفزات أكسيد معدن مختلطة mixed metal oxide (MMO)، ولكن تشتمل بصفة عامة على موليبينيوم molybdenium وڤاناديوم vanadium، ويتم استخدامها لتعزيز تحول الأكرولين acrolein إلى حمض أكريليك acrylic acid.

تستخدم العمليات على النطاق التجاري الحالية لإنتاج حمض الأكريليك acrylic acid في الغالب مفاعلات منمذجة على مبادلات حرارة بغلاف وأنبوب. نمطياً، تشتمل تلك المفاعلات التجارية على من حوالي ١٢،٠٠٠ حتى حوالي ٢٢،٠٠٠ أنبوب في وعاء تفاعل منفرد single reaction vessel ويمكن أن يكون لها سعات capacities لإنتاج حمض أكريليك acrylic acid حتى ١٠٠ kT/ سنة (٢٢٠،٠٠٠،٠٠٠ رطل/ سنة) تعمل باستخدام ٩٣٪ معامل مباشر. يمكن أن تشتمل المفاعلات التجارية بالنطاق الكبير، بالرغم من الشيوع الأقل، على ٢٥،٠٠٠ حتى حوالي ٥٠،٠٠٠ الأنابيب في وعاء تفاعل منفرد، بقدرات إنتاج حتى ٢٢٥ kT/ سنة (٥٠٠،٠٠٠،٠٠٠ رطل/ سنة). في كل المفاعلات بالنوع ذو غلاف وأنبوب، يمكن تجميع طبقة محفز ثابتة fixed catalyst bed عن طريق تحميل محفزات MMO من نوع جسيمي في أنابيب المفاعل. يمكن أن تتدفق غازات المعالجة process gases من خلال الأنابيب، في تلامس مباشر مع جسيمات المحفز، في حين تمر مادة التبريد coolant من خلال غلاف الوعاء لإزالة حرارة التفاعل. تشتمل المواد المبردة النمطية على أملاح نيتريت مصهورة molten nitrate salts وسوائل نقل حرارة عضوية، مثل Dowtherm™. يمكن تجميع غاز المنتج الناتج من المفاعل وتنقيته في معدة سابقة إضافية، مثل واحدة أو أكثر من أوعية الإخماد quench vessels، أعمدة الامتصاص absorber columns، أعمدة إزالة الماء dehydration columns، أجهزة الاستخراج extractors، أبراج التقطير المقاومة للغليان azeotropic distillation towers، وأجهزة البلورة crystallizers، للحصول على منتج حمض أكريليك acrylic acid مناسب للبيع، أو للاستخدام في إنتاج إسترات أكريلات acrylate esters، أو بوليمرات فائقة الامتصاص، أو ما شابه ذلك.

يوجد تصميمين لمفاعل الأكسدة من النوع ذو الغلاف والأنبوب الأساسي تستخدم بشكل شائع في الفن السابق: مفاعلات Tandem ومفاعلات ذات غلاف مفاعل واحد single reactor shell reactors ("SRS").

تشتمل مفاعلات Tandem بصفة عامة على وعائي تفاعل من نوع ذو غلاف وأنبوب منفصلين متصلين في تسلسل بواسطة قناة وسيطة intermediate conduit. يتم تشغيل وعائي التفاعل في تسلسل، بحيث يمكن تنفيذ تحول البروبيلين propylene إلى الأكرولين acrolein في وعاء التفاعل الأول (باستخدام محفز R1) ويمكن تنفيذ تحول الأكرولين acrolein إلى حمض أكريليك acrylic acid في وعاء التفاعل الثاني (باستخدام محفز R2). يمكن إمداد كل غلاف وعاء تفاعل بتدويره

الخاص من مادة التبريد بحيث يمكن التحكم بدرجات حرارة تشغيل وعاء التفاعل الأول ووعاء التفاعل الثاني بشكل مستقل عن بعضهما البعض. تم تقديم الأمثلة التمثيلية لمفاعلات Tandem في براءة الاختراع الأمريكية رقم ٤١٤٧٨٨٥؛ براءة الاختراع الأمريكية رقم ٤٨٧٣٣٦٨؛ وبراءة الاختراع الأمريكية رقم ٦٦٣٩١٠٦. في بعض التجسيدات، يمكن إضافة مبادل حرارة اختياري بين وعاء التفاعل الأول ووعاء التفاعل الثاني لتبريد تيار غاز المعالجة الوسيط قبل دخوله وعاء التفاعل الثاني. في التجسيدات الأخرى، يمكن أن يتضمن تصميم مفاعل tandem إمكانية "تغذية مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant"، حيث يتم إمداد الأكسجين oxygen الإضافي (أو الهواء) إلى وعاء التفاعل الثاني من خلال وصلة على القناة الوسيطة؛ ويمكن أن تسمح تلك السمة لمفاعل tandem بالعمل بمعدل إنتاج أعلى و/أو خفض تركيز الأكسجين oxygen في تغذية المفاعل، بالتالي خفض احتمال الحرائق بنظام التغذية (انظر على سبيل المثال براءة الاختراع الأمريكية رقم ٧٠٣٨٠٧٩). بالرغم من سنوات التطوير والتحسين الكثير، مع ذلك، تبقى الأكسدة الذاتية للأكرولين acrolein، تكوّن الأوساخ العضوية بالقناة الوسيطة، والتكلفة الرأسمالية العالية باستخدام وعائي التفاعل (مقابل واحد) هي العيوب الرئيسية بمفاعلات tandem.

تشتمل مفاعلات SRS نمطياً على وعاء تفاعل من نوع ذو غلاف وأنبوب منفرد باستخدام الأنابيب التي تكون تقريباً الضعف طالما أن الأنابيب داخل وعاء التفاعل Tandem. يمكن تحميل النهاية العليا بكل أنبوب باستخدام محفز R1 ويمكن تحميل النهاية السابقة لكل أنبوب باستخدام محفز R2، لتشكيل منطقتي تفاعل متعاقبتين داخل كل أنبوب. يمكن وضع كمية من مادة خاملة inert material – مثل حلقات raschig rings raschig – عند تقريباً نقطة متوسطة midpoint بكل أنبوب، مما يشكل ما يسمى بطبقة مادة خاملة inert substance layer ، حيث تفصل منطقتي التفاعل الحفزي عن بعضها البعض. على نحو إضافي، يمكن وضع رقاقة أنبوب وسيطة inert substance layer داخل غلاف مفاعل SRS، تقريباً متزامنة مع طبقة المادة الخاملة، لتقسيم الغلاف إلى منطقة تبريد عليا وسفلية. يمكن إمداد كل منطقة تبريد بتدويرها الخاص من مادة التبريد بحيث يمكن التحكم بدرجات حرارة تشغيل منطقة التفاعل الأولى ومنطقة التفاعل الثانية بشكل مستقل عن بعضها البعض. يتم تقديم أمثلة على مفاعلات SRS في براءة الاختراع الأمريكية رقم ٦٠٦٩٢٧١ وبراءة الاختراع الأمريكية رقم ٦٣٨٤٢٧٤. بالرغم من إزالة الأكسدة الذاتية للأكرولين acrolein بشكل كبير في مفاعل SRS، يبقى تراكم الموليبينيوم molybdenium

والمواد الكربونية carbonaceous materials داخل كلاً من المرحلة البينية ومنطقة التفاعل الثانية يمثل مشكلة كبيرة؛ ولا يقيد ذلك التراكم فقط التدفق خلال أنابيب التفاعل، بالتالي يقيد الإنتاجية، ولكن يمكن أن يخفض أيضاً الحصيلة، بسبب إخفاء السطح الحفزي في منطقة التفاعل R2. على نحو إضافي، تؤدي الأنابيب الطويلة المستخدمة في تصميم SRS المفاعل إلى جعل إزالة المواد الصلبة المتراكمة صعبة للغاية من نقطة وسيطة بالأنابيب، تتطلب استخدام تقنيات شديدة، مثل تبييض الماء بالضغط العالي high pressure waterblasting واستخدام أجهزة الحفر drilling-devices، مثل المعدة apparatus التي تم الكشف عنها في منشور طلب براءة الاختراع الأمريكي رقم ٢٠٠٩٠١١٢٣٦٧. ويتمثل عيب آخر بتصميم مفاعل SRS في أنه لا يمكن بسهولة تعديل ناتج تراكم تغذية مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant feed.

وتشمل وثائق التقنية السابقة ذات الصلة بالاختراع الحالي: طلب براءة الاختراع الأمريكي رقم ٢٠٠٨/٠٠٢١٢٤٢ (باسم ام. تانيموتو ومعاونيه)، براءة الاختراع الأمريكية رقم ٤٥١٨٥٧٤ (باسم آر إم أوسمان ومعاونيه)، براءة الاختراع الأمريكية رقم ٤٨٧٣٣٦٨ (باسم كيه. كادوواكي ومعاونيه)، براءة الاختراع الأمريكية رقم ٦٣٨٤٢٧٤ (باسم جيه ئي. إلدر ومعاونيه)، طلب براءة الاختراع الأمريكي رقم ٢٠٠٦/٠٠٩٩١٣١ (باسم اس بيه سينغ ومعاونيه)، طلب براءة الاختراع الأمريكي رقم ٢٠١٠/٠٠١٥٠١٧ (باسم كيه اس ها ومعاونيه)، و طلب براءة الاختراع الأمريكي رقم ٢٠٠٩/٠٢٥٣٩٣٤ (باسم اف هو ومعاونيه).

تم توجيه طلب براءة الاختراع الأمريكي رقم ٢٠٠٨/٠٠٢١٢٤٢ نحو جهاز تفاعل من نوع أنبوب وغلاف بطبقة ثابتة fixed bed shell-and-tube reaction apparatus لإنتاج حمض أكريليك يشتمل على مفاعل أحادي، حيث يكون الجزء الداخلي للمفاعل مقسما إلى منطقتي تفاعل، ويتم تزويد حيز مزود بآلية mechanism لإنتاج مادة غازية gaseous substance من الجزء الخارجي بين منطقتي التفاعل. وتم توجيه براءة الاختراع الأمريكية رقم ٤٥١٨٥٧٤ نحو عملية تصنيع غاز حفزي catalytic gas synthesis process لإنتاج منتجات غازية مثل الأمونيا. وتستخدم العملية جهاز تحويل للأمونيا مصمم ليشتمل على مرحلتي محفز ومبادل لإعادة التسخين reheat exchanger.

الوصف العام للاختراع

توفر إحدى سمات الاختراع مفاعل مرحلة بينية مفتوحة أحادي الغلاف single shell open interstage ("SSOI") reactor يتضمن تصميم مفاعل من نوع ذو غلاف وأنبوب shell-and-tube type reactor design حيث يعالج بعض على الأقل من أوجه قصور مفاعلات Tandem من الفن السابق ومفاعلات SRS أثناء الإنتاج الاقتصادي للكميات التجارية من حمض أكريليك acrylic acid. يمكن أن يوفر مفاعل SSOI من الاختراع على الأقل واحدة أو أكثر من المميزات التالية مقارنةً بمفاعلات الغلاف والأنبوب المعروفة: تكاليف رأسمالية أقل من خلال استخدام وعاء تفاعل منفرد، إمكانية وصول محسنة enhanced accessibility أثناء التنظيف cleaning واستبدال المحفز catalyst replacement، انخفاض تراكم المواد الصلبة الكربونية carbonaceous solids وموليبينيوم أكاسيد molybdenium oxides داخل المفاعل، انخفاض هبوط الضغط drop pressure عبر المفاعل، انخفاض زمن التوقف downtime المطلوب لتكسير الفحم decoking، انخفاض فقد النشاط الحفزي catalytic activity بسبب ترسيب المواد الصلبة، انخفاض الأكسدة الذاتية للأكرولين acrolein، انخفاض تكوين منتج حمض الأسيتيك acetic acid الثانوي، انخفاض إعادات تعبئة المحفز الجزئية من خلال مطابقة العمر المفيد للمحفز catalyst useful life، وقابلية توفير مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant بين مراحل التفاعل.

تتعلق إحدى سمات الاختراع بمفاعل تدفع لأعلى بالمرحلة البينية المفتوح أحادي الغلاف يشتمل على:

أ) مرحلة تفاعل بغلاف وأنبوب أولى تتضمن مجموعة من أنابيب تفاعل، حيث تشتمل أنابيب التفاعل بمرحلة التفاعل الأولى على محفز أول؛

ب) مبادل حرارة بيني interstage heat exchanger؛

ج) منطقة بينية مفتوحة open interstage region؛ و

د) مرحلة تفاعل بغلاف وأنبوب ثانية second shell-and-tube reaction stage يتضمن مجموعة من أنابيب تفاعل، حيث تشتمل أنابيب التفاعل بمرحلة التفاعل الثانية على محفز ثاني؛

حيث يتم وضع مبادل الحرارة البيني المذكور بين مرحلة التفاعل الأولى المذكورة والمنطقة البينية المفتوحة المذكورة، وحيث يتم تصميم المفاعل المذكور للتشغيل بالتدفق لأعلى.

تتعلق سمة أخرى من الاختراع بمفاعل بمرحلة بينية مفتوح أحادي الغلاف، يشتمل على، في ترتيب تدفق العملية in process-flow order:

أ) مرحلة تفاعل أولى بغلاف وأنبوب تتضمن مجموعة من أنابيب تفاعل تحتوي على محفز أول؛

ب) مبادل حرارة بيني مدمج يتضمن مجموعة من الأنابيب المتصلة بشكل متحد المحور مع مجموعة من أنابيب التفاعل بمرحلة التفاعل الأولى؛

ج) منطقة بينية مفتوحة يتضمن تجميعة خلط مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant ؛ و

د) مرحلة تفاعل ثانية بغلاف وأنبوب تتضمن مجموعة من أنابيب تفاعل تحتوي على محفز ثاني.

تتعلق سمة أخرى أيضاً من الاختراع بمفاعل بيني مفتوح أحادي الغلاف يشتمل على:

أ) مرحلة تفاعل بغلاف وأنبوب أولى تتضمن مجموعة من أنابيب تفاعل؛

ب) مبادل حرارة بيني؛

ج) منطقة بينية مفتوحة؛ و

د) مرحلة تفاعل بغلاف وأنبوب ثانية يتضمن مجموعة من أنابيب تفاعل؛

حيث يكون لأنابيب التفاعل بمرحلة التفاعل الثانية قطر أكبر من قطر أنابيب التفاعل بمرحلة التفاعل الأولى المذكورة.

تتعلق سمات إضافية من الاختراع بطرق لتحضير حمض أكريليك acrylic acid باستخدام المفاعلات التي تم الكشف عنها في هذه الوثيقة.

تتعلق سمات إضافية من الاختراع بمفاعل بيني مفتوح أحادي الغلاف لإنتاج حمض أكريليك acrylic acid من بروبيلين propylene يشتمل على، في ترتيب تدفق العملية:

أ) مرحلة تفاعل بغلاف وأنبوب أولى تتضمن مجموعة من أنابيب تفاعل، حيث تشتمل أنابيب التفاعل بمرحلة التفاعل الأولى على محفز أول لأكسدة بروبيلين propylene لإنتاج الأكرولين **acrolein**؛

ب) مبادل حرارة بيني؛

ج) منطقة بينية مفتوحة؛ و

د) مرحلة تفاعل بغلاف وأنبوب ثانية تتضمن مجموعة من أنابيب تفاعل، حيث تشتمل أنابيب التفاعل بمرحلة التفاعل الثانية على محفز ثاني لأكسدة الأكرولين acrolein لإنتاج حمض أكريليك acrylic acid ؛ و

٥ حيث يكون لأنابيب التفاعل بمرحلة التفاعل الثانية قطر أكبر من ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة).

تتعلق سمات إضافية أيضاً من الاختراع بعملية لتحضير حمض أكريليك acrylic acid يشتمل على:

أ) توفير غاز تغذية مختلط يتضمن بروبيلين propylene إلى مرحلة تفاعل أولى موضوعة عند نهاية سفلية بمفاعل بيني مفتوح أحادي الغلاف، حيث تشتمل مرحلة التفاعل الأولى

١٠ على محفز أكسيد معدن مختلط mixed metal oxide؛

ب) أكسدة البروبيلين propylene في مرحلة التفاعل الأولى لإنتاج غاز معالجة يتضمن الأكرولين acrolein؛

ج) غاز تبريد العملية في مبادل حرارة بيني؛

د) إمرار غاز المعالجة المبرّد لأعلى من خلال منطقة بينية مفتوحة؛

١٥ هـ) إمرار غاز المعالجة لأعلى إلى مرحلة تفاعل ثانية، حيث تشتمل مرحلة التفاعل الثانية على محفز أكسيد معدن مختلط mixed metal oxide؛ و

و) أكسدة الأكرولين acrolein في مرحلة التفاعل الثانية لإنتاج غاز منتج يتضمن حمض أكريليك acrylic acid.

<u>شرح مختصر للرسومات</u>

٢٠ الشكل ١أ : عبارة عن منظر جانبي يمثل سمات (عملية) جانب الأنبوب tubeside لتجسيد أول من مفاعل SSOI.

الشكل ١ب : عبارة عن منظر جانبي يمثل سمات (مادة التبريد) بجانب الغلاف shellside لتجسيد أول من مفاعل SSOI.

الشكل ١ج : عبارة عن منظر علوي يمثل مخطط رقاقة الأنبوب tubesheet layout لتجسيد

٢٥ أول من مفاعل SSOI.

الشكل ١د : عبارة عن منظر جانبي لنابض احتجاز محفز مخروطي conical catalyst retaining spring.

الشكل ١هـ : عبارة عن منظر علوي لمشبك احتجاز محفز catalyst retaining clip.

الشكل ٢ : عبارة عن منظر جانبي يمثل سمات (عملية) جانب الأنبوب لتجسيد ثاني من مفاعل SSOI.

الشكل ٣أ : عبارة عن منظر جانبي يمثل سمات (عملية) جانب الأنبوب لتجسيد ثالث من مفاعل SSOI.

الشكل ٣ب : عبارة عن منظر جانبي يمثل سمات (مادة التبريد) بجانب الغلاف لتجسيد ثالث من مفاعل SSOI.

الشكل ٤ : عبارة عن منظر جانبي يمثل سمات (عملية) جانب الأنبوب لأحد تجسيدات مفاعل SSOI يتضمن وسائل خلط mixing means لإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant.

الشكل ٥ : عبارة عن منظر جانبي يمثل سمات (عملية) جانب الأنبوب لتجسيد آخر من مفاعل SSOI يتضمن وسائل خلط لإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant.

الشكل ٦ : عبارة عن منظر جانبي مقطعي عرضي لخلاط دوامي venturi-mixer لإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant.

الشكل ٧ : عبارة عن رسم يوضح علاقة حمض أسيتيك acetic acid ٪ حصيلة مقابل ضغط مرحلة التفاعل الثانية.

الشكل ٨ : عبارة عن أحد تجسيدات عملية مدمجة لتحضير حمض أكريليك acrylic acid ، يتضمن مفاعل SSOI للاختراع الحالي ونظام تجميع وتنقية collection and purification system حمض أكريليك acrylic acid الخالي من المذيب.

الوصف التفصيلي

يكون من المفهوم أن كلاً من الوصف العام السابق والوصف المفصّل التالي يعتبر نموذجياً وتمثيلياً فقط ولا يقيّد الدراسات الحالية. وتم تضمين محتويات جميع براءات الاختراع

وطلبات براءات الاختراع المذكورة في ذلك الطلب بوضوح فلي هذه الوثيقة كمراجع لأي غرض. عندما تظهر تعريفات التعبيرات في المراجع المضمنة مختلفة عن التعريفات المقدمة في الدراسات الحالية، يجب الاحتكام للتعريف المقدم في الدراسات الحالية. وسوف يكون من المفهوم أنه يوجد "حوالي" ضمنية قبل درجات الحرارة، والأبعاد، ومعدلات التدفق، والتركيزات، والأزمنة، الخ. المناقشة في الدراسات الحالية، بحيث تكون الانحرافات الطفيفة والبسيطة ضمن مجال الدراسات الحالية.

ما لم تعرّف خلاف ذلك، يجب أن يكون للتعبيرات العلمية والفنية بالترافق مع الدراسات الحالية الموصوفة في هذه الوثيقة المعاني المفهومة بشكل شائع لأولئك ذوي المهارة العادية في الفن. علاوة على ذلك، ما لم يتطلب السياق خلاف ذلك، يمكن أن تشتمل صيغ المفرد على الجمع ويجب أن تشتمل صيغ الجمع على المفرد. بصفة عامة، تكون التسميات المستخدمة بالترافق مع، وتقنيات، تصميم المفاعل ذو الغلاف والأنبوب، إنتاج حمض الأكريليك acrylic acid ، وتفاعلات الأكسدة، معروفة جيداً وتستخدم بشكل شائع في الفن. كما هو مستخدم وفقاً للتجسيدات المقدمة في هذه الوثيقة، يجبج فهم التعبيرات التالية، ما لم يشار إلى خلاف ذلك، بأن لها المعاني التالية:

على النحو المستخدم في هذه الوثيقة، يشير المصطلح "مبادل الحرارة البيني interstage heat exchanger " أو "ISHX" إلى مبادل حرارة موضوع بين مراحل مفاعل منفرد. على سبيل المثال، يمكن وضع ISHX بين مرحلة تفاعل أولى ومرحلة تفاعل ثانية.

يشير المصطلح "مبادل الحرارة البيني المدمج integrated interstage heat exchanger"، أو "ISHX مدمج"، إلى مبادل حرارة به الأنابيب التي تكون متصلة بشكل متحد المحور مع أنابيب التفاعل بمرحلة تفاعل.

يشير المصطلح "مرحلة بينية مفتوحة open interstage" أو "OIS" إلى منطقة لا تتضمن أي أنابيب تفاعل وموضوعة بين مراحل مفاعل منفرد أو بين مرحلة ومبادل حرارة بيني بمفاعل منفرد. على سبيل المثال، يمكن وضع OIS بين مبادل حرارة بيني ومرحلة تفاعل ثانية.

على النحو المستخدم في هذه الوثيقة، يشير المصطلح "مادة بمساحة سطح عالية high surface area material"، وصيغ مختلفة منها، إلى نسبة مساحة سطح إلى حجم كتلة تبلغ على الأقل ٧٨,٧ م^{٢}/م^{٣} (٢٤ قدم^{٢}/ قدم^{٣}).

على النحو المستخدم في هذه الوثيقة، يشير التعبير "مادة خاملة inert material" إلى مادة حيث تكون غير فعّالة إلى حدٍ كبير عند تحفيز تفاعل مواد التغذية أو منتجات التفاعل. على سبيل المثال، في مفاعل إنتاج حمض أكريليك acrylic acid من خلال أكسدة بروبيلين propylene، تكون المادة الخاملة هي مادة حيث تكون غير فعّالة إلى حدٍ كبير عند تحفيز أكسدة بروبيلين propylene أو تحفيز أكسدة الأكرولين acrolein.

يشير التعبير "مادة مناسبة"، على النحو المستخدم في هذه الوثيقة، إلى مواد حيث لا تشوّه deform، تصهر melt، تبخّر vaporize، تفكك decompose، أو تحرق combust عند تعرضها إلى درجات حرارة عملية، ضغوط تشغيل operating pressures عملية، أو مكونات كيميائية chemical components داخل العملية.

على النحو المستخدم في هذه الوثيقة، يشير التعبير "واجهة interface" إلى الحدود بين قطاعي المفاعل المتجاورين adjacent reactor sections. يشير التعبير "وصلة connection" إلى نقطة تلامس محيطي point of circumferential contact بين قطاعات المفاعل المتجاورة عند واجهة ويمكن أن تكون مؤقتة أو دائمة. يشير التعبير "رقاقة أنبوب tubesheet" إلى سطح مستوي موضوع عند واجهة، يمتد السطح المذكور إلى حدٍ كبير فوق القطاع العرضي الكامل للمفاعل ويتضمن مجموعة من الثقوب خلالها تمر نهايات أنابيب التفاعل. وترتبط نهايات أنابيب التفاعل برقاقة الأنبوب بواسطة وسائل معروفة مثل اللحام أو الدلفنة، أو ستم ربط رقاقة الأنبوب أيضاً عند محيطها الخارجي بغلاف الوعاء، بالتالي منع مادة تبريد جانب الغلاف من المرور من أحد القطاعات إلى الآخر. ويشير التعبير "عارضة مرحلة بينية interstage baffle " إلى سطح مستوي موضوع عند واجهة، يمتد السطح المذكور إلى حدٍ كبير فوق القطاع العرضي الكامل للمفاعل ويتضمن مجموعة من الثقوب خلالها تمر أنابيب التفاعل. وعلى النقيض من رقاقة أنبوب، مع ذلك، لا ترتبط أنابيب التفاعل بالعارضة، ويتم السماح بالاتصال المائع fluidic communication لمادة تبريد جانب الغلاف بين القطاعات المتجاورة. في النهاية، يشير التعبير "عارضة قطعية segmental baffle" إلى سطح مستوي غير موضوع عند واجهة، يمتد السطح المذكور فقط فوق جزء من القطاع العرضي للمفاعل ويتضمن مجموعة من الثقوب خلالها تمر أنابيب التفاعل. كما هو الحال مع عارضة مرحلة بينية، لا ترتبط أنابيب التفاعل بعارضة قطعية، ويتم السماح بالاتصال المائع لمادة تبريد جانب الغلاف بين الأسطح المتقابلة بالعارضة القطعية.

يتم استخدام التعبيرات "قطر diameter " و"مساحة مقطعية عرضية cross-sectional area "، عند الإشارة إلى أنبوب، لتعريف حجم الأنبوب بدلاً من شكل الأنبوب. تستخدم الأمثلة المقدمة في هذه الوثيقة الأنابيب التي لها قطاع عرضي دائري، ولكن يمكن استخدام الأنابيب ذات الأشكال الأخرى. بالنسبة للأنابيب التي لها أشكال أخرى، يمكن أن يدرك أحد ذوي المهارة العادية في الفن أن الأقطار الموصوفة في هذه الوثيقة يمكن تحويلها إلى البُعد الملائم للأشكال البديلة عن طريق تحديد المساحة المقطعية العرضية مع الأخذ في الحسبان أي اختلافات (على سبيل المثال، نقل الحرارة heat transfer، نقل الكتلة mass transfer، الخ.) الناتجة من الشكل البديل. يتم استخدام التعبيرات "قطر" و"مساحة مقطعية عرضية" للإشارة إلى القطر أو المساحة المقطعية العرضية لفتحة الأنبوب، أي، القطر الداخلي أو المساحة المقطعية العرضية الداخلية.

على النحو المستخدم في هذه الوثيقة، تتعلق التعبيرات "تدفق لأعلى upflow " و"تدفق لأسفل downflow " باتجاه التدفق خلال المفاعل بالنسبة لقوة الجاذبية الأرضية gravitational force. يصف التدفق لأعلى تدفق عملية رأسية لأعلى حيث تتقدم مقابل قوة الجاذبية الأرضية. يصف التدفق لأسفل تدفق عملية رأسية لأسفل حيث تتقدم في اتجاه قوة الجاذبية الأرضية.

يشير التعبير "زمن الاحتجاز residence time" إلى مقدار الزمن الذي يستغرقه الغاز في واحد أو أكثر من القطاعات الخاصة. على سبيل المثال، يمكن أن يشير زمن الاحتجاز إلى مقدار الزمن المستغرق في ISHX. بالمثل، يمكن أن يشير زمن الاحتجاز إلى مقدار الزمن المستغرق في قطاعات متعددة، مثل، على سبيل المثال، المقدار المجمع للزمن المستغرق في منطقة ISHX وOIS. ما لم يحدد خلاف ذلك، يتم تحديد زمن احتجاز تدفق غاز المعالجة داخل المفاعل عند الظروف المرجعية ٢٤٠° درجة مئوية وضغط ٣٠ رطل لكل بوصة مربعة مطلق psia (٢ جوي atm).

في أحد التجسيدات على الأقل، يشتمل مفاعل SSOI على، في ترتيب تدفق العملية:

أ) رأس مدخل مفاعل inlet reactor head؛

ب) مرحلة تفاعل أولى بغلاف وأنبوب؛

ج) مبادل حرارة بيني مدمج؛

د) منطقة بينية مفتوحة؛

هـ) مرحلة تفاعل ثانية بغلاف وأنبوب؛ و

و) رأس مخرج مفاعل outlet reactor head.

يمكن أن تشتمل مرحلة التفاعل الأولى ("R1") على مجموعة من أنابيب تفاعل، يمكن تعبئة كل منها باستخدام محفز، على سبيل المثال، محفز R1. عند الاستخدام لأكسدة بروبيلين propylene لتشكيل حمض أكريليك acrylic acid ، يمكن أن يكون المحفز R1 عبارة عن محفز MMO مختار من أكاسيد oxides من موليبينيوم molybdenium، بيزموث bismuth، وحديد iron.

يمكن أن تشتمل مرحلة التفاعل الأولى على مادة تبريد غلاف جانبي shellside coolant. يمكن أن يدرك أحد ذوي المهارة العادية في الفن أن مادة التبريد وتدوير مادة التبريد يمكن اختياره وتصميمه لموافقة حاجات نقل الحرارة بالتطبيق المحدد.

يمكن أن تشتمل مرحلة التفاعل الثانية ("R2") على مجموعة من أنابيب تفاعل. يمكن تعبئة أنابيب تفاعل R2 باستخدام محفز (محفز R2) لتحفيز تفاعل المرحلة الثانية. في التفاعل النموذجي، عند أكسدة الأكرولين acrolein في R2 لتشكيل حمض أكريليك acrylic acid ، يمكن أن يشتمل محفز R2 على MMO مختار من موليبينيوم molybdenium وڤانـاديوم أكاسيد vanadium oxides. يمكن أن يشتمل جانب الغلاف بمرحلة التفاعل الثانية على مادة تبريد. يمكن التحكم بمادة التبريد بمرحلة التفاعل الثانية بشكل مستقل عن مادة التبريد بمرحلة التفاعل الأولى. على نحو بديل، يمكن التحكم بمادة التبريد من مرحلة التفاعل الثانية باستخدام مادة التبريد من مرحلة التفاعل الأولى.

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن أن تشتمل ISHX على مادة تبريد غلاف جانبي. يمكن التحكم بمادة تبريد ISHX بشكل منفصل أو بالترافق مع مادة تبريد مرحلة التفاعل الأولى. في أحد التجسيدات على الأقل، يتم التحكم بمادة تبريد ISHX بشكل مستقل عن مادة تبريد مرحلة التفاعل الأولى. وفقاً لاستخدام أحد التجسيدات على الأقل، تحفظ مادة تبريد ISHX درجة حرارة غاز المعالجة لترك ISHX بين ٢٤٠° درجة مئوية و ٢٨٠° درجة مئوية.

في أحد التجسيدات على الأقل من الكشف الحالي، يمكن أن يكون لأنابيب التفاعل R1 و R2 قطر مختلف أو مساحة مقطعية عرضية. على سبيل المثال، يمكن أن تكون أنابيب التفاعل R2 أطول من أنابيب التفاعل R1. على نحو بديل، يمكن أن يكون لأنابيب التفاعل R1 و R2 نفس القطر أو المساحة المقطعية العرضية. في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن أن يكون لأنابيب التفاعل R2 مساحة مقطعية عرضية على الأقل ٢٥٪ أكبر من المساحة المقطعية العرضية

لأنابيب التفاعل R1. في تجسيد إضافي، يمكن أن يكون لأنابيب التفاعل R2 مساحة مقطعية عرضية على الأقل ٥٠٪ أكبر من المساحة المقطعية العرضية لأنابيب التفاعل R1.

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن أن يكون لأنابيب التفاعل R1 قطر ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة) أو أقل. في التجسيدات الأخرى، يمكن أن يكون لأنابيب التفاعل R1 قطر أكبر من ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة)، مثل، على سبيل المثال، ٢٥,٤ مم (١ بوصة) أو أكثر.

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن أن يكون القطر الداخلي internal diameter لأنابيب مرحلة التفاعل الثانية داخل مفاعل SSOI أكبر من ٢٢,٣ مم. في أحد التجسيدات على الأقل، يكون لـ R1 وأنابيب تفاعل R2 قطر أكبر من ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة). في تجسيد إضافي يتراوح القطر الداخلي لأنابيب مرحلة التفاعل الثانية داخل مفاعل SSOI من ٢٣,٦ مم إلى ٥٠ مم. في أحد التجسيدات على الأقل، يكون القطر الداخلي لأنابيب مرحلة التفاعل الثانية داخل مفاعل SSOI على الأقل ٢٥,٤ مم (١ بوصة). وفقاً لتجسيد من الكشف الحالي، تكون أنابيب مرحلة التفاعل الثانية لا تزيد عن ٤،٥٠٠ مم (١٧٧ بوصة) في الطول.

يمكن تعويض التأثير السلبي على إزالة الحرارة لقطر أنابيب أكبر بالتعديلات الملائمة في واحدة أو أكثر من متغيرات التصميم الأخرى، مثل على سبيل المثال، عدد عوارض غلاف جانبي، العارضة الهندسية baffle geometry والوضع، مخطط رقاقة الأنبوب والتباعد بين الأنابيب (معروف أيضاً بانحدار الأنبوب)، معدل دوران circulation rate ملح التبريد cooling salt، ودرجة حرارة إمداد supply temperature ملح التبريد. على سبيل المثال، في أحد التجسيدات، يتم استخدام معدلات تدوير الملح المنخفضة من خلال غلاف المفاعل، بالتالي تقليص متطلبات القدرة power requirements لمضخات تدوير الملح salt circulation pumps؛ يمكن أن تؤدي فلسفة التصميم design philosophy هذه بصفة عامة إلى ارتفاع درجة حرارة الملح من خلال غلاف المفاعل (درجة حرارة الملح بالنسبة لدرجة حرارة الملح في) كثيراً حتى ١٤ إلى ١٧° درجة مئوية (٢٥ إلى ٣٠° درجة فهرنهيت). في تجسيد بديل، يتم استخدام معدلات تدوير الملح العالية ويتم تقييد زيادة درجة حرارة الملح من خلال غلاف المفاعل لنطاق من ١ إلى ٣° درجة مئوية (٢ – ٥° درجة فهرنهيت).

يمكن إجراء تلك التعديلات على التصميم بواسطة أحد ذوي المهارة في مجال تصميم مبادل الحرارة، باستخدام برنامج تصميم design software متوفر تجارياً من HTRI أو ما شابه

ذلك؛ على نحو بديل، يمكن الاستعانة بخدمات تصميم نظام تبريد cooling system design services خارجي لتأسيس شركات تصنيع المفاعل reactor fabrication companies مثل، على سبيل المثال، MAN Turbo AG (سابقاً Deggendorfer Werft and Eisenbau GmbH)، التي سوف تستخدم تنظيمات وطرق تصميمها المنفذة جيداً.

بالمثل، يمكن عدد أنابيب تفاعل في R1 و R2 متشابه أو مختلف. في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن أن يكون عدد أنابيب التفاعل R1 أكبر من عدد أنابيب تفاعل R2. في على الأقل أحد التجسيدات الإضافية، يمكن أن يكون عدد أنابيب التفاعل R1 أكبر من عدد أنابيب تفاعل R2، ويمكن أن يكون لأنابيب التفاعل R2 أكبر من قطر أو مساحة مقطعية عرضية من أنابيب التفاعل R1.

يمكن تصميم مفاعلات SSOI التي تم الكشف عنها في هذه الوثيقة للتشغيل بالتدفق الصاعد أو التدفق الهابط. في أحد التجسيدات على الأقل، يتم تصميم مفاعلات SSOI للتشغيل بالتدفق لأعلى. في مفاعل SSOI للتدفق الصاعد، يتم وضع رأس مدخل المفاعل عند قاع ويتم وضع رأس مفاعل المخرج عند قمة مفاعل SSOI.

في أحد التجسيدات على الأقل، تشتمل منطقة OIS على إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant. عند وجود إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ، تشتمل منطقة OIS أيضاً على تجميعة خلط mixing assembly مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant.

في التجسيدات حيث يتم إنتاج حمض الأكريليك acrylic acid من أكسدة بروبيلين propylene، زمن الاحتجاز المجمع combined residence time داخل كلاً من ISHX و OIS (المعروف في هذه الوثيقة على هيئة "زمن احتجاز مرحلة بينية interstage residence time") هي ٣ ثواني أو أقل. في أحد التجسيدات على الأقل، يكون زمن الاحتجاز داخل ISHX هو أقل من ١,٥ ثانية.

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن مراقبة غازات عملية تشغيل مفاعل SSOI لتركيز بروبيلين propylene غير متفاعل وتركيز الأكرولين acrolein غير المتفاعل باستخدام على الأقل محلل مباشر online analyzer، مثل على سبيل المثال، واحدة أو أكثر من كروماتوجراف غاز gas chromatograph، محلل أشعة تحت الحمراء قريبة ("NIR") analyzer ("NIR")، near infrared

محلل ليزر ثنائي قابل للضبط ("TDL") tunable diode laser ("TDL") analyzer، أو مخطط طيفي Raman spectrograph Raman، ويمكن تعديل درجات حرارة إمداد الملح salt supply temperatures إلى مرحلة التفاعل الأولى ومرحلة التفاعل الثانية للتحكم في تحولات البروبيلين propylene والأكرولين acrolein. في أحد التجسيدات، يمكن تعديل درجة حرارة إمداد ملح تبريد المرحلة الأولى (T_{R1salt}) لحفظ تحويل البروبيلين propylene عند ٩٤٪ أو أكبر، عند ٩٥٪ أو أكبر، أو عند ٩٦,٥٪ أو أكبر.

في تجسيد آخر، يمكن تعديل درجة حرارة إمداد ملح تبريد المرحلة الأولى (T_{R1salt}) لحفظ تركيز البروبيلين propylene غير المتفاعل في مفاعل SSOI غاز المنتج عند بين ٠,٠٥ و ٠,٣٥ ٪ مول، مثل، على سبيل المثال، بين ٠,١٣ - ٠,٢٦ ٪ مول. في أحد التجسيدات، يمكن تعديل درجة حرارة إمداد ملح تبريد المرحلة الثانية (T_{R2salt}) لحفظ تحول الأكرولين acrolein عند ٩٨٪ أو أكبر، مثل عند ٩٩٪ أو أكبر، أو عند ٩٩,٥٪ أو أكبر.

في تجسيد آخر، يمكن تعديل درجة حرارة إمداد ملح تبريد المرحلة الثانية (T_{R2salt}) لحفظ تركيز الأكرولين acrolein غير المتفاعل في مفاعل SSOI غاز المنتج عند ما لا يزيد عن ٥٠٠ جزء بالمليون، مثل، على سبيل المثال، لا تزيد عن ٣٠٠ جزء بالمليون.

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن تجهيز أجهزة قياس درجة الحرارة، مثل المقترنات الحرارية thermocouples أو Resistance Thermal Devices (RTDs)، داخل نظام التفاعل لمراقبة ظروف تشغيل الملية ولتعمل اختيارياً على هيئة مستشعرات sensors داخل أنظمة سلامة مجهزة safety instrumented systems (SIS) لنظام التفاعل. تكون جميع المقترنات الحرارية المستقلة ومتعددة النقاط من النوع E، والنوع J، والنوع K مناسبة للاستخدام باستخدام مفاعل SSOI للاختراع الحالي ومتوفر تجارياً من موردين متعددين، تتضمن STI manufacturing Inc. من Willis, Texas USA; Watlow Electric Manufacturing Company of St. Louis, Missouri USA; Sandelius Instruments, Inc of Houston, Texas USA, and Gayesco International Inc. of Pasadena, Texas USA.

يمكن وضع واحدة أو أكثر من المقترنات الحرارية اختيارياً داخل واحدة أو أكثر من رأس المدخل inlet head، رأس المخرج outlet head، ماسورة مدخل inlet piping، ماسورة مخرج outlet piping، والمنطقة البينية المفتوحة open interstage region. في أحد التجسيدات، يمكن وضع مجموعة من المقترنات الحرارية داخل رأس مدخل المفاعل للاستخدام مع نظام إيقاف SIS. وفقاً

لأحد التجسيدات على الأقل، يمكن ترطيب على الأقل ٤ مقترنات حرارية داخل المنطقة البينية المفتوحة ويمكن توزيع تلك المقترنات الحرارية بشكل منتظم في جميع أنحاء منطقة المرحلة البينية. علاوة على ذلك، يمكن ربط المقترنات الحرارية اختيارياً مباشرةً بالرقائق الأنبوب داخل المفاعل.

يمكن استخدام مجموعة من المقترنات الحرارية للعملية متعددة النقاط multipoint process thermocouples داخل أنابيب المفاعل لمراقبة درجة حرارة محفز جانب العملية process-side catalyst temperature عند تغيير المسافات على امتداد محور الأنبوب. في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن وضع مجموعة من مقترنات حرارية لملح متعددة النقاط داخل أنابيب المفاعل لمراقبة درجة حرارة ملح جانب الغلاف shellside salt temperature على امتداد طول المفاعل. ويجب ملاحظة أنه، مع ذلك، لا يمكن أن يخرج مقترن حراري لعملية متعددة النقاط ومقترن حراري لملح متعدد النقاط بشكل مشترك في نفس أنبوب المفاعل.

في أحد التجسيدات، يتم استخدام تجميعة اقتران حراري لعملية متعددة النقاط، تتضمن ١٤ وصلة اقتران حراري thermocouple junctions موضوعة على مسافات متغيرة على امتداد طولها، ومبيتة داخل غمد بقطر خارجي ٣,٢ مم، داخل أنبوب مرحلة تفاعل أولى بـ ٢٢,٣ مم قطر داخلي. في تجسيد آخر، تجميعة يتم استخدام اقتران حراري لعملية متعددة النقاط، تتضمن على الأقل ١٠ وصلات اقتران حراري موضوعة عند مسافات متساوية على امتداد طولها، ومبيتة داخل غمد ٦ مم قطر خارجي، داخل أنبوب مرحلة تفاعل أولى بـ ٢٥,٤ مم قطر داخلي. في أي تجسيد، يمكن توجيه تجميعة الإقران الحراري للعملية على امتداد خط مركز أنبوب المفاعل ويمكن وضع المحفز والوليجات inerts داخل باقي الحيز الحلقي للأنبوب.

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن ملائمة على الأقل ٤ أنابيب مفاعل مع تجميعات الإقران الحراري للعملية متعددة النقاط multipoint salt thermocouple assembly هذه، مثل، على سبيل المثال، على الأقل ٦ أنابيب، أو على الأقل ١٠ أنابيب. بالمثل، في أحد التجسيدات، يتم استخدام تجميعة اقتران حراري لملح متعددة النقاط، تتضمن ٤ وصلات اقتران حراري موضوعة عند مسافات متساوية على امتداد طولها، ومبيتة داخل غمد بقطر خارجي ٣,٢ مم، داخل أنبوب مرحلة تفاعل أولى بـ ٢٢,٣ مم قطر داخلي.

في تجسيد بديل، يمكن استخدام تجميعة اقتران حراري لملح متعددة النقاط multipoint salt thermocouple assembly، تتضمن على الأقل ٣ وصلات اقتران حراري موضوعة عند مسافات

متساوية على امتداد طولها، ومبيتة داخل غمد ٦ مم قطر خارجي outside diameter sheath، داخل أنبوب مرحلة تفاعل أولى بـ ٢٥,٤ مم قطر داخلي. يمكن ملائمة على الأقل ٤ أنابيب مفاعل مع تجميعات الاقتران الحراري للملح متعددة النقاط هذه، مثل، على سبيل المثال، على الأقل ٦ أنابيب، أو على الأقل ١٠ أنابيب. في أحد التجسيدات، يمكن توجيه تجميعة الاقتران الحراري للملح على امتداد خط مركز أنبوب المفاعل، يتم وضع يتم وضع كريات الوليجة inert spheres داخل باقي الحيز الحلقي للأنبوب، وغطاء قابل للإحكام أو سدادة sealable cap or plug على على الأقل النهاية العليا upstream end بالأنبوب لمنع تدفق غاز المعالجة المحوري axial process gas flow من خلال الأنبوب. في تجسيد بديل، يمكن توجيه تجميعة الاقتران الحراري للملح salt thermocouple assembly على امتداد خط مركز centerline أنبوب المفاعل ويمكن وضع جسيمات وليجة بقطر صغير (على سبيل المثال، لا تزيد عن ٤ مم في القطر)، مثل، على سبيل المثال، رمال sand، مسحوق ألومينا alumina powder، أو حصى كربيد سيليكون silicon carbide grit، داخل باقي الحيز الحلقي annular space للأنبوب لتوفير مقاومة عالية high resistance لتدفق غاز المعالجة المحوري؛ يمكن أن يشتمل ذلك التجسيد اختيارياً أيضاً على غطاء قابل للإحكام sealable cap أو سدادة plug على الأقل على النهاية العليا بالأنبوب.

في أحد التجسيدات، يمكن استخدام تجميعة اقتران حراري لعملية متعددة النقاط multipoint process thermocouple assembly، تتضمن على الأقل ٨ وصلات اقتران حراري thermocouple junctions موضوعة على مسافات متغيرة على امتداد طولها، ومبيتة داخل غمد بقطر خارجي outside diameter ٣,٢ مم، داخل أنبوب مرحلة تفاعل ثانية بـ ٢٢,٣ مم قطر داخلي internal diameter. في تجسيد آخر، يمكن استخدام تجميعة اقتران حراري لعملية متعددة النقاط، تتضمن على الأقل ١٠ وصلات اقتران حراري موضوعة عند مسافات متساوية على امتداد طولها، ومبيتة داخل غمد ٦ مم قطر خارجي، داخل أنبوب مرحلة تفاعل ثانية بـ ٢٥,٤ مم قطر داخلي.

يمكن توجيه تجميعة الإقران الحراري للعملية على امتداد خط مركز أنبوب المفاعل ويمكن وضع المحفز والوليجات داخل باقي الحيز الحلقي للأنبوب. في أحد التجسيدات على الأقل، يتم تجهيز على الأقل ٤ أنابيب مفاعل باستخدام تجميعات الإقران الحراري للعملية متعددة النقاط هذه، مثل، على سبيل المثال، على الأقل ٦ أنابيب، أو على الأقل ١٠ أنابيب. بالمثل، في أحد التجسيدات،

يمكن استخدام تجميعة اقتران حراري لملح متعددة النقاط، تتضمن على الأقل ٢ وصلات اقتران حراري موضوعة عند مسافات متساوية على امتداد طولها، ومبيتة داخل غمد بقطر خارجي ٣,٢ مم، داخل أنبوب مرحلة تفاعل ثانية بـ ٢٢,٣ مم قطر داخلي.

في تجسيد بديل، يمكن استخدام تجميعة اقتران حراري لملح متعددة النقاط، تتضمن على الأقل ٣ وصلات اقتران حراري موضوعة عند مسافات متساوية على امتداد طولها، ومبيتة داخل غمد ٦ مم قطر خارجي، داخل أنبوب مرحلة تفاعل ثانية بـ ٢٥,٤ مم قطر داخلي. في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن ملائمة على الأقل ٤ أنابيب مفاعل مع تجميعات الاقتران الحراري للملح متعددة النقاط هذه، مثل، على سبيل المثال، على الأقل ٦ أنابيب، أو على الأقل ١٠ أنابيب. في أحد التجسيدات، يمكن توجيه تجميعة الاقتران الحراري للملح على امتداد خط مركز أنبوب المفاعل، يتم وضع كريات الوليجة داخل باقي الحيز الحلقي للأنبوب، وغطاء قابل للإحكام أو سدادة على الأقل النهاية العليا بالأنبوب لمنع تدفق غاز المعالجة المحوري من خلال الأنبوب. في تجسيد بديل، يمكن توجيه تجميعة الاقتران الحراري للملح على امتداد خط مركز أنبوب المفاعل ويتم وضع جسيمات وليجة بقطر صغير (على سبيل المثال، لا تزيد عن ٤ مم في القطر)، مثل، على سبيل المثال، رمال sand، مسحوق ألومينا alumina powder، أو حصى كربيد سيليكون silicon carbide grit، داخل باقي الحيز الحلقي للأنبوب لتوفير مقاومة عالية لتدفق غاز المعالجة المحوري؛ يمكن أن يشتمل ذلك التجسيد اختيارياً أيضاً على غطاء قابل للإحكام أو سدادة على الأقل على النهاية العليا بالأنبوب.

تمثل الأشكال ١أ، ١ب، و١ج مجمعة أحد تجسيدات تصميم مفاعل بمرحلة بينية بغلاف مفتوح أحادية ("SSOI"). يكون للمفاعل من ذلك التجسيد قطر غلاف shell diameter حوالي ٥،٦٠٠ مم (١٨,٤ قدم) وطول إجمالي أكثر من ١٥،٢٤٠ مم (٥٠ قدم). عند معدلات تغذية feed ratios نمطية وسرعة فراغية لغاز التغذية إجمالية total feed gas space velocity ١٧٧٠ ساعة$^{-١}$ (محددة عند ٠° درجة مئوية و١ جوي)، يكون للمفاعل من ذلك التجسيد سعة إنتاج سنوية أسمية nominal annual production capacity تبلغ حوالي ١٠٠ kT من حمض أكريليك acrylic acid.

تدخل غازات التغذية feed gases (تتضمن، على سبيل المثال، بروبيلين propylene، بخار steam، أكسجين oxygen، ونيتروجين nitrogen) في المفاعل من القمة (انظر الشكل ١أ)،

تتدفق رأسياً لأسفل من خلال المفاعل، وتخرج من المفاعل عند القاع. يكون ذلك التجهيز لذلك هو تصميم عملية بتدفق هابط downflow process configuration.

تشتمل القطاعات الرئيسية للمفاعل على رأس المدخل ١٠٠، مرحلة التفاعل الأولى ١١٠ ("R1")، مبادل الحرارة البيني ١٣٠ ("ISHX")، المنطقة البينية المفتوحة ١٥٠، مرحلة التفاعل الثانية ١٦٠ ("R2")، ورأس المخرج ١٨٠. ما لم يحدد خلاف ذلك، يمكن تكوين جميع مكونات المفاعل من صلب كربوني carbon steel، مثل على سبيل المثال ASME SA-516 بدرجة ٧٠ صلب كربوني carbon steel.

يمكن أن تشتمل الواجهة بين القطاعات المتجاورة، المعرفة في الأشكال بـ ١٠٥، ١٢٥، ١٤٥، ١٥٥، و١٧٥، على وصلات دائمة permanent connections (على سبيل المثال، ملحومة welded) أو يمكن أن تشتمل اختيارياً على قطاعات قابلة للفصل separable connections، مثل الوصلات المجنحة flanged connections المثبتة باستخدام مجموعة من عناصر التثبيت fasteners، مثل على سبيل المثال مسامير bolts أو مشابك clamps. في التجسيد من الشكل ١أ، تكون الواجهة ١٠٥ و١٧٥ هي قطاعات قابلة للفصل، تسمح لرأس المدخ inlet head ل ١٠٠ ورأس المخرج outlet head ١٨٠ بسهولة الإزالة لاستبدال المحفز، في حين تكون الواجهات ١٢٥، ١٤٥ و١٥٥ عبارة عن وصلات ملحومة.

في ذلك التجسيد، يتم تكوين رأس مدخل المفاعل reactor inlet head ١٠٠ من ٣١٦ صلب مقاوم للصدأ stainless steel لمقاومة التآكل corrosion resistance المضافة. يشتمل كل من رأس مدخل المفاعل ١٠٠ ورأس المخرج ١٨٠ أيضاً على مكونات تحكم بدرجة الحرارة temperature control components اختيارية (غير موضحة)، مثل على سبيل المثال تتبع كهربي electric tracing، أغلفة تسخين بخار steam heating jackets، وملفات نقل حرارة بتدوير الملح circulating-salt heat transfer coils، للاستخدام في حفظ درجات حرارة السطح الداخلية internal surface temperatures فوق درجة حرارة نقطة تندي dewpoint temperature تيار غاز المعالجة process gas stream. يمكن استخدام العزل الخارجي External insulation أيضاً على رؤوس المفاعل بالإضافة إلى مكان آخر على غلاف المفاعل وأنظمة مد المواسير المرتبطة associated piping systems.

يمكن تجهيز رأس مدخل المفاعل reactor inlet head ١٠٠ ورأس المخرج outlet head ١٨٠ أيضاً باستخدام واحدة أو أكثر من أجهزة تخفيف الضغط الطارئ emergency pressure relief devices الاختيارية (غير موضحة)، مثل، على سبيل المثال، صمامات أمان الضغط pressure safety valves (PSVs) أو أقراص تمزق rupture discs. في بعض التجسيدات، يمكن تركيب أجهزة تخفيف الضغط الطارئ emergency pressure relief devices هذه بدلاً من ذلك على ماسورة المدخل و/ أو المخرج inlet and/or outlet piping المتصلة بالمفاعل.

بالإشارة مرة أخرى إلى الشكل ١أ، يكون لمرحلة التفاعل الأولى ١١٠ طول ٤،٦٠٠ مم (١٥ قدم) وتحتوي على مجموعة من أنابيب الصلب الكربوني الخالي من الشقوق seamless carbon steel tubes، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ١١٥أ، ١١٥ب، ١١٥ج. يمكن ربط نهاية مدخل كل أنبوب في مرحلة التفاعل الأولى، على سبيل المثال باللحام welding أو الدلفنة rolling ، برقاقة أنبوب المدخل R1 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة قطاع قابل للفصل ١٠٥). يمتد كل أنبوب داخل مرحلة التفاعل الأولى ١١٠ من خلال عارضة مرحلة بينية interstage baffle ١٢٦ (انظر الشكل ١ب) ويمر بالكامل من خلال مبادل الحرارة البيني ١٣٠، حيث تكون بطول ٢،١٠٠ مم (٦,٩ قدم). ويعني ذلك أن قطعة الأنبوب ١٣٥أ تمثل النهاية السفلية بالأنبوب ١١٥أ، قطعة الأنبوب ١٣٥ب تمثل النهاية السفلية بالأنبوب ١١٥ب، تمثل قطعة الأنبوب ١٣٥ج النهاية السفلية بالأنبوب ١١٥ج، وما إلى ذلك. كنتيجة لذلك، يكون الطول الفعلي لتلك الأنابيب المتصلة متحدة المحور coaxially continuous tubes هو ٦،٧٠٠ مم (٢٢ قدم)، مكافئ للمسافة بين قطاع قابل للفصل ١٠٥ والوصلة الملحومة ١٤٥. يمكن ربط نهاية مخرج كل قطعة أنبوب ١٣٥أ، ١٣٥ب، ١٣٥ج، على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب ISHX (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة الوصلة الملحومة ١٤٥). يتم الإشارة إلى سمة التصميم هذه، حيث بها يتم توصيل أنابيب مرحلة التفاعل الأولى بأنابيب مبادل الحرارة البيني، وحيث تشارك كلاً من مرحلة التفاعل الأولى ومبادل الحرارة البيني غلاف وعاء مشترك، في هذه الوثيقة بمبادل حرارة بيني مدمج. يجب ملاحظة أن عارضة مرحلة بينية ١٢٦ تختلف عن رقاقة أنبوب حقيقة في أنه لا يوجد أي ارتباطات أنبوب بعارضة (على سبيل المثال لحامات)؛ بدلاً من، ذلك تكون الثقوب خلال عارضة المرحلة البينية ١٢٦ بقطر داخلي أكبر قليلاً من القطر الخارجي للأنابيب (١١٥ أ، ب،

ج)، بحيث يتم تشكيل فجوة حلقية annular gap صغيرة (غير موضحة) بعرض بين ٠,٢٥ و٢,٥ مم حول كل أنبوب. بسبب تلك الفجوة الحلقية، يمكن أن يمر ملح تبريد ISHX بحجم صغير (حيث يتم إمدادها بشكل مفضل عند ضغط أعلى قليلاً من ملح تبريد R1) بشكل مستمر من خلال عارضة المرحلة البينية ويمتزج مع تدوير ملح تبريد R1. ونظراً لفائدة الكشف الحالي، يمكن تخصيص وسائل تدوير ملح بحجم ملائم من نظام تدوير R1 عائداً إلى نظام تدوير ISHX بسهولة بواسطة أحد ذوي المهارة العادية في مجال تصميم المعالجة ولا تتطلب وصفها بتفصيل أكثر في هذه الوثيقة.

في ذلك التجسيد، تكون رقاقة أنبوب المدخل R1 inlet tubesheet هي ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم) في القطر وتشتمل على ٢٢،٠٠٠ أنبوب. يمثل الشكل ١ج مخطط رقاقة أنبوب المدخل R1 كما هو معروض من أعلى. يوضح ذلك المنظر أنه يوجد منطقة تدوير (مشار لها بواسطة الدائرة المتقطعة) في مركز رقاقة الأنبوب حيث لا يوجد أي أنابيب؛ يكون لتلك المنطقة الفارغة قطر حوالي ١،١٤٤ مم (٣,٧٥ قدم). يكون للأنابيب قطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨") وقطر خارجي ٢٦,٩ مم (١,٠٦٠"). يتم تجهيز الأنابيب على نموذج مثلث triangular pattern ذو ٦٠ درجة، بانحدار رقاقة أنبوب ٣٤ مم (١,٣٤")، مما يؤدي إلى مسافة بين الأنابيب ٧ مم (٠,٢٧٥"). من تلك الأبعاد، يمكن أن يحتسب أحدهم نسبة تباعد الأنبوب tube spacing (t) إلى قطر الأنبوب الخارجي (d_a)، كما تم تعريفه في براءة الاختراع الأمريكية رقم US 7,226,567:

$$t = (26.9 + 7) \text{ و } d_a = (26.9)\text{، لذلك } t/d_a = 1.26$$

تكون محفزات R1 الكثيرة متوفرة تجارياً ومناسبة للاستخدام في معدة تفاعل SSOI من الاختراع الحالي. تشتمل الأمثلة على بدون حصر محفزات المرحلة الأولى ACF (R1)، ACF-2، ACF-4، ACF-7، وACF-8، جميعها متاح تجارياً من Nippon Shokubai of Japan، وYX-38، YX-111 وYX-129، جميعها متاح تجارياً من Nippon Kayaku of Japan. يكون بعض من تلك المحفزات R1 متاحة في أكثر من حجم. على سبيل المثال يكون محفز ACF-7 متاح على هيئة اسطوانات بكل من البُعد الكبير والصغير، المصممة في هذه الوثيقة على هيئة ACF-7L (كبيرة) وACF-7S (صغيرة)، ويمكن استخدامها بشكل مستقل أو مجمعة. يمكن أن تحتوي أجزاء الأنابيب R1 أيضاً على مواد خاملة، مثل على سبيل المثال ٦,٤ مم (٠,٢٥ بوصة) كريات Denstone 57 (متوفرة من Norton Chemical Process Products Corp, Akron OH, USA)، لتكوين تسخين

أولي أو مناطق التبريد عند مواقع مخصصة داخل كل أنبوب. يكون اختيار وتركيب محفزات R1 ملائمة ووليجات في أنابيب مرحلة التفاعل الأولى ضمن ضمن قدرة أحد المهرة في الفن.

يمكن وضع كسر فراغ void fraction عالي، وليجات حث اضطراب turbulence inducing inserts داخل قطع الأنبوب (١٣٥ أ، ب، ج) بمبادل الحرارة البيني لتحسين نقل الحرارة بدون تراكم المواد الملوثة accumulation foulants. بواسطة كسر فراغ عالي يقصد أكبر من ٨٥٪ كسر فراغ وبشكل مفضل أكبر من ٩٠٪ كسر فراغ. في ذلك التجسيد الخاص، يتم وضع شريط معدني حلزوني، يشار له في هذه الوثيقة بوليجة "ملفوفة"، داخل كل أنبوب. يتم تصنيع كل وليجة ملفوفة من شريط مستطيل منفرد بسمك ١,٥٧ مم (٠,٠٦٢ بوصة) من صلب كربوني carbon steel، وقياس ١٩,١ مم (٠,٧٥٠ بوصة) عرض في ٢،٠٥٧ مم (٨١ بوصة) طول. يمكن لف الشريط بشكل ميكانيكي حول محوره الطولي للحصول على شكل هندسي حلزوني منتظم uniform helical geometry يتضمن لفة revolution ٣٦٠ درجة لكل قدم (٣٠٥ مم) طول وطول نهائي ٢،٠٣٢ مم (٨٠ بوصة). يمكن تشكيل حلقة معدنية بقطر خارجي ١٧,٥ مم (١٦/١١ بوصة) من ١,٦ مم (١٦/١ بوصة) قطر السلك وترتبط بالنهاية العليا بالعنصر الملفوف، موجهة متعامدة على المحور الطولي long axis للوليجة الملفوفة، حتى يتم تبسيط وضع وليجة حث الاضطراب داخل الأنبوب.

في بعض التجسيدات، يمكن تثبيت قطعة من ٨ × ٨ شبكة أسلاك wire mesh، تتضمن ٠,٠٣٥ في سلك wire (٠,٩ مم)، أيضاً بحلقة المعدن metal ring على نهاية الوليجة الملفوفة twistee insert لتشكيل حاجز مسطح، خلال التدفق barrier planar, flow-through، بالتالي السماح للنهاية العليا بالوليجة الملفوفة بالعمل على هيئة جهاز احتجاز محفز catalyst retaining device. يمكن أن يكون للوليجات الملفوفة الناتجة كسر فراغ حوالي ٩٢٪ وقطر خارجي فعّال effective external diameter يكون حوالي ٨٥٪ من القطر الداخلي لأنابيب المفاعل من ذلك التجسيد، يسمح لها بسهولة التركيب والإزالة باليد. ونظراً لفائدة الكشف الحالي، سوف يتضح أن الوليجات الملفوفة يمكن تصنيعها أيضاً للاستخدام في الأنابيب بقطر داخلي مختلف. في أحد التجسيدات على الأقل، يتراوح عرض شريط المعدن المبدئي initial metal strip (والقطر الخارجي لحلقة التيار الصاعد المرتبطة) من بين حوالي ٨٠ و٩٩,٥٪ من الأنبوب قطر داخلي.

في تجسيدات أخرى، يمكن استخدام الوليجات الملفوفة المعدلة بدلاً من تثبيت ٨x٨ شبكة أسلاك بتلك الملفات. يمكن أن تشتمل تلك الوليجات الملفوفة المعدلة على نابض احتجاز محفز مخروطي (انظر الشكل ١د) ملحوم بالنهاية العليا بأحد الوليجات الملفوفة الموصوفة مسبقاً. عند الاستخدام في أنبوب ISHX ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة) قطر داخلي، يمكن أن يكون للنابض المخروطي، على سبيل المثال، قطر خارجي علوي top external diameter، d_{TS}، ٦,١ مم (٠,٢٤١ بوصة) وقطر خارجي سفلي bottom external diameter، d_{BS} ١٩,١ مم (٠,٧٥ بوصة) – مساوي للقطر الفعّال للوليجة الملفوفة. يمكن تصنيع المحفز المخروطي يحتجز نابض، على سبيل المثال، من أحد عشر ملف متباعد بشكل منتظم من سلك صلب مقاوم للصدأ بقطر ١,٤٧ مم (٠,٠٥٨ بوصة) لتشكيل نابض مخروطي conical spring بارتفاع كلي overall height (h_s) يبلغ ٢٥,٤ مم (١ بوصة) وملف بتباعد ضيق كافي للسماح للنهاية العليا بالوليجة الملفوفة المعدلة بالعمل على هيئة جهاز احتجاز محفز.

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن تركيب الوليجات الملفوفة مجمعة مع جهاز احتجاز قابل للإزالة، مثل، على سبيل المثال، مشبك محفز catalyst clip من النوع الموضح في الشكل ١هـ، الذي يكون متوفر تجارياً من MAN Turbo AG (سابقاً Deggendorfer Werft and Eisenbau GmbH) من Oberhausen, Germany، حتى يتم احتجازها داخل نهايات أنابيب المفاعل تحت ظروف تدفق العملية.

بالرغم من أن التجسيد الحالي يستخدم وليجات ملفوفة داخل مبادل الحرارة البيني، تم الكشف عن وليجات حث اضطراب turbulence inducing inserts بديلة مختلفة في الفن ويتوافر الكثير منها تجارياً للاستخدام في أنابيب مبادلات الحرارة heat exchanger tubes. ونظراً لفائدة الكشف الحالي، يكون ضمن قدرة أحد المهرة اختيار وليجات حث اضطراب كسر فراغ void fraction turbulence inducing inserts عالي مناسبة للاستخدام في تصميم مفاعل SSOI من الاختراع الحالي؛ يكون من المفهوم أيضاً أنه، في أحد التجسيدات على الأقل، لا يقصد بالتعبير "وليجات حث اضطراب بكسر فراغ عالي" أن يشتمل على المواد الخاملة من النوع الجسيمي particulate، مثل على سبيل المثال كريات الوليجة Denstone 57 inert spheres، حيث يكون لها كسر فراغ كتلي نمطي أقل من ٥٠٪. تشتمل الأمثلة المناسبة، لوليجات حث اضطراب متوفرة تجارياً بكسر فراغ عالي بدون حصر على معرجات الأسلاك، التي تم الكشف عنها في براءة

الاختراع الأمريكية رقم ٤٢٠١٧٣٦ ومتوفرة تجارياً من Ormiston Wire Ltd of Isleworth, England; Kenics Static Mixer elements متوفر تجارياً من Chemineer, Inc. of Dayton, Ohio USA; and Twisted Tapes متوفر تجارياً من Koch Heat Transfer Company, LP of Houston, Texas USA.

في أحد التجسيدات على الأقل، يكون للمنطقة البينية المفتوحة ١٥٠، على سبيل المثال، قطر ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم) وطول ٢،١٠٠ مم (٦,٩ قدم). وفقاً لاستخدام أحد التجسيدات على الأقل لتصميم مفاعل SSOI من الاختراع الحالي، تكون المنطقة البينية المفتوحة على الأقل المعبأة جزئياً باستخدام واحدة أو أكثر من مواد مدخل مناسبة، بمساحة سطح عالية high surface area inert materials ١٥١، بكمية كافية لتوفير على الأقل ٩٣٠ م^{٢} (١٠،٠٠٠ قدم مربع) من مساحة السطح الإجمالية لإزالة مواد ملوثة foulants، مثل، على سبيل المثال، على الأقل ٢،٧٩٠ م^{٢} (٣٠،٠٠٠ قدم مربع)، أو ٣،٧٢٠ م^{٢} (٤٠،٠٠٠ قدم مربع).

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن أن تشتمل المواد الخاملة على الأقل على أحد أنواع المواد المنتقاة من المجموعة التي تشتمل على مواد خزفية ceramic، مواد معدنية metal، معدن mineral وبوليمر polymer.

في أحد التجسيدات على الأقل المتعلقة بعمليات حيث بها يتم أكسدة البروبيلين propylene إلى حمض أكريليك acrylic acid، يمكن اختيار المواد المناسبة من مواد تتحمل درجات حرارة تصل إلى حوالي ٣٦٥° درجة مئوية، ضغوط تصل إلى حوالي ٣ جوي، ومركبات كيميائية مثل على سبيل المثال بروبيلين propylene، حمض أكريليك acrylic acid، أول أكسيد الكربون carbon monoxide، حمض أسيتيك acetic acid، والأكرولين acrolein. تشتمل الأمثلة المناسبة، للمواد الخاملة المناسبة للاستخدام في مفاعل SSOI للاختراع الحالي بدون حصر على صلب كربوني carbon steel، صلب مقاوم للصدأ ٣١٦ stainless steel 316 ، مونيل monel، ألومينا alumina، سيليكا silica، كربيد سيليكون silicon carbide، وبورسيلين porcelain.

تشتمل أمثلة مواد المدخل المناسبة، بمساحة سطح عالية بدون حصر على ٦ مم × ٦ مم حلقات raschig من الألومينيوم aluminium، ٥ مم قطر كريات كربيد سيليكون silicon carbide ، ٢٠ ثقب بالبوصة (ppi) رغوة خزفية بخلية مفتوحة، ١٦ مم (٨/٥ بوصة) قطر حلقات Pall من صلب مقاوم للصدأ، أو ١٣ مم 1.5 MacroTrap™ Media (متوفرة من Norton Chemical

Process Products Corp, Akron OH, USA). بالطبع، بالنظر في تقنيات الكشف الحالي، يكون ضمن قدرة أحد المهرة في مجال تصميم المعالجة اختيار مادة مدخل مستقرة مناسبة أخرى، بمساحات سطح عالية، غير مسماة بصفة خاصة في هذه الوثيقة، للاستخدام مع مفاعل SSOI المبتكر.

يمكن أن يشتمل غلاف المنطقة البينية المفتوحة ١٥٠ على مسارين رئيسيين سفليين lower manways بقطر ٨٣٢ مم (٣٢,٧٥ بوصة) (غير موضحة في الشكل ١أ)، على الجوانب المتقابلة للمفاعل (تباعد ١٨٠ درجة)، موضوعة بحيث يتم وضع خط مركز المسار الرئيسي السفلي على مسافة حوالي ٥٠٠ مم (١٩,٧ بوصة) من رقاقة أنبوب مدخل R2 ١٥٥. على نحو إضافي، يمكن أن يشتمل غلاف المنطقة البينية المفتوحة ١٥٠ على مسارين رئيسيين علويين بقطر ٦٦٧ مم (٢٦,٢٦ بوصة) (غير موضحة في الشكل ١أ)، على الجوانب المتقابلة للمفاعل (تباعد ١٨٠ درجة)، موضوعة بحيث يتم وضع خط مركز المسار الرئيسي على مسافة حوالي ٤٢٠ مم (١٦,٥ بوصة) من رقاقة أنبوب ISHX ١٤٥. يمكن أن توفر تلك المسارات الرئيسية وصول شخصي إلى الحيز الداخلي للمنطقة البينية المفتوحة ١٥٠ لاستبدال المحفزات وأعمال الصيانة الأخرى. يمكن استخدام المسارات العليا أيضاً بشكل مفيد لنقل المواد الجسيمية particulate materials – مثل الكريات المعبأة الرخوة loose-fill spheres، الاسطوانات cylinders ، الأقراص tablets ، الحبات pellets ، والحبيبات granules – في المنطقة البينية المفتوحة. في ذلك التجسيد، يتم وضع كتلة ٣٨ مم (١,٥ بوصة) قطر من كريات خزفية EnviroStone 66 (متوفرة من Crystaphase Technologies, Inc of Houston Texas USA) في قواديس إمداد، متصلة بواسطة قنوات مؤقتة بالمسارات الرئيسية العلوية، وبعد ذلك نقلها في المنطقة البينية المفتوحة بواسطة "الصب pouring " تحت تأثير الجاذبية الأرضية influence of gravity.

عند اكتمال النقل، تشغل الكريات spheres، حيث بالنسبة للتجمع الذاتي أثناء الصب في طبقة باستخدام كسر فراغ حوالي ٤٠٪ ومساحة سطح إلى حجم كتلي ٩٤,٥ م^{٢} لكل متر مكعب (٢٨,٨ قدم مربع لكل قدم مكعب)، حوالي ٩٣٪ من الحجم داخل المنطقة البينية المفتوحة، الخارج من حيز فارغ حوالي ١٥٠ مم (٦ بوصة) بين قمة طبقة EnviroStone 66 وسطح قاع رقاقة الأنبوب ISHX. يكون للطبقة الناتجة من الكريات الخزفية متوسط عمق ١،٩٥٧ مم (٦,٤ قدم)

ويشتغل حجم كتلي ٤٦,٧ م^{٣} (١،٦٥٠ قدم^{٣})، بالتالي توفير أكثر من ٤،٤٠٠ م^{٢} (٤٧،٣٠٠ قدم^{٢}) بمساحة سطح لإزالة مواد ملوثة.

في التجسيد السابق، يكون لمرحلة التفاعل الثانية ١٦٠ طول ٤،٥٠٠ مم (١٤,٧٦ قدم) وتحتوي على مجموعة من أنابيب الصلب الكربوني الخالي من الشقوق seamless carbon steel tubes، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ١٦٥أ، ١٦٥ب، ١٦٥ج. يمكن ربط نهاية مدخل كل أنبوب في مرحلة التفاعل الثانية، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب مدخل R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة الوصلة الملحومة ١٥٥). يمكن ربط نهاية مخرج كل قطاع أنبوب ١٦٥أ، ١٦٥ب، ١٦٥ج، على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المخرج R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة قطاع قابل للفصل separable connection ١٧٥).

تكون رقاقة أنبوب مدخل R2 من ذلك التجسيد بقطر ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم) وتشتمل على ٢٢،٠٠٠ أنبوب. يكون مخطط رقاقة أنبوب مدخل R2 مشابه لرقاقة أنبوب المدخل R1 (انظر الشكل ١ج)، تتضمن المنطقة الدائرية الفارغة empty circular region في مركز رقاقة الأنبوب حيث لا يوجد أي أنابيب؛ يكون لتلك المنطقة الفارغة أيضاً قطر ١،١٤٤ مم (٣,٧٥ قدم). يكون للأنابيب داخل مرحلة التفاعل الثانية قطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة) وقطر خارجي ٢٦,٩ مم (١,٠٦٠ بوصة). يتم تجهيز الأنابيب على نموذج مثلث ذو ٦٠ درجة، بانحدار رقاقة أنبوب ٣٤ مم (١,٣٤ بوصة)، مما يؤدي إلى مسافة بين الأنابيب ٧ مم (٠,٢٧٥ بوصة).

يمكن أن تكون محفزات R2 كثيرة متوفرة تجارياً ومناسبة للاستخدام في معدة تفاعل SSOI من الاختراع الحالي. تشتمل محفزات المرحلة الثانية المناسبة (R2) بدون حصر على ACS، ACS-2، ACS-6، ACS-7، وACS-8، متوفر تجارياً من Nippon Shokubai of Japan وT-202، متوفر تجارياً من Nippon Kayaku of Japan. يكون بعض من تلك المحفزات متوفر أيضاً في أكثر من حجم، على سبيل المثال يكون محفز ACS-7 متوفر في صورة كريات في كلاً من القطر الكبير والصغير، مميزة في هذه الوثيقة بـ ACS-7L (كبيرة) وACS-7S (صغيرة)، ويمكن استخدامها بشكل مستقل أو مجمعة. يمكن أن تحتوي أجزاء أنابيب R2 أيضاً على مواد خاملة، مثل على سبيل المثال كريات دعم سيليكا ألومينا silica-alumina بقطر ٥ مم (١٦/٣ بوصة) (مميزة بـ "SA-5218" ومتوفرة من Norton Chemical Process Products Corp, Akron OH,

USA)، لتكوين تسخين أولي preheating أو مناطق التبريد cool-down zones عند مواقع مخصصة داخل كل أنبوب. يكون اختيار وتركيب محفزات R2 ووليجات ملامئة في أنابيب مرحلة التفاعل الثانية ضمن قدرة أحد المهرة في الفن.

في ذلك التجسيد، يتم حجز الوليجات الملفوفة داخل مبادل الحرارة البيني بالإضافة إلى محفز مرحلة التفاعل الثانية (R2) في أنابيب المفاعل باستخدام لوحات شبكة دعم محفز catalyst support grid panels تتضمن شبكة أسلاك wire mesh. يمكن أن يوفر استخدام لوحات شبكة دعم محفز تتضمن شبكة أسلاك قدرة بشرية manpower كافية وتوفيرات زمنية أثناء تركيب وإزالة المحفز مقارنةً باستخدام مشابك المحفز التقليدية أو وسائل الاحتجاز في الأنبوب in-tube retaining means الأخرى. في ذلك التجسيد الخاص، تشتمل لوحات شبكة دعم المحفز على قطع ٢,٧ مم شبكة أسلاك مشكلة من ٠,٦ مم قطر سلك. تم لحام قطع شبكة الأسلاك بلوحة دعم ١٥ مم سمك (٠,٦ بوصة)، تتضمن مجموعة من ٢٢,٣ مم قطر ثقوب في نمط يتوافق مع التصميم الهندسي الخاص لرقاقة أنبوب المخرج R2؛ يؤدي ذلك إلى مجموعة من بصفة عامة لوحات شبكة دعم محفز مستطيلة، باستخدام أبعاد مستطيلة أسمية حوالي ٩١٨ مم × ٤٧١ مم (٣٦ في x ١٨,٥ بوصة)؛ يجب أن تكون ألواح سيتم تجهيزها على امتداد محيط رقاقة أنبوب المفاعل بالطبع منحرفة عن شكل مستطيل حقيقي بسبب وجود واحدة أو أكثر من الأقواس، ولذلك تحدد مساحة أصغر إلى حدٍ ما من اللوحات المستطيلة بالحجم الكامل.

في ذلك التجسيد، يتم استخدام إجمالي ٦٠ لوحة بشبكة دعم محفز لاحتجاز محفز R2 داخل أنابيب مرحلة التفاعل الثانية. قبل إدخال المحفز في أنابيب المفاعل، يمكن وضع كل لوحة شبكة دعم محفز مع شبكة الأسلاك في اتجاه تلامس مع سطح قاع رقاقة أنبوب المخرج R2 ويمكن تثبيت اللوحة باستخدام مسامير تمر من خلال المناطق الصلبة باللوحة ويتم إرساءها مباشرةً في رقاقة الأنبوب. في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن ربط المسامير بشكل دائم برقاقة أنبوب المخرج R2 ولها طول متعامد مكشوف كافي للتمدد بالكامل من خلال لوحة شبكة دعم المحفز؛ يمكن تثبيت لوحة شبكة دعم المحفز بعد ذلك في موضع باستخدام معدن عناصر التثبيت قابلة للإزالة تتضمن سنين، مثل دبابيس cotter. تشتمل نهاية كل مسمار على ثقب يمر عمودياً على محور المسمار، خلاله تمر أسنان دبابيس cotter؛ يكون الدبوسين مائلين بعد ذلك للخارج أثناء التركيب لتثبيت دبوس cotter بالمسمار. يتم احتجاز الوليجات الملفوفة أيضاً داخل أنابيب مبادل

الحرارة البيني باستخدام لوحات شبكة دعم محفز مشابهة مثبتة على سطح قاع رقاقة أنبوب ISHX باستخدام مسامير bolts ودبابيس cotter.

بالرغم من الوصف في هذه الوثيقة فيما يتعلق بـ ٢٢،٠٠٠ أنبوب مفاعل SSOI لذلك التجسيد، سوف يوفر استخدام لوحات شبكة دعم محفز تتضمن شبكة أسلاك منافع أكبر بشكل منتظم لمفاعلات SSOI التجارية بالنطاق الكبير، مثل على سبيل المثال مفاعلات SSOI التي تتضمن ٢٥،٠٠٠ أنبوب، ٣٠،٠٠٠ أنبوب، ٤٥،٠٠٠ أنبوب، أو أكثر. في الاختراع الحالي، بالتالي يكون من المفضل احتجاز المحفز داخل أنابيب مفاعلات SSOI تتضمن ٢٥،٠٠٠ أنبوب أو أكثر باستخدام لوحات شبكة دعم محفز تتضمن شبكة أسلاك. سوف يتضح أيضاً، بالنظر في الكشف الحالي، أنه يتم تضمين لوحات شبكة دعم المحفز تشتمل على شبكة أسلاك تم الكشف عنها في هذه الوثيقة بشكل مفيد في تصميمات المفاعل الأخرى، مثل على سبيل المثال مفاعلات Tandem ومفاعلات SRS. يشتمل الاختراع الحالي بالتالي أيضاً على احتجاز محفز داخل أنابيب مفاعلات Tandem أو مفاعلات SRS باستخدام لوحات شبكة دعم محفز تتضمن شبكة أسلاك.

بالإشارة الآن إلى الشكل ١ب، يشتمل ذلك التجسيد من مفاعل SSOI المبتكر على ثلاث أنظمة تدوير مادة تبريد متحكم بها بشكل مستقل independently controlled coolant circulation systems ، حيث توفر القدرة على التقدير المستقل لدرجة حرارة كل قطاع مبرّد (١١٠، ١٣٠،١٦٠) حسب الحاجة. يتم استخدام ملح نقل حرارة HITEC®، متوفرة من Coastal Chemical Co. of Houston, Texas USA، على هيئة وسط مادة التبريد لكل أنظمة التدوير الثلاثة في ذلك التجسيد. يتم الإشارة إلى الأنظمة في هذه الوثيقة بنظام تدوير ملح R1، مما يدعم مرحلة التفاعل الأولى ١١٠؛ نظام تدوير ملح ISHX، مما يدعم مبادل الحرارة البيني ١٣٠؛ ونظام تدوير ملح R2، مما يدعم مرحلة التفاعل الثانية ١٦٠.

بالتوافق مع أحد التجسيدات على الأقل من الاختراع الحالي، يمكن أن يسمح تصميم نظام مادة التبريد coolant system configuration هذا بدرجة حرارة جانب معالجة مبادل الحرارة البيني التي سيتم التحكم بها بشكل مستقل عن درجة حرارة عملية مرحلة التفاعل الأولى، تسمح لغاز المعالجة الخارج من ISHX ليتم حفظها عند درجة حرارة على الأقل ٢٤٠° درجة مئوية ولا تزيد عن ٢٨٠° درجة مئوية. بالرغم من أنها لا تمثل سمة جوهرية للتصميم المبتكر، يوفر ذلك التجسيد أيضاً إمكانية التحكم بدرجة حرارة جانب معالجة process-side temperature مرحلة التفاعل الثانية

بشكل مستقل عن درجة حرارة عملية مبادل الحرارة البيني؛ يتم استخدام تلك الإمكانية الإضافية للتحكم في عملية معالجة الأكسدة في أحد التجسيدات على الأقل من الاختراع الحالي.

يمكن أن تشتمل كل من أنظمة تدوير مادة التبريد الثلاثة في ذلك التجسيد على واحدة أو أكثر من مضخات تدوير ملح salt circulation pumps، مراجل تسخين النفايات waste heat boilers، وماسورة نقل مرتبطة associated transfer piping (غير موضحة)، خلالها يمكن استخراج حرارة طرد الحرارة من تفاعل الأكسدة لإنتاج تيار منتج ثانوي byproduct steam. يمكن أن تتضمن معدة اختيارية، مثل صهاريج تخزين ملح salt storage tanks، سخانات ملح بحرق الغاز gas-fired salt heaters، أوعية توسيع حراري مدمجة integral thermal expansion vessels (معروف أيضاً بـ "جوانب تخزين ملح salt bustles ")، ومضخات نقل الملح أيضاً في نظام تدوير الملح. علاوة على ذلك، يمكن أن يشتمل كل من أنظمة التدوير هذه على أجهزة (غير موضحة)، مثل مقترنات حرارية، ووحدات تحكم آلية automated controls، مثل صمامات تحكم بالتدفق flow control valves ، لحفظ درجة حرار ومعدل تدوير الملح المزوّد إلى المفاعل بقيم مستهدفة مرغوب فيها.

بالنسبة لقطاع دعم نظام تدوير ملح R1 ١١٠، يمكن أن يدخل ملح التبريد عن طريق خطوط الإمداد R1 ١٢١ قرب قاع القطاع ويمكن توزيعها بشكل منتظم حول محيط المفاعل من خلال قناة مدخل (غير موضحة)، تتضمن وسائل توزيع تدفق داخلية مثل واحدة أو أكثر من عوارض، مراوح تدفق، أسلاك، مناخل، وموزعات بلوحة مثقبة، ويشار لها بشكل مشترك بـ "مشعب ملح سفلي". بمجرد الدخول في غلاف المفاعل، يمكن أن يتدفق الملح لأعلى، بشكل متكرر عرضياً على غلاف المفاعل في الاتجاه النصف قطري عن طريق التدفق حول سلسلة من ألواح جانب غلاف متباعدة بشكل منتظم معروفة في الفن بمبادل الحرارة على هيئة "عوارض قطعية مزدوجة" ١٢٢. يمكن أن يضمن نمط التدفق الشعاعي هذا اتصال ملح بأنبوب جيد حتى يتم تحقيق فعالية إزالة حرارة عالية من الأنابيب. أثناء الوصول إلى قمة القطاع R1، يمكن تجميع الملح الدافئ عن طريق قناة خروج محيطية أخرى (غير موضحة)، يمكن أن تشتمل اختيارياً على وسائل توزيع تدفق، يشار لها بشكل مشترك بـ "مشعب ملح علوي " ويمكن نقلها عن طريق خطوط الإعادة R1 ١٢٣ إلى مراجل تسخين النفايات (غير موضحة).

بالنسبة لقطاع دعم نظام تدوير الملح ISHX ١٣٠، يمكن أن يدخل ملح التبريد عن طريق خطوط الإمداد ISHX ١٤١ قرب قاع القطاع ويمكن توزيعها بشكل منتظم حول محيط المفاعل من خلال قناة مدخل (" مشعب ملح سفلي "، غير موضحة)، تتضمن وسائل توزيع تدفق داخلية مثل واحدة أو أكثر من عوارض baffles، مراوح تدفق flow vanes، سدود weirs ، مناخل screens ، وموزعات بلوحة مثقبة perforated-plate distributors. بمجرد الدخول في غلاف المفاعل، يمكن أن يتدفق الملح لأعلى، بشكل متكرر عرضياً على غلاف المفاعل في الاتجاه النصف قطري عن طريق التدفق حول سلسلة من عوارض قطعية مزدوجة متباعدة بشكل منتظم ١٤٢. أثناء الوصول إلى قمة قطاع ISHX، يمكن تجميع الملح الدافئ عن طريق قناة خروج محيطية أخرى ("مشعب ملح علوي upper salt manifold " – غير موضحة)، يمكن أن تشتمل اختيارياً على وسائل توزيع تدفق flow distribution means، ويتم نقل عن طريق ISHX خطوط الإعادة ١٤٣ إلى مراجل تسخين النفايات waste heat boilers (غير موضحة).

بالمثل، بالنسبة لقطاع دعم نظام تدوير الملح R2 ١٦٠، يمكن أن يدخل ملح التبريد عن طريق خطوط الإمداد R2 ١٧١ قرب قاع القطاع ويمكن توزيعها بشكل منتظم حول محيط المفاعل من خلال "مشعب ملح سفلي" (غير موضح)، تتضمن وسائل توزيع تدفق داخلية مثل واحدة أو أكثر من عوارض، مراوح تدفق، أسلاك، مناخل، وموزعات بلوحة مثقبة. بمجرد الدخول في غلاف المفاعل، يمكن أن يتدفق الملح لأعلى، بشكل متكرر عرضياً على غلاف المفاعل في الاتجاه النصف قطري عن طريق التدفق حول سلسلة من عوارض قطعية مزدوجة متباعدة بشكل منتظم ١٧٢. أثناء الوصول إلى قمة القطاع R2، يمكن تجميع الملح الدافئ عن طريق "مشعب ملح علوي " محيطي آخر (غير موضح)، يمكن أن تشتمل اختيارياً على وسائل توزيع تدفق، ويتم نقل عن طريق خطوط الإعادة R2 ١٧٣ إلى مراجل تسخين النفايات (غير موضحة).

يتم الإشارة إلى تدفق مادة تبريد التصميم التي تتحرك في اتجاه بصفة عامة مقابل تدفق العملية (في تلك الحالة، ملح يتدفق لأعلى من خلال الغلاف بالرغم من تدفق غاز المعالجة لأسفل من خلال الأنابيب) بشكل مشترك بتدوير مادة تبريد بتيار عكسي counter-current coolant circulation. يجب ملاحظة أنه يمكن اعتبار تصميم بديل حيث تتدفق مادة التبريد بصفة عامة لأسفل من خلال الغلاف ويتدفق غاز المعالجة لأعلى من خلال الأنابيب أيضاً كتدوير مادة تبريد بتيار عكسي. علاوة على ذلك، بالرغم من أن التجسيد الحالي يشتمل على ثلاث أنظمة تدوير مادة

التبريد بنفس التصميم، يمكن إدراك أنه في بعض الحالات يمكن أن يكون من المفيد تأكيد تدويرات مادة التبريد على هيئة تيار عكسي في حين يمكن تصميم التدويرات الأخرى داخل نفس المفاعل على هيئة تيار مشترك co-current؛ وتكون تلك التصميمات غير المتجانسة معروفة بتدويرات مادة تبريد "هجينة" hybrid" coolant circulations.

يتم توضيح تصميم عملية "تدفق لأعلى" بمفاعل SSOI المبتكر في الشكل ٢. تدخل غازات التغذية (يتضمن بروبيلين propylene، بخار steam، أكسجين oxygen، ونيتروجين nitrogen) في المفاعل من القاع، تتدفق رأسياً لأعلى من خلال المفاعل، وتخرج من المفاعل عند القمة.

تشتمل القطاعات الرئيسية للمفاعل على رأس المدخل ٢٠٠، مرحلة التفاعل الأولى ٢١٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "R1")، مبادل الحرارة البيني ٢٣٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "ISHX")، المنطقة البينية المفتوحة ٢٥٠، مرحلة التفاعل الثانية ٢٦٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "R2")، ورأس المخرج ٢٨٠. تكون الواجهات ٢٢٥، ٢٤٥، و٢٥٥ جميعها عبارة عن وصلات دائمة (على سبيل المثال، ملحومة)، بالرغم من أن الواجهات ٢٠٥ و٢٧٥ تكون عبارة عن قطاعات قابلة للفصل، تسمح لرؤوس المفاعل ٢٠٠ و٢٨٠ بالإزالة للصيانة.

تحتوي مرحلة التفاعل الأولى ٢١٠ على مجموعة من الأنابيب، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ٢١٥أ، ٢١٥ب، ٢١٥ج. يتم ربط نهاية مدخل كل من تلك الأنابيب، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المدخل R1 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس موضع قطاع قابل للفصل ٢٠٥). يحتوي مبادل الحرارة البيني ٢٣٠ أيضاً على مجموعة من الأنابيب، بصفة عامة ممثلة في الشكل على هيئة ٢٣٥أ، ٢٣٥ب، ٢٣٥ج، ومتكافئة في العدد، القطر، ووضع أنابيب مرحلة التفاعل الأولى. يمكن ربط نهاية مخرج كل قطعة أنبوب ISHX ٢٣٥أ، ٢٣٥ب، ٢٣٥ج، على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب ISHX (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة الوصلة الملحومة ٢٤٥).

يمكن أن تكون أنابيب مبادل الحرارة البيني متصلة بشكل متحد المحور مع أنابيب R1 بمرحلة التفاعل الأولى، مما يعني أن قطعة الأنبوب ٢٣٥أ تكون عبارة عن النهاية العليا للأنبوب ٢١٥أ، تكون قطعة الأنبوب ٢٣٥ب عبارة عن النهاية العليا للأنبوب ٢١٥ب، قطعة الأنبوب

٢٣٥ج تكون عبارة عن النهاية العليا للأنبوب ٢١٥ج، وما إلى ذلك. كما تمت الإشارة إليه مسبقاً، يشار إلى الاتصال المباشر بمبادل الحرارة البيني إلى مرحلة التفاعل الأولى في هذه الوثيقة بمبادل حرارة بيني مدمج.

يمكن فصل تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1 عن مادة تبريد جانب غلاف ISHX بواسطة عارضة مرحلة بينية (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة وصلة ٢٢٥)؛ يمكن أن تمر كل من الأنابيب المتصلة بشكل متحد المحور الممتدة من رقاقة أنبوب المدخل R1 إلى رقاقة أنبوب مخرج ISHX خلال عارضة المرحلة البينية هذه. يجب ملاحظة أن تختلف عارضة المرحلة البينية عن رقاقة أنبوب حقيقة في أنه لا يوجد أي ارتباطات أنبوب بعارضة؛ بدلاً من ذلك، تكون الثقوب خلال عارضة المرحلة البينية بقطر داخلي أكبر قليلاً من القطر الخارجي للأنابيب (٢١٥ أ، ب، ج)، بحيث يتم تشكيل فجوة حلقية صغيرة (غير موضحة) بعرض بين ٠,٢٥ و٢,٥ مم حول كل أنبوب. يمكن تجهيز تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1 (غير موضحة) في تصميم مشترك التيار أو في تصميم تيار عكسي؛ بالمثل، يمكن تجهيز تدوير مادة تبريد جانب غلاف ISHX في تصميم مشترك التيار أو في تصميم تيار عكسي أيضاً، ولا تتطلب مطابقة تصميم تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1.

في أحد التجسيدات على الأقل، لا تحتوي المنطقة البينية المفتوحة ٢٥٠ على أي أنابيب. وفقاً لتصميم مفاعل SSOI من أحد التجسيدات على الأقل من الاختراع الحالي، يمكن تعبئة المنطقة البينية المفتوحة جزئياً على الأقل باستخدام واحدة أو أكثر من مواد مدخل مناسبة، بمساحة سطح عالية ٢٥١، بكمية كافية لتوفير على الأقل ٩٣٠ م^{٢} (١٠،٠٠٠ قدم مربع) من مساحة السطح الإجمالية لإزالة مواد ملوثة، بشكل مفضل على الأقل ٢،٧٩٠ م^{٢} (٣٠،٠٠٠ قدم مربع)، وبشكل مفضل أكثر ٣،٧٢٠ م^{٢} (٤٠،٠٠٠ قدم مربع).

يمكن أن تحتوي مرحلة التفاعل الثانية ٢٦٠ على مجموعة من الأنابيب، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ٢٦٥أ، ٢٦٥ب، ٢٦٥ج. يمكن ربط نهاية مدخل كل أنبوب في مرحلة التفاعل الثانية، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب مدخل R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة الوصلة الملحومة ٢٥٥). يمكن ربط نهاية مخرج كل قطاع أنبوب ٢٦٥أ، ٢٦٥ب، ٢٦٥ج، على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المخرج R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل

على هيئة الواجهة ٢٧٥). تتمثل سمة جديدة من التجسيد الموضح في الشكل ٢ في أن واحد أو أكثر من عدد، وقطر، وموضع أنابيب مرحلة التفاعل الثانية (أنابيب R2) يختلف عن الأنابيب في مرحلة التفاعل الأولى (أنابيب R1).

يكون لأحد تجسيدات المفاعل من الشكل ٢ سعة إنتاج سنوية أسمية تبلغ kT١٢٠ من حمض أكريليك acrylic acid. يكون وسط مادة التبريد المستخدم في ذلك التجسيد عبارة عن وسط نقل حرارة Dowtherm™، متوفر من Dow Chemical Co. of Midland, Michigan USA. في ذلك التجسيد، يوجد ٢٢،٦٦٩ أنبوب مرحلة تفاعل أولى (R1) و١٤،٥٢٣ أنبوب مرحلة تفاعل ثانية (R2). تكون الأنابيب R1 ٢٥,٤ مم (١ بوصة) في قطر داخلي و٤،٧٠٠ مم (١٥,٤ قدم) طول (من رقاقة أنبوب R1 إلى عارضة مرحلة بينية) وتكون أنابيب R2 ٣١,٨ مم (١,٢٥ بوصة) في قطر داخلي و٤،٥٠٠ مم (١٤,٧٥ قدم) طول. يتم توضيح الوليجات الملفوفة الموصوفة سابقاً في كل قطعة أنبوب ISHX. يكون للمنطقة البينية المفتوحة بذلك التجسيد إجمالي حجم ٤٠ م^{٣} (١،٤١٣ قدم^{٣}) وتكون معبأة بالكامل باستخدام ١٦ مم (٨/٥ بوصة) حلقات Pall من صلب مقاوم للصدأ مثل المادة الخاملة. يكون بتلك الحلقات Pall كسر فراغ ٩٣٪ ومساحة سطح خاصة ٣١٦ م^{٢}/م^{٣}، بالتالي توفير مساحة سطح داخل المنطقة البينية المفتوحة بما يزيد عن ٤١،٤٨٠ م^{٢} (٤٤٦،٥٠٠ قدم مربع). يكون زمن احتجاز المرحلة البينية Interstage Residence Time بالنسبة لذلك التجسيد هو ٣ ثواني.

يكون لتجسيد بديل من المفاعل من الشكل ٢ أيضاً سعة إنتاج سنوية أسمية تبلغ kT١٢٠ من حمض أكريليك acrylic acid. في ذلك التجسيد، مع ذلك، يوجد ٢٩،٤١٠ أنبوب مرحلة تفاعل أولى (R1) و٢٢،٦٧٢ أنبوب مرحلة تفاعل ثانية (R2). تكون الأنابيب R1 ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة) في قطر داخلي و٤،٦٠٠ مم (١٥,١ قدم) طول (من رقاقة أنبوب R1 إلى عارضة مرحلة بينية) وتكون أنابيب R2 ٢٥,٤ مم (١ بوصة) في قطر داخلي و٤،٢٠٠ مم (١٣,٨ قدم) طول. بدلاً من وضع الوليجات الملفوفة الموصوفة سابقاً داخل أنابيب ISHX، يتم تكوين أنابيب ISHX من ذلك التجسيد بدلاً من ذلك باستخدام "أنابيب ملفوفة"، حيث تمثل تصميم أنبوب حلزوني خاص يحثر تدفق الاضطراب بدون استخدام وليجات حث اضطراب؛ تكون الأنابيب الملفوفة متوفرة تجارياً من Koch Heat Transfer Company, LP of Houston, Texas USA. يكون للمنطقة البينية المفتوحة طول إجمالي ٢،٤٣٨ مم (٨ قدم) ويكون معبأ باستخدام ٢ في القطر كريات

EnviroStone 66، مما يوفر مساحة سطح بما يزيد عن ٤،٤٥٠ م^{٢} (٤٨،٠٠٠ قدم مربع) وزمن احتجاز مرحلة بينية حوالي ٢,١ ثانية. يكون وسط مادة التبريد المستخدم في ذلك التجسيد هو ملح نقل حرارة HITEC®.

تمثل الأشكال ٣أ و٣ب مجمعة تجسيد آخر لتصميم مفاعل مرحلة بينية مفتوحة بالغلاف المنفرد المبتكر (SSOI) يتضمن أكثر من ١٦،٠٠٠ أنبوب. يكون للمفاعل من ذلك التجسيد قطر غلاف حوالي ٤،٨٠٠ مم (١٥,٧٥ قدم) وطول إجمالي overall length أكثر من ١٨،٢٩٠ مم (٦٠ قدم). عند معدلات تغذية نمطية ومعدل تغذية بروبيلين propylene مصمم ٢،٩٣٥ نيوتن م^{٣}/ ساعة (١١٠ MSCFH)، يكون للمفاعل من ذلك التجسيد سعة إنتاج سنوية أسمية تبلغ حوالي ٦٣ kT من حمض أكريليك acrylic acid.

تدخل غازات التغذية (حيث يمكن أن تشتمل على، على سبيل المثال، بروبيلين propylene، بخار steam، أكسجين oxygen، ونيتروجين nitrogen) في المفاعل من القمة (انظر الشكل ٣أ)، تتدفق رأسياً لأسفل من خلال المفاعل، وتخرج من المفاعل عند القاع، أي، عملية تدفق لأسفل.

تشتمل القطاعات الرئيسية للمفاعل على رأس المدخل ٣٠٠، مرحلة التفاعل الأولى ٣١٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "R1")، مبادل الحرارة البيني ٣٣٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "ISHX")، المنطقة البينية المفتوحة ٣٥٠، مرحلة التفاعل الثانية ٣٦٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "R2")، ورأس المخرج ٣٨٠. ما لم يحدد خلاف ذلك، يتم تكوين جميع مكونات المفاعل في ذلك التجسيد من صلب كربوني carbon steel. يمكن أن تكون الواجهات بين القطاعات المتجاورة، المعرفة في الأشكال بـ ٣٠٥، ٣٢٥، ٣٤٥، ٣٥٥ و٣٧٥ جميعها عبارة عن وصلات دائمة (على سبيل المثال، ملحومة).

يكون رأس مدخل المفاعل ٣٠٠ عبارة عن حوالي ٤،٠٤٠ مم (١٣,٢٥ قدم) في الارتفاع ولا يكون قابل للإزالة. ويشتمل على مجموعة من المسارات الرئيسية ٦١٠ مم (٢٤ بوصة) (غير موضحة) على جوانب وقمة الرأس لحفظ الوصول maintenance access. يشتمل رأس المدخل أيضاً على ٥٠٨ مم (٢٠ بوصة) فوهة مدخل غاز المعالجة process gas inlet nozzle.

وفقاً لذلك التجسيد، يكون لمرحلة التفاعل الأولى ٣١٠ طول ٤،٦٠٠ مم (١٥,١ قدم) وتحتوي على مجموعة من أنابيب الصلب الكربوني carbon steel tubes الخالي من الشقوق، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ٣١٥أ، ٣١٥ب، ٣١٥ج. يتم ربط نهاية مدخل كل أنبوب في

مرحلة التفاعل الأولى، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المدخل R1 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة وصلة ٣٠٥). يمتد كل أنبوب داخل مرحلة التفاعل الأولى ٣١٠ من خلال عارضة مرحلة بينية ٣٢٦ (بالإشارة إلى الشكل ٣ب) ويمر بالكامل من خلال مبادل الحرارة البيني ٣٣٠، حيث تكون بطول ١،٩٥٦ مم (٦,٤ قدم). ويعني ذلك أن قطاع الأنبوب ٣٣٥أ يمثل النهاية السفلية بالأنبوب ٣١٥أ، قطاع الأنبوب ٣٣٥ب يمثل النهاية السفلية بالأنبوب ٣١٥ب، قطاع الأنبوب ٣٣٥ج يمثل النهاية السفلية بالأنبوب ٣١٥ج، وما إلى ذلك. كنتيجة لذلك، يكون الطول الفعلي لتلك الأنابيب المتصلة متحدة المحور هو حوالي ٦،٥٥٦ مم (٢١,٥ قدم)، مكافئ للمسافة بين وصلة بينية ٣٠٥ ووصلة بينية ٣٤٥. يتم ربط نهاية مخرج كل قطعة أنبوب ٣٣٥أ، ٣٣٥ب، ٣٣٥ج، على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب ISHX (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة الوصلة الملحومة ٣٤٥). كما تم وصفه مسبقاً، يتم الإشارة إلى سمة التصميم هذه في هذه الوثيقة بمبادل حرارة بيني مدمج. يجب ملاحظة أن في ذلك التجسيد، عارضة المرحلة البينية ٣٢٦ تختلف عن رقاقة أنبوب حقيقة في أنه لا يوجد أي لحامات أنبوب بعارضة؛ بدلاً من ذلك، تكون الثقوب خلال عارضة المرحلة البينية ٣٢٦ بقطر داخلي أكبر قليلاً من القطر الخارجي للأنابيب (٣١٥ أ، ب، ج)، بحيث يتم تشكيل فجوة حلقية صغيرة (غير موضحة) بعرض بين ٠,٢٥ و٢,٥ مم حول كل أنبوب. بسبب تلك الفجوة الحلقية، يمكن أن يمر ملح تبريد ISHX بحجم صغير (حيث يتم إمدادها بشكل مفضل عند ضغط أعلى قليلاً من ملح تبريد R1) بشكل متواصل خلال عارضة المرحلة البينية ويمتزج مع تدوير ملح تبريد R1. ونظراً لفائدة الكشف الحالي، يمكن تخصيص وسائل تدوير ملح بحجم ملائم من نظام تدوير R1 عائداً إلى نظام تدوير ISHX بسهولة بواسطة أحد ذوي المهارة العادية في مجال تصميم المعالجة ولا تتطلب وصفها بتفصيل أكثر في هذه الوثيقة.

كما تمت الإشارة إليه بصفة عامة في الشكل ٣أ، يمكن أن تشتمل مرحلة التفاعل الأولى منطقة بالمفاعل على حجم اسطواني فارغ موضوع عند مركز رقاقة الأنبوب، ومتحاذية مع المحور الطولي للمفاعل، حيث لا يوجد أي أنابيب؛ يكون للحجم الاسطواني الفارغ هذا متوسط قطر أكثر من ٦١٠ مم (٢ قدم) وتمتد من خلال ISHX أيضاً. يشتمل باقي الحجم الحلقي في مرحلة التفاعل الأولى وISHX على أكثر من ١٦،٠٠٠ أنبوب متصل بشكل مشترك المحور. يكون لكل من تلك

الأنابيب المتصلة قطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة) وقطر خارجي ٢٧,٣ مم (١,٠٧٤ بوصة). يتم تجهيز الأنابيب على نموذج مثلث ذو ٦٠ درجة، بانحدار رقاقة أنبوب ٣٣,٧٣ مم (١,٣٢٨ بوصة)، مما يؤدي إلى مسافة بين الأنابيب حوالي ٦,٥ مم (٠,٢٥٤ بوصة).

ولحفظ المحفز داخل تلك الأنابيب المتصلة، يمكن ربط مجموعة من لوحات شبكة دعم المحفز الموصوفة مسبقاً تتضمن شبكة أسلاك مباشرةً برقاقة أنبوب مخرج ISHX ٣٤٥. يمكن تحميل كل من الأنابيب المتصلة بعد ذلك كما يلي، بدءً من قبل (مدخل) نهاية الأنبوب:

- ٢٨٢ مم (١١ بوصة) من ١٦/٣ في القطر (٤,٧٥ مم) كريات دعم سيليكا-ألومينا SA-5218 silica-alumina (متوفرة من Norton Chemical Process Products Corp, Akron OH, USA)
- ٩٠٥ مم (٣٦ بوصة) من محفز ACF7-L (اسطوانة كبيرة)
- ٣،٤١٣ مم (١٣٤ بوصة) من محفز ACF7-S (اسطواني صغير)
- ٥١ مم (٢ بوصة) من ١٦/٥ في قطر حلقات كربيد سيليكون silicon carbide (متوفرة من Norton Chemical Process Products Corp, Akron OH, USA)
- ١،٩٠٥ مم (٧٥ بوصة) وليجة حث اضطراب ملفوفة طويلة، مجهزة باستخدام ٨ × ٨ شبكة أسلاك اختيارية على النهاية السابقة

يؤدي تتابع التحميل هذا إلى شحنة من ١,٢٧٣ كجم من إجمالي محفز ACF7 (اسطوانات بحجم كبير + صغير) في كل أنبوب مرحلة التفاعل الأولى.

في ذلك التجسيد، تم اكتشاف أن زمن احتجاز غاز المعالجة من خلال مبادل الحرارة البيني يكون ٠,٩٦ ثانية.

يكون للمنطقة البينية المفتوحة ٣٥٠ من ذلك التجسيد طول إجمالي ٢،١٣٤ مم (٧ قدم). ويمكن أن تشتمل على مسارين أساسيين سفليين بقطر ٦١٠ مم (٢٤ بوصة) (غير موضحة في الشكل ٣أ)، على الجوانب المتقابلة للمفاعل (تباعد ١٨٠ درجة)، موضوعة بحيث يتم وضع خط مركز المسار الرئيسي السفلي على مسافة حوالي ٣٥٦ مم (١٤ بوصة) من رقاقة أنبوب مدخل R2 ٣٥٥. على نحو إضافي، يشتمل غلاف المنطقة البينية المفتوحة ٣٥٠ على مسارين رئيسيين علويين بقطر ٦١٠ مم (٢٤ بوصة) (غير موضحة)، على الجوانب المتقابلة للمفاعل (تباعد ١٨٠ درجة)، موضوعة بحيث يتم وضع خط مركز المسار الرئيسي على مسافة حوالي ٣٥٦ مم (١٤

بوصة) من رقاقة أنبوب ISHX ٣٤٥. يمكن أن توفر تلك المسارات الرئيسية وصول شخصي إلى الحيز الداخلي للمنطقة البينية المفتوحة ٣٥٠ لاستبدال المحفزات وأعمال الصيانة الأخرى. يمكن استخدام المسارات العليا أيضاً بشكل مفيد لنقل المواد الجسيمية – مثل الكريات المعبأة الرخوة، الاسطوانات، الأقراص، الحبات، والحبيبات – في المنطقة البينية المفتوحة مثل بالصب.

كما تمت الإشارة إليه بصفة عامة في الشكل ٣أ، تشتمل المنطقة البينية المفتوحة على ماسورة نقل الملح الداخلية بقطر ٦١٠ مم (٢ قدم) ٣٥٣، متحاذية مع المحور الطولي للمفاعل. تمتد ماسورة نقل الملح الداخلية ٣٥٣ عبر طول المنطقة البينية المفتوحة، من رقاقة أنبوب ISHX ٣٤٥ إلى رقاقة أنبوب مدخل R2 ٣٥٥، وتشتمل أيضاً على وصلة توسع مدمجة (غير موضحة) لاستيعاب النمو الحراري. في ذلك التجسيد، يكون حوالي ٧٥٪ من باقي الحجم الحلقي للمنطقة البينية المفتوحة المعبأة بكتلة ٣٨ مم (١,٥ بوصة) قطر من كريات وليجة Denstone 2000 (متوفرة من Norton Chemical Process Products Corp, Akron OH, USA)، مشار لها بصفة عامة بـ ٣٥١ في الشكل ٣أ.

في أحد التجسيدات على الأقل، تشكل كريات الوليجة، حيث بالنسبة للتجمع الذاتي أثناء الصب في طبقة باستخدام كسر فراغ حوالي ٤٠٪ ومساحة سطح إلى حجم كتلي ٩٤,٥ م^2/م^3 (٢٨,٨ قدم^2/ قدم^3)، طبقة باستخدام متوسط عمق حوالي ١،٦٠٠ مم (٥,٢٥ قدم)، ويتبقى حيز فارغ حوالي ٥٣٣ مم (١,٧٥ قدم) بين قمة طبقة Denstone 2000 وسطح قاع رقاقة أنبوب ISHX. بالتالي، تشغل طبقة الكريات الخزفية حجم كتلة ٢٨,٥ م^3 (١،٠٠٦ قدم^3)، وتوفر أكثر من ٢،٦٩٠ م^2 (٢٨،٩٦٥ قدم مربع) بمساحة سطح لإزالة مواد ملوثة.

تم اكتشاف أن زمن احتجاز غاز المعالجة من خلال المنطقة البينية المفتوحة ١,٧٩ ثانية. تنتج جمع أزمنة الاحتجاز من خلال ISHX والمنطقة البينية المفتوحة زمن احتجاز مرحلة بينية مجمعة ٢,٧٥ ثانية.

في ذلك التجسيد، لكون لمرحلة التفاعل الثانية ٣٦٠ طول ٢،٩٢٥ مم (٩,٦ قدم) وتحتوي على مجموعة من أنابيب الصلب الكربوني الخالي من الشقوق، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ٣٦٥أ، ٣٦٥ب، ٣٦٥ج. يتم ربط نهاية مدخل كل أنبوب في مرحلة التفاعل الثانية، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب مدخل R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة الوصلة الملحومة ٣٥٥). يتم ربط نهاية مخرج كل قطاع

أنبوب ٣٦٥أ، ٣٦٥ب، ٣٦٥ج، على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المخرج R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة الوصلة الملحومة ٣٧٥).

كما تمت الإشارة إليه بصفة عامة في الشكل ٣أ، تشتمل مرحلة التفاعل الثانية منطقة بالمفاعل على حجم اسطواني فارغ موضوع عند مركز رقاقة الأنبوب، ومتحاذية مع المحور الطولي للمفاعل، حيث لا يوجد أي أنابيب؛ يكون لذلك الحجم الاسطواني الفارغ قطر أكثر من ٦١٠ مم (٢ قدم). يشتمل باقي الحجم الحلقي على مرحلة التفاعل الثانية على أكثر من ١٦،٠٠٠ أنبوب، مجهزة بنفس الطريقة كمرحلة التفاعل الأولى، ويكون لكل من تلك الأنابيب قطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة) وقطر خارجي ٢٧,٣ مم (١,٠٧٤ بوصة). كما في مرحلة التفاعل الأولى، يتم تجهيز تلك الأنابيب على نموذج مثلث ذو ٦٠ درجة، بانحدار رقاقة أنبوب ٣٣,٧٣ مم (١,٣٢٨ بوصة).

ولحفظ المحفز داخل أنابيب مرحلة التفاعل الثانية، يمكن أن ترتبط مجموعة من لوحات شبكة دعم المحفز الموصوفة مسبقاً تتضمن شبكة أسلاك مباشرةً برقاقة أنبوب المخرج R2 ٣٧٥. يمكن تحميل كل من مرحلة التفاعل الثانية الأنابيب بعد ذلك كما يلي، بدءً من قبل (مدخل) نهاية الأنبوب:

- ١٠٢ مم (٤ بوصة) من ١٦/٣ في القطر (٤,٧٥ مم) كريات دعم سيليكا silica–ألومينا SA-5218 alumina (متوفرة من Norton Chemical Process Products Corp)
- ٨٠٠ مم (٣١,٥ بوصة) من محفز ACS7-L (كرية كبيرة)
- ٢،٠٢٣ مم (٧٩,٦ بوصة) من محفز ACF7-S (كرية صغيرة)

يؤدي تتابع التحميل loading schedule هذا إلى شحنة من ١,٣٣٨ كجم من إجمالي محفز ACS7 (كريات بحجم كبير + صغير) في كل أنبوب مرحلة التفاعل الثانية، ونسبة كتلة محفز إجمالية overall Catalyst Mass Ratio ١,٠٥ للمفاعل. يكون رأس مخرج المفاعل ٣٨٠ حوالي ٣،٤٣٠ مم (١١,٢٥ قدم) في الارتفاع ولا يكون قابل للإزالة. إذا اشتمل على مسارين من ٦١٠ مم (٢٤ بوصة) (غير موضحين) على قاع الرأس لحفظ الوصول. يشتمل رأس المخرج أيضاً على ٦١٠ مم (٢٤ بوصة) فوهة مخرج غاز معالجة.

بالإشارة الآن إلى الشكل ٣ب، يشتمل ذلك التجسيد من مفاعل SSOI المبتكر على نظامي تدوير مادة تبريد متحكم بهما بشكل مستقل: نظام تدوير ملح R1، يدعم مرحلة التفاعل الأولى ٣١٠، ونظام تدوير ملح ISHX/R2، يدعم مبادل الحرارة البيني ٣٣٠ ومرحلة التفاعل الثانية ٣٦٠ مجمعة. يتم استخدام ملح نقل حرارة HITEC®، متوفر من Coastal Chemical Co. of Houston, Texas USA، على هيئة مادة التبريد لكلاً من أنظمة التدوير في ذلك التجسيد.

بالتوافق مع تقنيات الكشف الحالي، يسمح تصميم نظام مادة التبريد هذا بالتحكم في درجة حرارة جانب معالجة مبادل الحرارة البيني بشكل مستقل عن درجة حرارة عملية مرحلة التفاعل الأولى، مما يتيح حفظ غاز المعالجة الخارج من ISHX، على سبيل المثال، عند درجة حرارة على الأقل ٢٤٠° درجة مئوية ولا تزيد عن ٢٨٠° درجة مئوية. يجب ملاحظة أنه، مع ذلك، في ذلك التجسيد، لا يتم التحكم بدرجة حرارة جانب معالجة مرحلة التفاعل الثانية بشكل مستقل عن درجة حرارة عملية مبادل الحرارة البيني.

يمكن أن يشتمل كل من أنظمة التدوير هذه على واحدة أو أكثر من مضخات تدوير ملح، مراجل تسخين النفايات، وماسورة نقل مرتبطة (غير موضحة)، خلالها يمكن استخراج حرارة طرد الحرارة من تفاعل الأكسدة لإنتاج تيار منتج ثانوي. يمكن تضمين معدة اختيارية، مثل صهاريج تخزين ملح، سخانات ملح بحرق الغاز، أوعية توسيع حراري مدمجة (معروفة أيضاً بـ "جوانب تخزين ملح ")، ومضخات نقل الملح أيضاً في نظام تدوير الملح. علاوة على ذلك، يمكن أن يشتمل كل من أنظمة التدوير هذه على أجهزة (غير موضحة)، مثل مقترنات حرارية، ووحدات تحكم آلية، مثل صمامات تحكم بالتدفق، لحفظ درجة حرار ومعدل تدوير الملح المزوّد إلى المفاعل بقيم مستهدفة مرغوب فيها.

بالنسبة لقطاع دعم نظام تدوير ملح R1 salt circulation system supporting section ٣١٠، يدخل ملح التبريد عن طريق خطوط الإمداد R1 ٣٢٣ قرب قمة القطاع ويتم توزيعها بشكل منتظم حول محيط المفاعل circumference of the reactor من خلال قناة مدخل (غير موضحة)، تتضمن وسائل توزيع تدفق داخلية مثل واحدة أو أكثر من عوارض، مراوح تدفق، أسلاك، مناخل، وموزعات بلوحة مثقبة، ويشار لها بشكل مشترك بـ "مشعب ملح علوي". بمجرد الدخول في غلاف المفاعل، يتدفق الملح لأسفل، بشكل متكرر عرضياً على المفاعل في الاتجاه النصف قطري عن طريق التدفق حول سلسلة من لوحات جانب الغلاف الأحد عشر، الموضوعة على مسافات حوالي

٣٨٠ مم (١,٢٥ قدم)، ومعروفة في الفن بمبادل الحرارة على هيئة "عوارض قطعية مزدوجة double segmental baffles" (موضحة بصفة عامة بـ ٣٢٢). يضمن نمط التدفق الشعاعي هذا اتصال ملح بأنبوب جيد حتى يتم تحقيق فعالية إزالة حرارة عالية من الأنابيب. أثناء الوصول إلى قاع القطاع R1، يمكن تجميع الملح الدافئ عن طريق قناة خروج محيطية circumferential exit channel أخرى (غير موضحة)، يمكن أن تشتمل اختيارياً على وسائل توزيع تدفق، يشار لها بشكل مشترك بـ "مشعب ملح سفلي" ويمكن نقلها عن طريق خطوط الإعادة R1 ٣٢١ إلى مراجل تسخين النفايات (غير موضحة).

بالنسبة لقطاعات دعم نظام تدوير الملح ISHX/R2 ٣٣٠ و٣٦٠، يدخل ملح التبريد عن طريق خطوط الإمداد ISHX ٣٤٣ قرب قمة القطاع ٣٣٠ ويتم توزيعها بشكل منتظم حول محيط المفاعل من خلال قناة مدخل، تتضمن وسائل توزيع تدفق داخلية مثل واحدة أو أكثر من عوارض، مراوح تدفق، أسلاك، مناخل، وموزعات بلوحة مثقبة ("مشعب ملح علوي upper salt manifold"، غير موضح). بمجرد الدخول في غلاف المفاعل، يتدفق الملح لأسفل، بشكل متكرر عرضياً على المفاعل في الاتجاه النصف قطري عن طريق التدفق حول سلسلة من four عوارض قطعية مزدوجة ٣٤٢، موضوعة على مسافات حوالي ٣٦٦ مم (١,٢٠ قدم). أثناء الوصول إلى قاع قطاع ISHX، يمكن نقل الملح عبر المنطقة البينية المفتوحة ٣٥٠ عن طريق التدفق لأسفل من خلال ماسورة نقل الملح الداخلية ٣٥٣ وفي قطاع R2 ٣٦٠. بمجرد دخول غلاف القطاع R2 ٣٦٠، يستمر الملح بشكل مستعرض على غلاف المفاعل في الاتجاه النصف قطري عن طريق التدفق لأسفل حول سلسلة أخرى من ست عوارض قطعية مزدوجة Double Segmental Baffles (٣٧٢)، موضوعة على مسافات حوالي ٣٩٠ مم (١,٣٠ قدم). أثناء الوصول إلى قاع القطاع R2، يمكن تجميع الملح الدافئ عن طريق قناة خروج محيطية أخرى، يمكن أن تشتمل اختيارياً على وسائل توزيع تدفق، (" مشعب ملح سفلي " – غير موضحة) والنقل عن طريق خطوط الإعادة R2 ٣٧١ إلى مراجل تسخين النفايات (غير موضحة).

يتم الإشارة إلى تصميم تدفق الملح المتحرك هذا في اتجاه بصفة عامة مكافئ لتدفق العملية (في تلك الحالة، يتدفق الملح لأسفل من خلال الغلاف بالرغم من تدفق غاز المعالجة لأسفل من خلال الأنابيب) بشكل مشترك بتدوير مادة تبريد بتيار مشترك co-current coolant circulation. يجب ملاحظة أنه يمكن اعتبار التصميم البديل حيث يتدفق الملح بصفة عامة

لأعلى من خلال الغلاف ويتدفق غاز المعالجة لأعلى من خلال الأنابيب أيضاً كتدوير مادة تبريد بتيار مشترك.

يمثل الشكل ٤ تجسيد آخر لتصميم مفاعل مرحلة بينية مفتوحة بالغلاف المنفرد المبتكر (SSOI) يتضمن ٢٢،٠٠٠ أنبوب، كل منها بقطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة). يكون للمفاعل من ذلك التجسيد قطر غلاف حوالي ٥،٦٠٠ مم (١٨,٤ قدم) وطول إجمالي أكثر من ١٥،٢٤٠ مم (٥٠ قدم). يشتمل تجسيد ذلك المفاعل أيضاً على وسائل لإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant إلى منطقة المرحلة البينية بالمفاعل. تسمح مرونة التشغيل المتوفرة بإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant بتغذية بعض من الأكسجين oxygen بشكل معتدل إلى مرحلة التفاعل الأولى التي يعاد وضعها على نقطة قبل R1، مما يؤدي إلى زيادة نسبة البروبيلين propylene: الهواء المولية في تغذية المفاعل، والانخفاض المفضل في قابلية اشتعال غاز تغذية المفاعل. كما سوف يتم وصفه بتفصيل أكثر أدناه، يمكن أن تسمح إضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant أيضاً للمفاعل بالتشغيل الفعّال عند معدلات تغذية بتصميم بروبيلين propylene أعلى، بالنسبة لمفاعلات SSOI بنفس الحجم، بالتالي توفير سعة إنتاج حمض أكريليك acrylic acid زائد. على سبيل المثال، عند معدلات تغذية نمطية يكون للمفاعل من ذلك التجسيد سعة إنتاج سنوية أسمية تبلغ حوالي ١١٠ kT من حمض أكريليك acrylic acid مقارنةً بتجسيد المفاعل من الشكل ١أ، حيث تشتمل أيضاً على ٢٢،٠٠٠ الأنابيب بقطر داخلي ٢٢,٣ مم، ولكن يكون لها سعة إنتاج سنوية أسمية تبلغ فقط حوالي ١٠٠ kT من حمض أكريليك acrylic acid.

بالإشارة إلى الشكل ٤، تدخل غازات التغذية (على سبيل المثال، بروبيلين propylene، بخار steam، أكسجين oxygen، ونيتروجين nitrogen) في المفاعل من القاع، تتدفق رأسياً لأعلى من خلال المفاعل، وتخرج من المفاعل عند القمة. يكون ذلك التجهيز بالتالي معروف بتصميم عملية "تدفق لأعلى upflow".

تشتمل القطاعات الرئيسية للمفاعل على رأس المدخل ٤٠٠، مرحلة التفاعل الأولى ٤١٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "R1")، مبادل الحرارة البيني ٤٣٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "ISHX")، المنطقة البينية المفتوحة ٤٥٠، مرحلة التفاعل الثانية ٤٦٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "R2")، ورأس المخرج ٤٨٠.

يمكن أن تشتمل الوصلات البينية بين القطاعات المتجاورة، المعرفة في الأشكال بـ ٤٠٥، ٤٢٥، ٤٤٥، ٤٥٥، و٤٧٥، على وصلات دائمة (على سبيل المثال، ملحومة) أو يمكن أن تشتمل اختيارياً على قطاعات قابلة للفصل، مثل الوصلات المجنحة المثبتة باستخدام مجموعة من عناصر التثبيت، مثل على سبيل المثال مسامير أو مشابك. في التجسيد من الشكل ٤، تكون الواجهات ٤٠٥ و٤٧٥ عبارة عن قطاعات قابلة للفصل، تسمح لرأس المدخل ٤٠٠ ورأس المخرج ٤٨٠ بسهولة الإزالة لاستبدال المحفز؛ علاوة على ذلك، يمكن أن تكون الواجهات ٤٤٥ و٤٥٥ أيضاً عبارة عن قطاعات قابلة للفصل، بالتالي توفير وصول صيانة محسّن إلى المكونات داخل المنطقة البينية المفتوحة ٤٥٠. يمكن أن تكون الواجهة ٤٢٥ عبارة عن وصلة ملحومة.

يكون لمرحلة التفاعل الأولى ٤١٠ طول ٤،٦٠٠ مم (١٥ قدم) وتحتوي على مجموعة من الأنابيب، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ٤١٥أ، ٤١٥ب، ٤١٥ج. يتم ربط نهاية مدخل كل من تلك الأنابيب، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المدخل R1 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس موضع قطاع قابل للفصل ٤٠٥). تكون رقاقة أنبوب المدخل R1 هي ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم) في القطر وتشتمل على ٢٢،٠٠٠ أنبوب. يكون للأنابيب قطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة) وقطر خارجي ٢٦,٩ مم (١,٠٦٠ بوصة). يتم تجهيز الأنابيب على نموذج مثلث ذو ٦٠ درجة، بانحدار رقاقة أنبوب ٣٤ مم (١,٣٤ بوصة)، مما يؤدي إلى مسافة بين الأنابيب ٧ مم (٠,٢٧٥ بوصة).

يمكن أن يحتوي مبادل الحرارة البيني ٤٣٠ أيضاً على مجموعة من الأنابيب، بصفة عامة ممثلة في الشكل على هيئة ٤٣٥أ، ٤٣٥ب، ٤٣٥ج، ومتكافئة في العدد، القطر، ووضع أنابيب مرحلة التفاعل الأولى. يمكن أن ترتبط نهاية مخرج كل قطعة أنبوب ISHX ٤٣٥أ، ٤٣٥ب، ٤٣٥ج، على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، إلى رقاقة أنبوب ISHX (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة وصلة بينية ٤٤٥).

يمكن توصيل أنابيب مبادل الحرارة البيني بشكل متحد المحور مع أنابيب R1 بمرحلة التفاعل الأولى، مما يعني أن قطعة الأنبوب ٤٣٥أ هي النهاية السابقة للأنبوب ٤١٥أ، تكون قطعة الأنبوب ٤٣٥ب هي النهاية السابقة للأنبوب ٤١٥ب، تكون قطعة الأنبوب ٤٣٥ج هي النهاية السابقة للأنبوب ٤١٥ج، وما إلى ذلك. كما تمت الإشارة إليه مسبقاً، يتم الإشارة إلى ذلك

الاتصال المباشر لمبادل الحرارة البيني بالغلاف والأنابيب من مرحلة التفاعل الأولى في هذه الوثيقة بمبادل حرارة بيني مدمج integrated interstage heat exchanger.

يتم وضع كسر فراغ عالي، وليجات حث اضطراب داخل قطع الأنبوب (٤٣٥ أ، ب، ج) بمبادل الحرارة البيني لتحسين نقل الحرارة بدون تراكم المواد الملوثة. في ذلك التجسيد الخاص، يتم وضع وليجة ملفوفة داخل كل قطعة أنبوب ISHX.

يتم فصل تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1 عن مادة تبريد جانب غلاف ISHX بواسطة عارضة مرحلة بينية (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة وصلة ٤٢٥)؛ يمكن أن تمر كل من الأنابيب المتصلة بشكل متحد المحور الممتدة من رقاقة أنبوب المدخل R1 إلى رقاقة أنبوب مخرج ISHX من خلال عارضة المرحلة البينية هذه. كما تم وصفه مسبقاً، تختلف عارضة المرحلة البينية عن رقاقة أنبوب حقيقة في أنه يمكن أن لا توجد أي لحامات أنبوب بعارضة؛ بدلاً من ذلك، تكون الثقوب خلال عارضة المرحلة البينية بقطر داخلي أكبر قليلاً من القطر الخارجي للأنابيب (٤١٥ أ، ب، ج)، بحيث يتم تشكيل فجوة حلقية صغيرة (غير موضحة) بعرض بين ٠,٢٥ و٢,٥ مم حول كل أنبوب. يمكن تجهيز تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1 في تصميم مشترك التيار أو في تصميم تيار عكسي؛ بالمثل، يمكن تجهيز تدوير مادة تبريد جانب غلاف ISHX في تصميم مشترك التيار أو في تصميم تيار عكسي أيضاً، ولا تتطلب مطابقة تصميم تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1.

لا تحتوي المنطقة البينية المفتوحة ٤٥٠ على أي أنابيب ولها إجمالي طول ٣،١٣٧ مم (١٠,٣ قدم). وفقاً لتصميم مفاعل SSOI من الاختراع الحالي، تكون المنطقة البينية المفتوحة على الأقل المعبأة جزئياً باستخدام واحدة أو أكثر من مواد مدخل مناسبة، بمساحة سطح عالية ٤٥١، بكمية كافية لتوفير على الأقل ٩٣٠ م^{٢} (١٠،٠٠٠ قدم مربع) من مساحة السطح الإجمالية لإزالة مواد ملوثة، مثل، على سبيل المثال، على الأقل ٢،٧٩٠ م^{٢} (٣٠،٠٠٠ قدم مربع)، أو على الأقل ٣،٧٢٠ م^{٢} (٤٠،٠٠٠ قدم مربع). في ذلك التجسيد، تكون مادة المدخل المستقرة، بمساحة سطح عالية ٢٠ ppi ("ثقب بالبوصة") بلاط رغوة خزفية، بشكل مستطيل بصفة عامة ومتوفر بسمك بين حوالي ١٢ مم و٣٠٥ مم (بين ٠,٥ و١٢ بوصة). يكون بلاط رغوة خزفية مناسب متوفر تجارياً من موردين متعددين، تتضمن: Ultramet of Pacoima, California USA; ERG Aerospace

Corporation of Oakland, California USA; Selee Corporation of Hendersonville, North Carolina USA; and Sud-Chemie Hi-Tech Ceramics of Alfred, New York USA.

يكون لبلاط رغوة خزفية ceramic foam tiles ٢٠ ppi الخصة من ذلك التجسيد سمك thickness ٥١ مم (٢ بوصة)، كثافة نسبية لـ ٨٪، كسر فراغ ٩٢٪، ومساحة سطح فعّالة حوالي ١،٢٦٠ م^{٢}/م^{٣} (٣٨٤ قدم^{٢}/ قدم^{٣}). يمكن وضع بلاط الرغوة الخزفية هذا مباشرةً فوق رقاقة أنبوب مخرج ISHX ٤٤٥ وتجهيزها سوياً للتغطية المنتظمة للسطح الكامل لرقاقة الأنبوب. يتم رص طبقات البلاط المتعددة لتحقق طبقة رغوية خزفية متصلة بسطح قمة مستوي وسمكن منتظم ١٥٢,٤ مم (٦ بوصة). توفر طبقة الرغوة الخزفية هذه مساحة سطح أكثر من ٤،٥٥٠ م^{٢} (٤٩،٠٠٠ قدم مربع) لإزالة مواد ملوثة.

داخل المنطقة البينية المفتوحة ٤٥٠ ومباشرةً قبل طبقة الرغوة الخزفية يوجد تجميعة خلط مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant mixing assembly. في ذلك التجسيد، يشار لتجميعة الخلط النوعي في هذه الوثيقة بـ "خلاط دوامي venturi-mixer "، ولكن يمكن استخدام تجميعات خلط مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant الأخرى أيضاً بدون الحيود عن مجال الاختراع الحالي.

يوفر خط إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ٤٤٦ مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ، يشتمل على، على سبيل المثال، أكسجين oxygen واختيارياً واحدة أو أكثر من الوليجات، مثل على سبيل المثال نيتروجين nitrogen، الماء، أو ثاني أكسيد الكربون carbon dioxide، على هيئة تيار غاز إلى الخلاط الدوامي. يمكن استخدام مبادل حرارة مادة أكسدة اختيارية ٤٤٧ لتعديل درجة حرارة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant قبل وصولها إلى الخلاط الدوامي. يمكن أن توجد وسائل التحكم بالتدفق الاختيارية، مثل على سبيل المثال صمام تحكم بتدفق (غير موضحة) أيضاً في خط إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ٤٤٦.

يشتمل الخلاط الدوامي من ذلك التجسيد على ثلاث قطاعات، متداخلة لتشكيل تجميعة خلط متصلة، بالتدفق الخلالي: قطاع تقليص مدخل ٤٥٢، قطاع تضييق وسيط ٤٥٣، وقطاع توسيع المخرج ٤٥٤. يكون الطول الكلي للخلاط الدوامي هو ٢،٩٨٥ مم (٩,٧٩ قدم).

في ذلك التجسيد، يكون قطاع تقليص المدخل ٤٥٢ عبارة عن مخروط مقتطع بقطر مدخل ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم)، قطر مخرج ١،٢١٩ مم (٤ قدم)، طول كلي ٣٧٨ مم (١,٢٤ قدم) وزاوية تضمين ١٦٠ درجة. اختيارياً، يشتمل قطاع التقليص ٤٥٢ على مجموعة من القطع القابلة للفصل، أو "عارضات "، كل منها بتصميم هندسي منتقى للسماح بسهولة مرور العارضات من خلال طريق أساسي للمرور (غير موضح) على غلاف جدار المنطقة البينية المفتوحة ٤٥٠. يمكن أن يحسّن استخدام تلك القطع القابلة للفصل من وصول الصيانة داخل المنطقة البينية المفتوحة ويمكن أن يقلل الحاجة لاستخدام قطاعات قابلة للفصل عند الواجهات ٤٤٥ و٤٥٥.

يكون قطاع التضييق الوسيط intermediate throat section ٤٥٣ عبارة عن اسطوانة بقطر داخلي ١،٢١٩ مم (٤ قدم) وطول كلي ٤٥٧ مم (١٨ بوصة)؛ يشتمل قطاع التضييق هذا على واحدة أو أكثر من عناصر المزج blending elements (غير موضحة) منتقاة من القائمة التي تتضمن فوهات nozzles، حواقن injectors، عناصر خلط غاز-غاز gas-gas mixing elements، موزعات distributors، شفاطات aspirators، عناصر خلط بتأثير كواندا coanda-effect mixing elements، رشاشات spargers، عناصر خلط ساكنة static mixing elements، وسائل استخراج eductors، ورماح lances.

يكون قطاع توسيع المخرج outlet expanding section ٤٥٤ عبارة عن مخروط معكوس، مقتطع inverted, truncated cone بقطر مدخل ١،٢١٩ مم (٤ قدم)، قطر مخرج ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم)، طول كلي ٢،١٤٩ مم (٧,٠٥ قدم)، وزاوية تضمين ٩٠ درجة. اختيارياً، يشتمل قطاع التوسيع ٤٥٤ على مجموعة من القطع القابلة للفصل، أو عارضات، كل منها بتصميم هندسي منتقى للسماح بسهولة مرور العارضات من خلال طريق أساسي للمرور (غير موضح) على غلاف جدار المنطقة البينية المفتوحة ٤٥٠. يمكن أن يحسّن استخدام تلك القطع القابلة للفصل من وصول الصيانة داخل المنطقة البينية المفتوحة ويمكن أن يقلل الحاجة لاستخدام قطاعات قابلة للفصل عند الواجهات ٤٤٥ و٤٥٥.

يكون لمرحلة التفاعل الثانية ٤٦٠ طول ٤،٥٠٠ مم (١٤,٧٦ قدم) وتحتوي على مجموعة من الأنابيب، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ٤٦٥أ، ٤٦٥ب، ٤٦٥ج. يتم ربط نهاية مدخل كل أنبوب في مرحلة التفاعل الثانية، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب مدخل R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة

وصلة بينية ٤٥٥). يتم ربط نهاية مخرج كل قطاع أنبوب ٤٦٥أ، ٤٦٥ب، ٤٦٥ج،على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المخرج R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة قطاع قابل للفصل ٤٧٥). تكون رقاقة أنبوب مدخل R2 بقطر ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم) وتشتمل على ٢٢،٠٠٠ أنبوب. يكون مخطط رقاقة أنبوب مدخل R2 مشابه لرقاقة أنبوب المدخل R1. يكون للأنابيب داخل مرحلة التفاعل الثانية قطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة) وقطر خارجي ٢٦,٩ مم (١,٠٦٠ بوصة). يتم تجهيز الأنابيب على نموذج مثلث ذو ٦٠ درجة، بانحدار رقاقة أنبوب ٣٤ مم (١,٣٤ بوصة)، مما يؤدي إلى مسافة بين الأنابيب ٧ مم (٠,٢٧٥ بوصة). بالتالي، في التجسيد الموضح في الشكل ٤، يكون عدد، وقطر، وموضع أنابيب مرحلة التفاعل الثانية (أنابيب R2) مشابهاً لتلك الأنابيب في مرحلة التفاعل الأولى (أنابيب R1).

في ذلك التجسيد، يتم حجز محفز مرحلة التفاعل الأولى (R1) ومحفز مرحلة التفاعل الثانية (R2) في أنابيب مفاعلها الخاصة باستخدام لوحات شبكة دعم محفز تتضمن شبكة أسلاك. تم تحميل كل من الأنابيب R1 باستخدام ١,٢٩٥ كجم من محفز ACF7 ويتم تحميل كل من أنابيب R2 باستخدام ١,٩٦٢ كجم من محفز ACS7، مما يؤدي إلى ١,٥٢ نسبة كتلة محفز.

بالرغم من عدم التوضيح في الشكل ٤، يمكن أن يشتمل ذلك التجسيد من مفاعل SSOI المبتكر أيضاً على ثلاث أنظمة تدوير مادة تبريد متحكم بها بشكل مستقل، حيث توفر القدرة على التقدير المستقل لدرجة حرارة كل قطاع مبرّد (٤١٠، ٤٣٠، ٤٦٠) حسب الحاجة. يتم استخدام ملح نقل حرارة HITEC®، متوفر من Coastal Chemical Co. of Houston, Texas USA، على هيئة وسط مادة التبريد لكل أنظمة التدوير الثلاثة في ذلك التجسيد. يتم الإشارة إلى الأنظمة في هذه الوثيقة بنظام تدوير ملح R1، مما يدعم مرحلة التفاعل الأولى ٤١٠؛ نظام تدوير ملح ISHX، مما يدعم مبادل الحرارة البيني ٤٣٠؛ ونظام تدوير ملح R2، مما يدعم مرحلة التفاعل الثانية ٤٦٠.

بالتوافق مع تصميم الاختراع الحالي، يمكن أن يسمح تصميم نظام مادة التبريد هذا بدرجة حرارة جانب معالجة مبادل الحرارة البيني التي سيتم التحكم بها بشكل مستقل عن درجة حرارة عملية مرحلة التفاعل الأولى، مع ضمان أنه يمكن حفظ غاز المعالجة الخارج من ISHX، على سبيل المثال، عند درجة حرارة على الأقل ٢٤٠° درجة مئوية ولا تزيد عن ٢٨٠° درجة مئوية. بالرغم من أنها لا تمثل سمة جوهرية للتصميم المبتكر، يمكن أن يوفر ذلك التجسيد الخاص أيضاً إمكانية

التحكم بدرجة حرارة جانب معالجة مرحلة التفاعل الثانية بشكل مستقل عن درجة حرارة عملية مبادل الحرارة البيني. السمات الأخرى من أنظمة تدوير الملح بجانب الغلاف، تتضمن معدة نظام وعوارض غلاف جانبي، تتوافق مع التجسيد الموصوف مسبقاً للشكل ١ب. يجب ملاحظة أن تدفقات مادة التبريد من التجسيد الحالي، التي تتحرك بصفة عامة في اتجاه يكون مكافئ لسير العملية وعليه، ملح يتدفق لأعلى من خلال الغلاف في حين يتدفق غاز المعالجة أيضاً لأعلى من خلال الأنابيب – يشار لها بشكل شائع بتدوير مادة تبريد بتيار مشترك. يكون من الممكن تأكيد أن تدفق مادة التبريد من ذلك التجسيد للتدفق بصفة عامة لأسفل في تدوير مادة تبريد بتيار عكسي، أو حتى على هيئة تدوير مادة تبريد "هجين". في أحد التجسيدات على الأقل من الكشف الحالي، يتم استخدام استعمال تدوير مادة تبريد مشتركة التيار.

في عملية ذلك التجسيد النموذجي، يدخل خليط غاز التغذية في مرحلة التفاعل الأولى ٤١٠ لإنتاج تيار غاز خروج R1 يتضمن الأكرولين acrolein. يتم تبريد تيار غاز المخرج R1 بسرعة في مبادل الحرارة البيني المدمج ٤٣٠ إلى درجة حرارة بين ٢٤٠° درجة مئوية و ٢٨٠° درجة مئوية وبعد ذلك المرور من خلال الطبقة غير المبردة من الرغوة الخزفية لوليجة مساحة سطح عالية ٤٥١. يدخل غاز المخرج R1 المبرّد والمرشح في قطاع التقليص ٤٥٢ بالخلاط الدوامي. يوفر خط إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ٤٤٦ بشكل متصل تيار مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant ، تتضمن الهواء وبخار الماء steam، إلى مبادل الحرارة ٤٤٧ حيث يتم تحويل مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant التيار إلى درجة حرارة حوالي ٢٦٠° درجة مئوية قبل نقلها إلى قطاع التضييق الوسيط ٤٥٣. في قطاع التضييق ٤٥٣، تخلط عناصر المزج (غير الموضح) بسرعة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant التيار مع غاز المخرج R1 لتشكيل تيار تغذية R2 غنية بالأكسجين oxygen عند درجة حرارة بين ٢٤٠° درجة مئوية و ٢٨٠° درجة مئوية. بعد ذلك يمر تيار تغذية R2 غني بالأكسجين oxygen من خلال قطاع التوسيع ٤٥٤ بالخلاط الدوامي ويتم توزيعه إلى أنابيب مرحلة التفاعل الثانية للتحول الإضافي إلى حمض أكريليك acrylic acid.

يتم وصف غازات التغذية بالنسبة لذلك التجسيد في الجدول ٧أ (انظر "الحالة ٢" على الجانب الأيمن بالجدول)، بالترافق مع تلك للتجسيد من الشكل ١أ (انظر "الحالة ١" على الجانب الأيسر بالجدول). يلاحظ أنه يتم استخدام بروبيلين propylene بدرجة تجارية على هيئة تغذية

الهيدروكربون الأساسية في كلاً من تلك التجسيدات (يشار لها في هذه الوثيقة بـ "C3")، حيث تشتمل على ٩٠٪ من جزيئات بروبيلين propylene. يوضح الجدول ٧أ كيفية تشغيل مفاعل SSOI المبتكر بإضافة تغذية مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant من ذلك التجسيد يمكن أن تزيد معدل البروبيلين propylene، وبالتالي إنتاجية المفاعل، بواسطة على الأقل ١٠٪.

الجدول ٧أ

	الحالة ١ ***مفاعل SSOI***	***الحالة ٢*** ***مفاعل SSOI مع مادة الأكسدة التكميلية*** supplemental oxidant
نسبة مولية من R1 بروبيلين propylene: الهواء	٠,١٠٠	٠,١٢٢
نسبة مولية من R1 الماء: الهواء	٠,٣٦٧	٠,٣٦٧

	غاز تغذية مرحلة التفاعل الأولى			
	MSCFH	نيوتن م٣/ ساعة	MSCFH	نيوتن م٣/ ساعة
تغذية C3	١٩٤,٨	٥،٢١٩	٢١٤,٢٨	٥،٧٤١
تغذية الهواء	١،٧٥٧,٤	٤٧،٠٨٤	١،٥٨١,٦٥	٤٢،٣٧٥
تغذية الماء	٦٤٥,٢	١٧،٢٨٥	٥٨٠,٦٦	١٥،٥٥٧
التدفق الإجمالي Total Flow	٢،٥٩٧,٤	٦٩،٥٨٨	٢،٣٧٦,٥٩	٦٣،٩٧٣
تركيز R1 بروبيلين propylene (٪ مول)	٦,٧٥		٨,١١	

	غاز تغذية منطقة مرحلة بينية (مادة الأكسدة التكميلية Supplemental Oxidant)			
	MSCFH	نيوتن م٣/	MSCFH	نيوتن م٣/ ساعة

		ساعة		
تغذية C3	٠	٠	٠	٠
تغذية الهواء	٠	٠	١٧٥,٧٤	٤،٧٠٨
تغذية الماء	٠	٠	٦٤,٥٢	١،٧٢٩
التدفق الإجمالي	٠	٠	٢٤٠,٣٦	٦،٤٣٧
معدل البروبيلين propylene	١٩،٤٠٠ رطل/ ساعة	٨،٨٢٠ كجم/ ساعة	٢١،٣٤٤ رطل/ ساعة	٩،٧٠٢ كجم/ ساعة

يمثل الشكل ٥ تجسيد إضافي لتصميم مفاعل مرحلة بينية مفتوحة بالغلاف المنفرد المبتكر (SSOI) يتضمن وسائل لإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant إلى منطقة المرحلة البينية بالمفاعل.

تدخل غازات التغذية (على سبيل المثال، بروبيلين propylene، بخار steam، أكسجين oxygen، ونيتروجين nitrogen) في المفاعل من القمة، تتدفق رأسياً لأسفل من خلال المفاعل، وتخرج من المفاعل عند القاع. يكون ذلك التجهيز عبارة عن تصميم عملية تدفق هابط.

تشتمل القطاعات الرئيسية للمفاعل على رأس المدخل المقبب domed inlet head ٥٠٠، مرحلة التفاعل الأولى ٥١٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "R1")، مبادل الحرارة البيني ٥٣٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "ISHX")، المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠، مرحلة التفاعل الثانية ٥٦٠ (يشار لها أيضاً في هذه الوثيقة بـ "R2")، ورأس المخرج المخروطي ٥٨٠.

يمكن أن تشتمل الوصلات البينية بين القطاعات المتجاورة، المعرفة في الأشكال بـ ٥٠٥، ٥٢٥، ٥٤٥، ٥٥٥، و٥٧٥، على وصلات دائمة (على سبيل المثال، ملحومة) أو يمكن أن تشتمل اختيارياً على قطاعات قابلة للفصل، مثل الوصلات المجنحة المثبتة باستخدام مجموعة من عناصر التثبيت، مثل على سبيل المثال مسامير bolts أو مشابك clamps. في التجسيد من الشكل ٥، تكون الواجهات ٥٠٥ و٥٧٥ عبارة عن قطاعات قابلة للفصل، تسمح لرأس المدخل ٥٠٠ ورأس المخرج المخروطي ٥٨٠ بسهولة الإزالة لاستبدال المحفز؛ علاوة على ذلك، في أحد التجسيدات على الأقل، تكون واحدة على الأقل من الواجهات ٥٤٥ و٥٥٥ أيضاً عبارة عن

قطاعات قابلة للفصل، بالتالي توفير وصول صيانة محسّن إلى المكونات داخل المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠. يمكن أن تكون الواجهة ٥٢٥ عبارة عن وصلة ملحومة.

تحتوي مرحلة التفاعل الأولى ٥١٠ على مجموعة من أنابيب بقطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة)، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ٥١٥أ، ٥١٥ب، ٥١٥ج. يتم ربط نهاية مدخل كل من تلك الأنابيب، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المدخل R1 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس موضع قطاع قابل للفصل ٥٠٥). يحتوي مبادل الحرارة البيني ٥٣٠ أيضاً على مجموعة من أنابيب بقطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة)، بصفة عامة ممثلة في الشكل على هيئة ٥٣٥أ، ٥٣٥ب، ٥٣٥ج، ومتكافئة في العدد، القطر، ووضع أنابيب مرحلة التفاعل الأولى. يتم ربط نهاية مخرج كل قطعة أنبوب ISHX ٥٣٥أ، ٥٣٥ب، ٥٣٥ج، على سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب ISHX (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة وصلة بينية ٥٤٥).

يتم توصيل أنابيب مبادل الحرارة البيني بشكل متحد المحور مع أنابيب R1 بمرحلة التفاعل الأولى، مما يعني أن قطعة الأنبوب ٥٣٥أ تمثل النهاية السفلية بالأنبوب ٥١٥أ، قطعة الأنبوب ٥٣٥ب تمثل النهاية السفلية بالأنبوب ٥١٥ب، قطعة الأنبوب ٥٣٥ج تمثل النهاية السفلية بالأنبوب ٥١٥ج، وما إلى ذلك. كما تمت الإشارة إليه مسبقاً، يتم الإشارة إلى ذلك الاتصال المباشر لمبادل الحرارة البيني بالغلاف والأنابيب من مرحلة التفاعل الأولى في هذه الوثيقة بمبادل حرارة بيني مدمج.

يمكن وضع كسر فراغ عالي، وليجات حث اضطراب داخل قطع الأنبوب (٥٣٥ أ، ب، ج) بمبادل الحرارة البيني لتحسين نقل الحرارة بدون تراكم المواد الملوثة.

يتم فصل تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1 عن مادة تبريد جانب غلاف ISHX بواسطة عارضة مرحلة بينية (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة وصلة ٥٢٥)؛ يجب أن تمر كل من الأنابيب المتصلة بشكل متحد المحور الممتدة من رقاقة أنبوب المدخل R1 إلى رقاقة أنبوب مخرج ISHX من خلال عارضة المرحلة البينية هذه. كما تم وصفه مسبقاً، تختلف عارضة المرحلة البينية عن رقاقة أنبوب حقيقة في أنه لا يوجد أي لحامات أنبوب بعارضة؛ بدلاً من ذلك، تكون الثقوب خلال عارضة المرحلة البينية بقطر داخلي أكبر قليلاً من القطر الخارجي للأنابيب (٥١٥ أ، ب، ج)، بحيث يتم تشكيل فجوة حلقية صغيرة (غير

موضحة) بعرض بين ٠,٢٥ و٢,٥ مم حول كل أنبوب. يمكن تجهيز تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1 في تصميم مشترك التيار أو في تصميم تيار عكسي؛ بالمثل، يمكن تجهيز تدوير مادة تبريد جانب غلاف ISHX في تصميم مشترك التيار أو في تصميم تيار عكسي أيضاً، ولا تتطلب مطابقة تصميم تدوير مادة تبريد جانب الغلاف R1.

في ذلك التجسيد الخاص، لا تحتوي المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠ على أي أنابيب ولها إجمالي طول حوالي ٦،١٧٠ مم (٢٠,٢٥ قدم). وفقاً لتصميم مفاعل SSOI من الاختراع الحالي، يمكن تعبئة المنطقة البينية المفتوحة جزئياً على الأقل باستخدام واحدة أو أكثر من مواد مدخل مناسبة، بمساحة سطح عالية ٥٥١ و٥٥٦، بكمية كافية لتوفير على الأقل ٩٣٠ م^{٢} (١٠،٠٠٠ قدم مربع) من مساحة السطح الإجمالية لإزالة مواد ملوثة، بشكل مفضل على الأقل ٢،٧٩٠ م^{٢} (٣٠،٠٠٠ قدم مربع)، وبشكل مفضل أكثر ٣،٧٢٠ م^{٢} (٤٠،٠٠٠ قدم مربع). في ذلك التجسيد، تكون مادة المدخل المناسبة، المنتقاة بمساحة سطح عالية ٥٥٦ هي ٢٠ ppi ("ثقب بالبوصة") بلاط رغوة خزفية، بشكل مستطيل بصفة عامة ولها كثافة نسبية من ٨٪، كسر فراغ ٩٢٪، ومساحة سطح فعّالة حوالي ١،٢٦٠ م^{٢}/م^{٣} (٣٨٤ قدم^{٢}/ قدم^{٣}). يتم وضع بلاط رغوة خزفية في اتجاه تلامس مع رقاقة أنبوب مخرج ISHX (٥٤٥) ومجهزة بطريقة حيث تحقق طبقة رغوية خزفية متصلة بسطح قمة مستوي وسمكن منتظم ٧٦ مم (٣ بوصة). يكون من المفضل تثبيت طبقة الرغوة الخزفية هذه في موضع باستخدام لوحات شبكة دعم محفز تتضمن شبكة أسلاك، بالرغم من إمكانية استخدام وسائل تثبيت أخرى اختيارياً. كما هو مصمم في ذلك التجسيد، توفر طبقة الرغوة الخزفية ceramic foam هذه مساحة سطح أكثر من ٢،٢٩٠ م^{٢} (٢٤،٦٥٠ قدم مربع) لإزالة مواد ملوثة.

داخل المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠ ومباشرةً قبل طبقة الرغوة الخزفية توجد تجميعة خلط مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant ؛ في ذلك التجسيد، تكون تجميعة الخلط النوعي عبارة عن "خلاط دوامي"، ولكن يمكن استخدام تجميعات خلط مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant الأخرى أيضاً بدون الحيود عن مجال الاختراع الحالي.

يوفر خط إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ٥٤٦ مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ، يتضمن أكسجين oxygen واختيارياً واحدة أو أكثر من الوليجات، مثل على سبيل المثال نيتروجين nitrogen، الماء، أو ثاني أكسيد الكربون carbon

dioxide، على هيئة تيار غاز في الخلاط الدوامي. يمكن استخدام مبادل حرارة مادة أكسدة اختيارية ٥٤٧ لتعديل درجة حرارة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant قبل وصولها إلى الخلاط الدوامي. يمكن أن توجد وسائل التحكم بالتدفق الاختيارية، مثل على سبيل المثال صمام تحكم بتدفق (غير موضحة) أيضاً في خط إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ٥٤٦.

يشتمل الخلاط الدوامي من ذلك التجسيد على ثلاث قطاعات، متداخلة لتشكيل تجميعة خلط متصلة، بالتدفق الخلالي: قطاع تقليص مدخل ٥٥٢، قطاع تضييق وسيط ٥٥٣، وقطاع توسيع المخرج ٥٥٤. يكون الطول الكلي للخلاط الدوامي هو ٦،٠٩٦ مم (٢٠ قدم).

يكون قطاع تقليص المدخل ٥٥٢ هو مخروط معكوس، مقتطع بقطر مدخل ٥،٤٨٦ مم (١٨ قدم)، قطر مخرج ٣٠٥ مم (١٢ بوصة)، طول كلي ١،٤٩٤ مم (٤,٩ قدم) وزاوية تضمين ١٢٠ درجة. في ذلك التجسيد، يتم وضع مادة مدخل مستقرة إضافية، بمساحة سطح عالية ٥٥١ داخل قطاع تقليص المدخل ٥٥٢؛ بصفة خاصة، يتم تعبئة قطاع التقليص ٥٥٢ بالكامل باستخدام ولجية كريات خزفية بقطر ٢٥,٤ مم (١ بوصة) من EnviroStone 66، حيث توفر ١،٧٦٩ م^{٢} (١٩،٠٠٠ قدم مربع) إضافية بمساحة سطح لإزالة مواد ملوثة. عند التجميع مع طبقة الرغوة الخزفية ٢٠ ppi المجاورة لرقاقة أنبوب ISHX، يؤدي ذلك إلى مساحة سطح داخل المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠ بما يزيد عن ٤،٠٦٠ م^{٢} (٤٣،٧٠٠ قدم مربع). يتم وضع غربال بشبكة أسلاك أفقية (غير موضح) أيضاً عند تداخل قطاع التقليص ٥٥٢ وقطاع التضييق ٥٥٣ لدعم كريات الوليجة ومنعها من الدخول في قطاع التضييق ٥٥٣.

يكون قطاع التضييق الوسيط ٥٥٣ عبارة عن اسطوانة بقطر داخلي ٣٠٥ مم (١٢ بوصة) وطول كلي ١،٢١٩ مم (٤ قدم)؛ يمكن أن يشتمل قطاع التضييق هذا على واحدة أو أكثر من عناصر المزج ٥٤٨ المنتقاة من القائمة التي تتضمن فوهات، حواقن، عناصر خلط غاز-غاز، موزعات، شفاطات، عناصر خلط بتأثير كواندا، رشاشات، عناصر خلط ساكنة، وسائل استخراج، ورماح. بخلاف عناصر المزج الأخرى، يكون من المفضل أن تكون قطاع التضييق ٥٥٣ خالية من العواق بحيث يتم تعظيم فعالية الخلط، على سبيل المثال، في أحد التجسيدات على الأقل، لا يشتمل قطاع التضييق ٥٥٣ على مادة مدخل مستقرة، بمساحة سطح عالية.

في ذلك التجسيد الخاص، يشتمل عنصر مزج ٥٤٨ على عنصر خلط غاز-غاز. تم الكشف عن أحد أمثلة عنصر خلط غاز-غاز المناسبة في البراءة الاوروبية رقم١٧٢٦٣٥٥. تشتمل الأمثلة الأخرى المناسبة من عناصر خلط غاز-غاز على عناصر متوفرة تجارياً، مثل OXYNATOR™ (متوفر من Air Liquide of Paris, France) وحاقن أكسجين OXYMIX™ oxygen (متوفر من Linde Gas Division of Linde AG, Hollriegelskreuth, Germany).

عند استخدام عنصر خلط غاز-غاز على هيئة عنصر المزج، يمكن وضع العنصر بقرب النهاية العليا بقطاع التضييق ٥٥٣، بحيث يوجد على الأقل ٣ أقطار مواسير بطول غير معاق قبل العنصر. بالتالي في ذلك التجسيد، يتم وضع عنصر المزج ٥٤٨ على مسافة لا تزيد عن ٣٠٥ مم (١٢ بوصة) من النهاية العليا بقطاع التضييق ٥٥٣.

يكون قطاع توسيع المخرج ٥٥٤ عبارة عن مخروط مقتطع بقطر مدخل ٣٠٥ مم (١٢ بوصة)، قطر مخرج ٥،٤٨٦ مم (١٨ قدم)، طول كلي ٣،٣٧٧ مم (١١,١ قدم)، وزاوية تضمين ٧٥ درجة. يكون قطاع التوسيع ٥٥٤ فارغ، أي، لا يشتمل على مادة مدخل مستقرة، بمساحة سطح عالية.

اختيارياً، يشتمل جزء على الأقل من غلاف جدار المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠ على قطع غلاف قابلة للإزالة، كما هو مشار إليه بواسطة الخطوط المنقطة في الشكل ٥. في أحد التجسيدات، تمتد قطع الغلاف القابلة للإزالة من الواجهة ٥٤٥ إلى ٥٥٥، توفير وصول كافي لإزالة واحدة أو أكثر من قطاعات كاملة (٥٥٢، ٥٥٣، أو ٥٥٤) بالخلاط الدوامي من المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠. في تجسيد آخر، يمكن إزالة غلاف جدار المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠ بالكامل من المفاعل، مما يوفر تفاوت كافي لإزالة كل القطاعات الثلاثة بالخلاط الدوامي بشكل متزامن. يمكن أن يؤدي استخدام قطع الغلاف القابلة للإزالة هذه إلى خفض الحاجة للوصول إلى السريع على غلاف جدار المنطقة البينية المفتوحة ٥٥٠.

تحتوي مرحلة التفاعل الثانية ٥٦٠ على مجموعة من أنابيب بقطر ٣١,٧٥ مم (١,٢٥ بوصة) قطر داخلي، ممثلة بصفة عامة في الشكل على هيئة ٥٦٥أ، ٥٦٥ب، ٥٦٥ج. يتم ربط نهاية مدخل كل أنبوب في مرحلة التفاعل الثانية، على سبيل المثال باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب مدخل R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة وصلة بينية ٥٥٥). يتم ربط نهاية مخرج كل قطاع أنبوب ٥٦٥أ، ٥٦٥ب، ٥٦٥ج، على

سبيل المثال، باللحام أو الدلفنة، برقاقة أنبوب المخرج R2 (غير موضحة بحد ذاتها، ولكن موضوعة عند نفس الموضع في الشكل على هيئة قطاع قابل للفصل ٥٧٥). في ذلك التجسيد، يختلف عدد وقطر أنابيب مرحلة التفاعل الثانية (أنابيب R2) عن تلك الأنابيب في مرحلة التفاعل الأولى (أنابيب R1).

بالرغم من عدم التوضيح في الشكل ٥، يشتمل ذلك التجسيد من مفاعل SSOI المبتكر أيضاً على ثلاث أنظمة تدوير مادة تبريد متحكم بها بشكل مستقل، حيث توفر القدرة على التقدير المستقل لدرجة حرارة كل قطاع مبرّد (٥١٠، ٥٣٠، ٥٦٠) حسب الحاجة. يتم الإشارة إلى الأنظمة في هذه الوثيقة بنظام تدوير مادة التبريد R1، مما يدعم مرحلة التفاعل الأولى ٥١٠؛ نظام تدوير مادة تبريد ISHX، مما يدعم مبادل الحرارة البيني ٥٣٠؛ ونظام تدوير مادة التبريد R2، مما يدعم مرحلة التفاعل الثانية ٥٦٠. في أحد التجسيدات على الأقل، يتم استخدام مائع نقل حرارة Syltherm^{TM} (متوفر من Dow Chemical Co. of Midland, Michigan USA) على هيئة وسط مادة التبريد لكل أنظمة التدوير الثلاثة.

بالتوافق مع تصميم الاختراع الحالي، يسمح تصميم نظام مادة التبريد هذا بالتحكم في درجة حرارة جانب معالجة مبادل الحرارة البيني بشكل مستقل عن درجة حرارة عملية مرحلة التفاعل الأولى، مع ضمان إمكانية حفظ غاز المعالجة الخارج من ISHX عند درجة حرارة على الأقل ٢٤٠° درجة مئوية ولا تزيد عن ٢٨٠° درجة مئوية. بالرغم من أنها لا تمثل سمة جوهرية للتصميم المبتكر، يمكن أن يوفر ذلك التجسيد الخاص أيضاً إمكانية التحكم بدرجة حرارة جانب معالجة مرحلة التفاعل الثانية بشكل مستقل عن درجة حرارة عملية مبادل الحرارة البيني؛ يتم استخدام تلك الإمكانية الإضافية للتحكم في عملية معالجة الأكسدة في أحد التجسيدات على الأقل من الاختراع الحالي. السمات الأخرى من أنظمة تدوير الملح بجانب الغلاف، تتضمن معدة نظام وعوارض غلاف جانبي، تتوافق مع التجسيد الموصوف مسبقاً للشكل ١ب. يجب ملاحظة أن تدفقات مادة التبريد من التجسيد الحالي، التي تتحرك بصفة عامة في اتجاه مقابل لسير العملية وعليه، يتم الإشارة إلى وسط مادة تبريد يتدفق لأعلى من خلال الغلاف في حين يتدفق غاز المعالجة أيضاً لأسفل من خلال الأنابيب – بشكل شائع بتدوير مادة تبريد بتيار عكسي. يكون من المجدي أيضاً تأكيد تدفق مادة التبريد من ذلك التجسيد للتدفق بصفة عامة لأسفل في تدوير مادة تبريد بتيار مشترك، أو حتى على هيئة تدوير مادة تبريد "هجين"، حيث يتدفق بعض من مادة التبريد بشكل

مشترك التيار في حين الأخريات تكون بتيار عكسي. على نحو إضافي، يتضح أنه في بعض التجسيدات يمكن أن يكون من المميز استخدام أكثر من وسط مادة تبريد لمفاعل منفرد، مثل على سبيل المثال، مائع نقل حرارة Syltherm™ في نظام تدوير مادة التبريد R1 ونظام تدوير مادة تبريد ISHX، وملح HITEC® في نظام تدوير مادة التبريد R2.

عند التشغيل تحت ظروف إضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant الملخصة في الحالة ٢ من الجدول ٧أ، يكون للمفاعل من ذلك التجسيد سعة حمض أكريليك acrylic acid إسمية تبلغ ١١٠ kT بالسنة. أيضاً، يكون زمن احتجاز المرحلة البينية بالنسبة لذلك التجسيد، هو إجمالي مجموع زمن الاحتجاز من خلال مبادل الحرارة البيني، يتم تحديد طبقة الرغوة الخزفية، وكل قطاع بالخلاط الدوامي، ليكون ٢,٥٦ ثانية. يوضح المثال ٧ (أدناه) كيفية احتساب زمن احتجاز المرحلة البينية للمفاعلات SSOI التي تعمل بإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant.

يقدم الشكل ٦ منظر مفصّل لأحد تجسيدات تجميعة خلط مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant ، المفيدة في مفاعلات SSOI التي تعمل بإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant. في ذلك التجسيد، تكون تجميعة خلط مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant عبارة عن خلاط دوامي يتضمن حلقة حاقن جديدة، ويتم عرض الخلاط الدوامي المذكور في اتجاه تدفق لأعلى العملية، حيث تدخل غازات المعالجة من القاع من خلال قطاع تقليص المدخل ٦٥٠، المار من خلال قطاع التضييق الوسيط ٦٣٠، وتخرج من خلال قطاع توسيع المخرج ٦٤٠. يمكن أن يكون ذلك الاتجاه مفيداً في مفاعلات تدفق العملية لأعلى، مثل على سبيل المثال تجسيد المفاعل من الشكل ٤. بالرغم من الوصف في هذه الوثيقة في اتجاه تدفق لأعلى العملية، يجب ملاحظة أن معدة الخلاط الدوامي من الشكل ٦ يمكن أن تستخدم بشكل مفيد أيضاً في اتجاه تدفق لأسفل.

في ذلك التجسيد، يستقر الخلاط الدوامي على طبقة بسمك ١٥٠ مم (٦ بوصة) من رغوة خلية مفتوحة من صلب مقاوم للصدأ ٦٦٠. يكون قطاع تقليص المدخل ٦٥٠ بشكل مخروطي، بأبعاد قاعدة D1 تبلغ ٥٥١٧ مم (١٨,١ قدم)، ارتفاع H1 يبلغ ٣٧٩ مم (١,٢٤ قدم)، وزاوية تضمين A1 تبلغ ١٦٠ درجة. يشتمل القطاع ٦٥٠ أيضاً على جناح تثبيت ٦٥١، حيث تكون حوالي ٧٦ مم (٣ بوصة) سمك. في أحد التجسيدات على الأقل، يشتمل الحجم الداخلي لقطاع

تقليص المدخل على مدخل وليجة جسيمية بها كسر فراغ كتلي أقل من ٥٠٪. في أحد التجسيدات، على سبيل المثال، يتم شغل ٥٠٪ من الحجم الداخلي لقطاع تقليص المدخل ٦٥٠ باستخدام ٢٥,٤ مم (١ بوصة) قطر كريات الوليجة Denstone 57 (ممثلة في الشكل على هيئة ٦٥٥) لخفض زمن الاحتجاز في ذلك القطاع بالخلاط الدوامي.

يكون قطاع التضييق الوسيط ٦٣٠ اسطوانياً، بقطر داخلي D0 يبلغ ١،٢١٩ مم (٤ قدم). يكون للقطاع ٦٣٠ ارتفاع إجمالي H0 يبلغ ٤٥٧ مم (١,٥ قدم)، حيث تنتج من قطاع جدار بسمك ٣٠٥ مم (١٢ بوصة) مجمع مع زوج من ٧٦ مم (٣ بوصة) أجنحة تثبيت ٦٤١ و ٦٥١؛ توفر أجنحة تثبيت ٦٤١ و ٦٥١ قطاع قابل للفصل بالقطاع ٦٣٠ ويتم حفظها في موضعها باستخدام عناصر التثبيت القابلة للإزالة (غير موضحة)، مثل على سبيل المثال المسامير. يشتمل الحيز الداخلي لقطاع التضييق ٦٣٠ على قناة حلقية مدمجة ٦٣١ حيث تكون في اتصال مائع مع مجموعة من منافذ الحاقن injector ports ٦٣٥ ويشار لها في هذه الوثيقة بـ "حلقة حاقن injector ring"؛ تكون منافذ الحاقن ٦٣٥ عبارة عن عناصر مزج حلقة الحاقن وتعمل على التوزيع المنتظم لمادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant التيار خلال قطاع التضييق بمعدة الخلاط الدوامي.

في تجسيد الشكل ٦، تستخدم حلقة الحاقن إجمالي ٢١٦ منفذ حاقن، كل منها ٩,٥ مم (٨/٣ بوصة) في القطر. كما هو مشار إليه في الشكل، يتم تصميم منافذ الحاقن هذه في ثلاث صفوف متوازية، موضوعة في نمط مثلث/ مدرج منتظم على امتداد السطح الداخلي لحلقة الحاقن. يحتوي كل صف على ٧٢ منفذ حاقن، متباعدة بشكل منتظم حول المحيط الداخلي لحلقة الحاقن، بمسافة حوالي ٤٤ مم (١,٧ بوصة) بين كل منفذ في الصف. يتم توصيل خط إمداد مادة أكسدة تكميلية supplemental oxidant على الأقل ٦٣٣ بقطاع التضييق ٦٣٠، لتوفير مسار لتغذية غاز مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant لدخول قناة حلقية ٦٣١. في ذلك التجسيد، يكون خط إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ٦٣٣ بقطر ٢٠٣ مم (٨ بوصة) ويشتمل على وسائل للتحكم بدرجة الحرارة، مثل مبادل حرارة يتحكم بدرجة الحرارة تيار صاع اختياري (غير موضح)، وتشير أيضاً إلى تحكم بالتدفق، مثل صمام تحكم بتدفق تيار صاعد (غير موضح). في أحد التجسيدات على الأقل، يكون قطر خط الإمداد ٦٣٣ أكبر بالنسبة لحجم منافذ الحاقن ٦٣٥ لتعزيز توزيع غاز التغذية حول المحيط الكامل لحلقة الحاقن؛ على سبيل المثال،

يمكن أن تكون نسبة قطر خط الإمداد ٦٣٣ إلى قطر منفذ الحاقن ٦٣٥ على الأقل ١٠، مثل على الأقل ١٥ أو على الأقل ٢٠. في ذلك التجسيد الخاص، يكون قطر خط الإمداد ٢٠٣ مم ويكون قطر منفذ الحاقن ٩,٥ مم، مما يجعل نسبة قطر خط الإمداد ٦٣٣ إلى قطر منفذ الحاقن ٦٣٥ هي ٢١. تضمن تلك النسبة الكبيرة أيضاً هبوط كافي بالضغط لمقاومة التدفق العكسي لغازات المعالجة القابلة للاشتعال بشكل محتمل من حلقة الحاقن في خط إمداد مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ٦٣٣. يمكن استخدام الترشيح الاختياري لتيار غاز مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant أيضاً لتقليص الانسداد المحتمل لمنافذ الحاقن بالقطر الصغير باستخدام مادة غير مرغوب فيها، مثل على سبيل المثال مواد صلبة بوليمرية polymeric solids ، أو جسيمات صدأ rust particles ، أو قطرات سائل محتجزة entrained liquid droplets.

يمكن أن تكون قطعة تمدد المخرج ٦٤٠ مخروطية في الشكل، بأبعاد قاعدة D2 تبلغ ٥٥١٧ مم (١٨,١ قدم)، ارتفاع H2 يبلغ ٢١٤٩ مم (٧ قدم)، وزاوية تضمين A2 تبلغ ٩٠ درجة. تشتمل القطعة ٦٤٠ أيضاً على جناح تثبيت ٦٤١، حيث يكون حوالي ٧٦ مم (٣ بوصة) سمك. في أحد التجسيدات على الأقل، يكون الحجم الداخلي لقطعة تمدد مخرج ٦٤٠ فارغة.

عند تركيبة تجميعة خلط مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant من ذلك التجسيد، حيث تشتمل على كريات Denstone المذكورة أنفاً في قطعة تقليص ٦٥٠، في مفاعل SSOI من النوع الموضح مسبقاً في الشكل ٤، وتعمل أيضاً تحت الظروف من الجدول ٧أ، الحالة ٢ (على سبيل المثال، معدل بروبيلين propylene يبلغ ٩،٧٠٢ كجم/ ساعة وإجمالي تدفق مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant ٦،٤٣٧ نيوتن م^{٣}/ ساعة)، سوف يعمل مفاعل SSOI الناتج باستخدام زمن احتجاز مرحلة بينية حوالي ٢,٥ ثانية وسوف يكون له أكثر من ٤،٨٥٠ م^{٢} (٥٢،٣٠٠ قدم مربع) بمساحة سطح خاملة داخل منطقة المرحلة البينية.

يمكن أن يؤدي تجميع مفاعل SSOI للاختراع الحالي مع نظام تجميع وإنتاج حمض أكريليك acrylic acid إلى عملية محسنة لتحضير حمض أكريليك acrylic acid بنقاء تجاري. على سبيل المثال، يمكن امتصاص برج امتصاص تيار عكسي counter-current absorption tower مجهز باستخدام تيار سائل امتصاص absorbent liquid stream، مثل على سبيل المثال الماء أو داي فينيل diphenyl، لتجميع حمض أكريليك acrylic acid من غاز منتج المفاعل، بالتالي تشكيل محلول منتج خام يتضمن حمض أكريليك acrylic acid ومادة امتصاص. يمكن استخراج حمض

الأكريليك acrylic acid بعد ذلك من محلول المنتج الخام باستخدام خطوات فصل مثل استخلاص المذيب وتقطير مقاوم للغليان. تم تقديم أمثلة أنظمة تجميع وإنتاج حمض أكريليك acrylic acid التي تعتمد على الامتصاص في براءات الاختراع الأمريكية أرقام U.S. 5,426,221؛6,639,106 ؛ و6,998,505.

يوضح الشكل ٨ أحد التجسيدات من الاختراع الحالي المتعلقة بعملية مدمجة لتحضير حمض أكريليك acrylic acid ، يتضمن مفاعل تدفق لأعلى SSOI (٨٣٠) ونظام تجميع وتنقية حمض أكريليك acrylic acid الخالي من المذيب. يشتمل نظام تجميع وتنقية حمض أكريليك acrylic acid الخالي من المذيب على عمود إزالة الماء وعمود تشكيل نهائي.

يكون لمفاعل SSOI بالنطاق التجاري الكبير من ذلك التجسيد الخاص سعة حمض أكريليك acrylic acid لوحية تبلغ ١٦٠ kT/ سنة ويتم ضبط حجم نظام تجميع وتنقية حمض أكريليك acrylic acid الخالي من المذيب، يشار لها في هذه الوثيقة بنظام "SFT"، لتوفير سعة معالجة حمض أكريليك acrylic acid مكافئة (مطابقة). يتم الكشف عن مثال لنظام SFT في براءة الاختراع الأمريكية رقم U.S. 8,242,308، حيث تم تضمين محتوياتها في هذه الوثيقة كمرجع. يمكن أن يوفر استخدام نظام SFT بالترافق مع مفاعل SSOI للاختراع الحالي واحدة على الأقل من المنافع التالية فوق تولفية من SSOI مع عمليات تجميع وتنقية حمض أكريليك acrylic acid بأساس مادة امتصاص تقليدية أكثر:

(١)لا يشتمل نظام SFT على برج امتصاص، ونتيجة لذلك لا تتطلب إضافة مواد امتصاص، مثل على سبيل المثال تيارات سائل تتضمن داي فينيل أو ماء

(٢)يكون نظام SFT قادر على إزالة الماء من حمض الأكريليك acrylic acid الخام بدون استخدام مذيبات الاستخلاص، مثل أكريلات إيثيل ethyl acrylate، أو مذيبات تقطير حيث تشكل خلائط مقاومة للغليان مع الماء، مثل على سبيل المثال ميثيل أيزو بيوتيل كيتون methyl isobutyl ketone (MIBK)، أسيتات إيثيل ethyl acetate، تولوين toluene، أو أسيتات أيزوبروبيل isopropyl acetate.

يمكن أن تؤدي تلك التحسينات إلى حدٍ كبير إلى تبسيط إنتاج حمض الأكريليك acrylic acid وخفض كمية معدة المعالجة المطلوبة، بالتالي تؤدي إلى توفيرات تشغيلية وبالتكاليف الرأسمالية كبيرة فوق عمليات الفن السابق.

بالإشارة إلى الشكل ٨، يتم تكوين المفاعل ٨٣٠ باستخدام رأس مدخل ومخرج المفاعل قابل للإزالة. عند ظروف التصميم، يتم إمداد البروبيلين propylene إلى المفاعل بمعدل تدفق فوق ١٤،١٠٠ كيلوجرام لكل ساعة (٣١،٠٠٠ رطل بالساعة). يتم مزج البروبيلين propylene، الهواء، غاز إعادة التدوير (التيار ٨١٤)، واختيارياً البخار، سوياً مع عناصر خلط ساكنة مباشرة لتشكيل غاز تغذية مختلط بتركيز بروبيلين propylene على الأقل ٧,٥ ٪ مول، نسبة مولارية لأكسجين oxygen إلى بروبيلين propylene بين ١,٦ و ٢,٠، ونسبة مولارية لبخار ماء steam إلى بروبيلين propylene حوالي ١,٢ أو أقل. في أحد التجسيدات، يكون بغاز التغذية المخلوط تركيز بروبيلين propylene على الأقل ٨ ٪ مول، وتكون النسبة المولارية لأكسجين oxygen إلى بروبيلين propylene حوالي ١,٨، وتكون النسبة المولارية لبخار ماء steam إلى بروبيلين propylene حوالي ٠,٧٥ أو أقل.

يدخل غاز التغذية المخلوط قاع المفاعل عن طريق خط تغذية مشترك ٨٣١ عند درجة حرارة أكبر من درجة حرارة نقطة تندي الخليط. في أحد التجسيدات، يدخل غاز التغذية المخلوط المفاعل عند درجة حرارة أقل من حوالي ٢٠٠° درجة مئوية، على سبيل المثال حوالي ١٩٥° درجة مئوية أو حتى حوالي ١٤٥° درجة مئوية. يمكن استخدام واحدة أو أكثر من مبادلات الحرارة ومبخرات بروبيلين propylene (غير موضحة) اختيارياً للتحكم في درجة حرارة غازات التغذية المستقلة، بالتالي التحكم بدرجة حرارة غاز التغذية المخلوط الداخل في المفاعل. اختيارياً، يمكن التحكم درجة حرارة تيار غاز التدوير ٨١٤ من خلال مبادل الحرارة مع غاز المنتج التيار ٨٠١؛ يمكن تصميم معدة مبادل حرارة ٨٣٢ لذلك الغرض (غير موضحة). تشتمل مرحلة التفاعل الأولى، حيث تكون في الجزء السفلي من المفاعل، على ما يزيد عن ٣٣،٠٠٠ أنبوب صلب كربوني carbon steel خالي من الشقوق من ٢٥,٤ مم قطر داخلي، مجهز على نموذج مثلث ذو ٦٠ درجة، ولها طول ٣،٧٥٠ مم (١٢,٣ قدم). يتم توصيل كل أنبوب داخل مرحلة التفاعل الأولى بشكل متحد المحور مع أنابيب مبادل الحرارة البيني، الموضوعة مباشرةً قبل مرحلة التفاعل الأولى ويشار لها في هذه الوثيقة بمبادل حرارة بيني مدمج. بالتالي، يشتمل مبادل الحرارة البيني (ISHX) أيضاً على ما يزيد عن ٣٣،٠٠٠ أنبوب صلب كربوني carbon steel خالي من الشقوق بقطر داخلي ٢٥,٤ مم. يكون لـ ISHX طول ٢،١٠٠ مم (٦,٩ قدم). يكون إجمالي طول أنابيب الإمرار المستمر خلال كلاً من مرحلة التفاعل الأولى ويكون مبادل الحرارة البيني لذلك ٥،٨٥٠ مم (١٩,٢

قدم). ولحفظ المحفز داخل تلك الأنابيب المتصلة، يتم ربط مجموعة من لوحات شبكة دعم المحفز الموصوفة مسبقاً تتضمن شبكة أسلاك مباشرةً برقاقة أنبوب المدخل بالمرحلة الأولى. يتم تحميل كل الأنابيب المتصلة بعد ذلك كما يلي، بدءً من قبل (مدخل) نهاية الأنبوب:

- ٢٥٠ مم (١٠ بوصة) من ¼ في ولجية كريات خزفية EnviroStone 66 بقطر (٦ مم)
- ٧٣٠ مم (٢٩ بوصة) محفز ACF7-L (اسطواني كبير)
- ٢٧٧٠ مم (١٠٩ بوصة) من محفز ACF7-S (اسطواني صغير)
- وليجة حث اضطراب ملفوفة بطول ٢١٠٠ مم (٨٣ بوصة)

يؤدي تتابع التحميل هذا إلى شحنة من ١,٠٤٢ كجم من إجمالي محفز ACF7 (جسيمان بحجم كبير + صغير) في كل أنبوب مرحلة التفاعل الأولى. يكون زمن احتجاز غاز المعالجة من خلال مبادل الحرارة البيني حوالي ٠,٩٤ ثانية.

تخرج غازات المعالجة من مبادل الحرارة البيني عند درجة حرارة لا تزيد عن حوالي ٢٨٠° درجة مئوية (٥٣٦° درجة فهرنهيت) وبعد ذلك يمر من خلال المنطقة البينية المفتوحة. يمكن أن تمر مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant الاختيارية ٨٣٥، مثل الهواء أو الغازات الأخرى التي تحتوي على أكسجين oxygen، من خلال مبادل حرارة اختياري ٨٣٦ وبعد ذلك الإضافة إلى المنطقة البينية المفتوحة؛ في تلك الحالات، يمكن استخدام أجهزة الخلط الاختيارية، مثل على سبيل المثال خلاط دوامي من النوع الموصوف مسبقاً في هذه الوثيقة والموضحة أيضاً في الشكل ٦، للمجانسة بشكل أمن خليط غاز المعالجة ومادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant. في ذلك التجسيد الخاص، مع ذلك، لا يتم إضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant إلى المنطقة البينية المفتوحة.

تكون المنطقة البينية المفتوحة بطور ٢،١٠٠ مم (٦,٩ قدم) وتكون محملة بكريات وليجة بقطر كافي ٣٨ مم (١,٥ بوصة) EnviroStone 66 كريات الوليجة لشغل حوالي ٩٠٪ من الحجم داخل المنطقة البينية المفتوحة، بالتالي توفير طبقة من كريات خزفية بعمق متوسط فوق ١،٨٩٥ مم (٦,٢ قدم) وأكثر من ٤،١٨٠ م^{٢} (أكثر من ٤٥،٠٠٠ قدم مربع) بمساحة سطح لإزالة مواد ملوثة. على نحو إضافي، يكون زمن احتجاز المرحلة البينية (أزمنة احتجاز ISHX والمنطقة البينية المفتوحة المجمعة)، كما تم قياسه عند الظروف المرجعية ٢٤٠° درجة مئوية و٣٠ رطل لكل بوصة مربعة مطلق (٢ جوي)، حوالي ٢,٢ ثانية، أي، أقل من ٣ ثواني زمن الاحتجاز.

تمر غازات المعالجة بعد ذلك في مرحلة التفاعل الثانية، الموضوعة في الجزء العلوي من المفاعل. يكون لمرحلة التفاعل الثانية طول ٣،٤٠٥ مم (١١,٢ قدم). يكون لمرحلة التفاعل الثانية عدد أنابيب، قطر أنبوب داخلي، وإطار أنبوب مساوي لذلك بمرحلة التفاعل الأولى، بالتالي تتضمن أيضاً ما يزيد عن ٣٣،٠٠٠ أنبوب صلب كربوني carbon steel خالي من الشقوق بقطر داخلي ٢٥,٤ مم، مجهز على نموذج مثلث ذو ٦٠ درجة. ولحفظ المحفز داخل تلك الأنابيب، يتم ربط مجموعة من لوحات شبكة دعم المحفز الموصوفة مسبقاً تتضمن شبكة أسلاك مباشرةً برقاقة أنبوبة مدخل المرحلة الثانية. يتم وضع كل من تلك الأنابيب كما يلي، بدءً من قبل (مدخل) نهاية الأنبوب:

- وليجة ملفوفة معدلة ٣٠٥ مم (١٢ بوصة) طول إجمالي، تتضمن ٢٥,٤ مم (١ بوصة) نابض احتجاز مخروطي طويل مرتبط بالنهاية العليا لوليجة حث اضطراب ملفوفة بطول ٢٨٠ مم (١١ بوصة)
  - ٦٤٠ مم (٢٥ بوصة) من محفز ACS7-L (كرية كبيرة)
  - ٢٢٦٠ مم (٨٩ بوصة) من محفز ACS7-S (كرية صغيرة)
  - ٢٠٠ مم (٧,٩ بوصة) من ¼ ولجية كريات خزفية EnviroStone 66 بقطر (٦ مم)

يؤدي تتابع التحميل هذا إلى شحنة من ١,٤١٧ كجم من إجمالي محفز ACS7 (جسيمان بحجم كبير + صغير) في كل أنبوب مرحلة التفاعل الثانية، وتوفر ١,٣٦ نسبة كتلة محفز كلية للمفاعل.

يمكن تبريد جميع مناطق المفاعل الأولية الثلاثة (مرحلة التفاعل الأولى، مبادل الحرارة البيني، ومرحلة التفاعل الثانية) بواسطة أنظمة تدوير مادة تبريد بجانب الغلاف، مستقلة عنها. يمكن استخدام واحد أو أكثر من أملاح Dowtherm™، Syltherm™، أو HITEC® كوسط تبريد؛ في ذلك التجسيد الخاص، يتم استخدام ملح تبريد HITEC® مصهور. بالرغم من عدم العرض بشكل خاص في الشكل، يشتمل كل من أنظمة تدوير مادة التبريد هذه على مكونات أخرى، مثل على سبيل المثال مضخات، صمامات تحكم بتدفق مادة تبريد، ومراجعل بخارية، وتعمل في تصميم تدوير مشترك التيار، مما يعني أن، بالنسبة لكل منطقة مفاعل، تيار ملح التبريد يدخل الجزء السفلي من المنطقة ويخرج تيار من ملح دافئ من الجزء العلوي من المناطق.

يخرج غاز المنتج الذي يتضمن حمض أكريليك acrylic acid ٨٠١ من قمة المفاعل ويتم تبريده في مبادل الحرارة غير المباشر ٨٣٢ إلى درجة حرارة حوالي ٢٢٥° درجة مئوية (٤٣٧° درجة فهرنهيت). يمكن أن يشتمل مبادل الحرارة غير المباشر ٨٣٢ على واحدة أو أكثر من معدة نقل الحرارة، تتضمن بدون حصر مبادلات حرارة بغلاف وأنبوب، أنابيب ذات غلاف، مبادلات حرارة ذات لوحة (PHE's)، مبادلات حرارة بأنبوب ملفوف، ومبادلات حرارة حلزونية. في ذلك التجسيد، يكون مبادل الحرارة ٨٣٢ عبارة عن مبادل حرارة بغلاف وأنبوب. في تجسيد بديل، يتم إزالة مبادل الحرارة غير المباشر ٨٣٢ ويشتمل مفاعل SSOI على مبرد خروج مدمج (غير موضح)، موضوع بين رقاقة أنبوب المخرج (العلوي) بمرحلة التفاعل الثانية ورأس مفاعل المخرج. يكون مبرد الخروج المدمج هذا مشابه في التصميم لمبادل الحرارة البيني، الذي به أنابيب حيث تكون متصلة بشكل متحد المحور مع أنابيب مرحلة التفاعل الثانية، تدوير مادة تبريد مستقل، ووليجات حث اضطراب بكسر فراغ عالي داخل كل أنبوب.

يدخل غاز المنتج المبرّد بعد ذلك في الجزء السفلي من عمود إزالة الماء ٨١٠، الذي يتصل مباشرةً بواسطة رشاش سائل بالتدوير. يتم إزالة تيار مواد قاع إزالة الماء السائل ٨١٦ من قاع العمود ٨١٠ ويتم نقل جزء من التيار (٨٢٠) إلى مرجل ٨١٢، حيث يمكن أن تشتمل على واحدة أو أكثر من مثعبات حرارية أو مراجل من نوع التدوير المدفوع. يتم بعد ذلك إمداد التيار المسخّن (عن طريق خط نقل ٨١١) إلى معدة الرش داخل الجزء السفلي من عمود إزالة الماء ٨١٠؛ يكون تصميم عمود إزالة الماء هذا معروفاً في هذه الوثيقة بخطوة "إخماد مدمجة". في تجسيد بديل، يتم تنفيذ خطوة إخماد تلامس السائل هذا في واحدة أو أكثر من الأوعية (غير موضحة) مباشرةً قبل عمود إزالة الماء ٨١٠؛ يتم الإشارة إلى ذلك التجسيد البديل بخطوة "إخماد منظمة".

في تجسيد الشكل ٨، التلامس التالي مع الرذاذ السائل داخل عمود إزالة الماء، بعد ذلك يمر غاز المعالجة المخمّد لأعلى من خلال سلسلة من مكونات مرحلة الفصل، مثل، على سبيل المثال، واحدة أو أكثر من أطباق النخل، أطباق مزدوجة التدفق، أطباق بغطاء فقاعي، تعبئة ملء الفراغ، أطباق ذات صمام، وتعبئة هيكلية، لفصل حمض أكريليك acrylic acid عن ملوثات النهايات الخفيفة. يخرج تيار غاز معالجة وسيط، يتضمن بخار ماء steam وغازات غير قابلة للتكثيف، مثل، على سبيل المثال، نيتروجين nitrogen، ثاني أكسيد الكربون carbon dioxide ،

بروبان propane، وبروبيلين propylene غير متفاعل، من قمة العمود ٨١٠ ويمر من خلال المكثف ٨١٣، مما يولد ناتج التكثيف ٨٠٧ حيث يتم إعادة إرجاعه في العمود ٨١٠، وتيار بخار steam عمود إزالة ماء علوي ٨٠٢ يتضمن بخار ماء steam وغازات غير قابلة للتكثيف. في أحد التجسيدات، يشتمل تيار بخار steam عمود إزالة ماء علوي ٨٠٢ على أقل من ٢٥ ٪ مول من بخار ماء steam. في أحد التجسيدات، يشتمل التيار ٨٠٢ على حوالي ٨٠٪ نيتروجين nitrogen ولا تزيد عن ٥٪ مجمعة من CO_2 و CO. يتم تقسيم تيار بخار steam عمود إزالة ماء علوي ٨٠٢ في جزئين، تيار غاز تدوير ٨١٤ وتيار تطهير ٨١٥. يكون لتيار غاز التدوير ٨١٤ معدل تدفق كتلة بين ٥ و٥٠٪ من تيار بخار steam معدل تدفق كتلة علوي ٨٠٢، مثل، على سبيل المثال، بين ١٠ و٤٠٪ من تيار بخار علوي ٨٠٢، أو بين ١٥ و٣٥٪ تيار بخار علوي ٨٠٢. يتم إعادة تيار غاز التدوير ٨١٤ إلى مفاعل SSOI ٨٣٠. اختيارياً، يمكن معالجة تيار غاز التدوير ٨١٤ في واحدة أو أكثر من خطوات التهيئة، مثل على سبيل المثال ترشيح، إتلاف، تسخين مسبق، وضغط (غير موضحة) قبل الإعادة إلى المفاعل ٨٣٠. إذا تم استخدام الضواغط، يفضل واحد على الأقل من الضواغط المذكورة من النوع المختار من القائمة التي تتضمن منافخ (معروفة أيضاً في الفن على هيئة ضواغط شعاعية أو ضواغط بالطرد المركزي)، ضواغط برغية خالية من الزيت، وضواغط إخراج نفث السائل. في أحد التجسيدات، يتم مزج تيار غاز التدوير ٨١٤ أولاً مع هواء المعالجة وبعد ذلك معالجته في ضاغط طرد مركزي قبل إعادته إلى مفاعل SSOI ٨٣٠. في أحد التجسيدات على الأقل، يتم حفظ الأسطح الداخلية لخطوط العملية التي يتدفق خلالها تيار غاز التدوير ٨١٤ عند درجة حرارة لا تقل عن حوالي ٩٠° درجة مئوية، وفوق نقطة تندي الماء، لمنع تكثيف بخار الماء steam بها. يمكن نفث تيار التطهير ٨١٥ أو، في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن معالجته أيضاً، على سبيل المثال، في واحدة أو أكثر من وحدة احتراق حفزي (CCU)، وحدة أكسدة حرارية، ونظام استخراج حرارة مبددة (غير موضحة).

يتم إمداد التيار ٨٠٣، جزء من تيار مواد قاع إزالة الماء السائل ٨١٦ غير المنقول إلى مرجل ٨١٢، إلى عمود التشكيل النهائي ٨١٧. يعمل عمود التشكيل النهائي ٨١٧ عند ضغط تحت الضغط الجوي ويشتمل على سلسلة من مكونات مرحلة الفصل، مثل، على سبيل المثال، واحدة أو أكثر من أطباق النخل، أطباق مزدوجة التدفق، أطباق بغطاء فقاعي، تعبئة ملء الفراغ، أطباق ذات صمام، وتعبئة هيكلية، لفصل حمض أكريليك acrylic acid عن ملوثات المواد النهائية

النقيلة وإنتاج تيار منتج حمض أكريليك acrylic acid مسحوب من الجانب ٨٠٥. يشتمل تيار حمض أكريليك acrylic acid مسحوب من الجانب ٨٠٥ على الأقل على ٩٩,٥٪ حمض أكريليك acrylic acid بالوزن، أقل من ٠,١٥٪ الماء، وأقل من ٠,٠٧٥٪ حمض أسيتيك acetic acid؛ بالتالي يحقق التيار مواصفات نقاء لـ "حمض أكريليك acrylic acid بدرجة فنية" ويمكن استخدامه بدون تنقية إضافية لذلك الغرض. اختيارياً، يمكن معالجة تيار منتج حمض أكريليك acrylic acid مسحوب من الجانب ٨٠٥ أيضاً في عملية بلورة مصهور (غير موضحة) للحصول على حمض أكريليك acrylic acid بنقاء أعلى أيضاً.

بصفة عامة، يتم تدوير مواد إعادة تدوير القاع ٨٠٩، التي تتضمن مواد نهائية ثقيلة، مثل على سبيل المثال حمض أكريليك acrylic acid دايمير، من خلال مرجل ٨١٨، حيث يمكن أن تشتمل على واحدة أو أكثر من مثعب حراري أو مراجل من نوع التدوير المدفوع، والإعادة إلى الجزء السفلي من عمود التشكيل النهائي. يتم نقل جزء على الأقل من مواد إعادة تدوير القاع ٨٠٩ إلى عملية إستر ester (عن طريق تيار منتج بدرجة إستر ester ٨٠٦)، مثل على سبيل المثال عملية إنتاج بيوتيل أكريلات butyl acrylate، تتضمن وحدة تكسير دايمير. في أحد التجسيدات، تكون نسبة التدفق الكتلية لتيار منتج بدرجة إستر ester ٨٠٦ إلى تيار منتج حمض أكريليك acrylic acid مسحوب من الجانب ٨٠٥ لا تزيد عن ١,٥. في تجسيد آخر، تكون نسبة التدفق الكتلية لتيار منتج بدرجة إستر ester ٨٠٦ إلى تيار منتج حمض أكريليك acrylic acid مسحوب من الجانب ٨٠٥ لا تزيد عن ١,٠. اختيارياً، يتم إعادة تدوير جزء من مواد إعادة تدوير القاع ٨٠٩ إلى قمة عمود التشكيل النهائي لخفض استهلاك مثبط البلمرة. يتم إمرار تيار عمود التشكيل النهائي العلوي ٨٠٨ من خلال مكثف إجمالي ٨١٩؛ لا يتم إرجاع أي ناتج تكثيف سائل ناتج إلى العمود ٨١٧؛ بدلاً من ذلك، يتم تجميع كل تيار ناتج تكثيف من عمود التشكيل النهائي ٨٠٤ مع التيار ٨٢٠ وإعادته إلى معدة الرش داخل الجزء السفلي من عمود إزالة الماء ٨١٠.

يكون من المفهوم أن عدد كبير من السمات والتفاصيل الإضافية المعروفة، مثل استخدام التتبع، العزل، معدة العز، تجهيزات، مرشحات مباشرة، مقترنات حرارية متعددة النقاط، معدة أمان، معدة استخراج طاقة، مانع الرش وجهاز توزيع، ومواد خاصة للبناء، بالإضافة إلى إضافة مثبطات البلمرة، غاز يحتوي على أكسجين oxygen، مضادات التلوث، وموانع التآكل عند نقاط معينة داخل

العملية، يمكن تضمينها أيضاً في تصميم العملية هذا بدون الإنقاص من مجال تجسيد الاختراع الحالي.

في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن استخدام وسائل لخفض ضغط التشغيل داخل مرحلة التفاعل الثانية. يمكن استخدام تلك الوسائل بشكل مستقل، ولكن أيضاً استخدامها في توليفة مع واحدة أو أكثر من سمات التصميم، مثل الاستخدام المذكور أنفاً للأنابيب ذات الأقطار الداخلية الأكبر من ٢٢,٣ مم. في أحد التجسيدات، يمكن استخدام رأس مفاعل مخرج مخروطي (كما هو ممثل في الشكل ٥ بواسطة المكون ٥٨٠)، بدلاً من رأس مقبب أو بيضاوي، لخفض فقد ضغط التدفق المضطرب عند مخرج المفاعل.

في تجسيد آخر (انظر الشكل ٨)، يمكن استخدام ماسورة خروج بقطر كبير ٨٠١ لنقل غاز منتج مفاعل (معروف أيضاً بـ "غاز تفاعل") بين مخرج المفاعل وقبل معدة التجميع والتنقية، مثل على سبيل المثال، برج إزالة الماء ٨١٠، حتى يتم تقليص الضغط داخل مفاعل SSOI ٨٣٠. على النحو المستخدم في هذه الوثيقة، يشير التعبير "ماسورة خروج بقطر كبير" إلى مواسير مخرج بقطر كافي لتحقيق نسبة قطر مخرج، K_O، تبلغ ٠,٠٨ أو أكثر. يتم تعريف نسبة قطر المخرج، K_O، هنا بنسبة قطر مواسير المخرج (D_P) إلى قطر رأس مفاعل المخرج (D_R) – وعليه، $K_O = D_P / D_R$. على سبيل المثال، بالنسبة لتجسيد المفاعل من الشكل ١، الذي له رأس مخرج مفاعل بقطر ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم)، يمكن عدم اعتبار ماسورة خروج بقطر ٣٠٥ مم (١٢ بوصة) "ماسورة خروج بقطر كبير"، لأن K_O = ٠,٠٥٥. لذلك، بالنسبة لتجسيد حيث يكون قطر رأس مفاعل المخرج هو ٥،٥١٧ مم (١٨,١ قدم)، يمكن أن تكون مواسير المخرج من مخرج المفاعل إلى عمود إزالة الماء على الأقل ٤٥٧ مم (١٨ بوصة) في القطر (K = ٠,٠٨٣)، مثل، على سبيل المثال، على الأقل ٦١٠ مم (٢٤ بوصة) في القطر (K = ٠,١١١)، على الأقل ٧٦٢ مم (٣٠ بوصة) في القطر (K = ٠,١٣٨)، أو على الأقل ٩١٤ مم (٣٦ بوصة) في القطر (K = ٠,١٦٦). يمكن تنفيذ احتسابات مشابهة بالطبع بواسطة أحد ذوي المهارة العادية، بافتراض فائدة ذلك الكشف، لتحديد الأبعاد الملائمة لـ "ماسورة خروج بقطر كبير" أخرى لقطر رأس مخرج مفاعل معروف.

في بعض التجسيدات، يتم وضع مبادل حرارة اختياري، يشار له في هذه الوثيقة بـ "مبرّد مخرج R2" بعد مخرج المفاعل لتعديل درجة حرارة غاز المنتج قبل نقله إلى بعد معدة التجميع، مثل

وسيلة امتصاص مائية أو برج إزالة الماء. تم عرض تصميمات نوع الغلاف والأنبوب أيضاً في الفن السابق للاستخدام في خدمة مبرّد مخرج R2 (انظر على سبيل المثال براءة الاختراع الأمريكية رقم U.S. 7,038,079) و، إذا تم استخدامه، يمكن تصميمه لتقليص هبوط ضغط جانب غاز المعالجة. على نحو إضافي، بما أن تكوّن الأوساخ بمبرّد خروج R2 من النوع ذو غلاف وأنبوب الاختياري يكون مألوفاً، في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن تكوين جانب غاز المعالجة بمبرّد المخرج R2 من مواد مقاومة لتكوّن الأوساخ، مثل على سبيل المثال مونيل أو معادن تحتوي على نحاس copper أخرى (انظر على سبيل المثال، براءة الاختراع الأمريكية رقم ٧٩٠٦٦٧٩، تم تضمينها هنا كمرجع). يمكن أن تكون سمات التصميم العامة، مثل خطوط عملية الانحدار وأنابيب مبادل الحرارة الموجهة رأسياً أيضاً مفيدة في مقاومة تراكم المواد الملوثة. يمكن أن يكون استخدام مثبطات الطور السائل أو الطور البخاري ومضادات الملوثات مفيداً أيضاً. في النهاية، تضمين مصارف نقطة سفلية ومراقبة مستمرة لأسطح مبادل جانب غاز المعالجة لتكوّن الأوساخ، بالترافق مع الإزالة السريعة لأي تراكمات معرفة أثناء المراقبة المذكورة، يمكن المساعدة في تقليص زيادات هبوط الضغط عبر المبادل والمساعدة في حفظ ضغط التشغيل قبل مرحلة التفاعل الثانية من الارتفاع.

يتمثل بديل لمبرّد خروج R2 من النوع ذو غلاف وأنبوب المذكور أنفاً في مبادل حرارة بهبوط ضغط منخفض، بتلامس السائل، معروف أيضاً بـ "مبرّد بالرش"، حيث يتم وصفه في براءة الاختراع الأمريكية رقم U.S. 8,242,308 (انظر، على سبيل المثال، الشكل ٢) وتم تضمين محتوياتها في هذه الوثيقة كمرجع. في بعض التجسيدات، يمكن استخدام كلاً من مبرّد خروج R2 من النوع ذو غلاف وأنبوب ومبرّد رش؛ إذا تم استخدام كلا نوعي المبادل في توليفة مع مفاعل SSOI للاختراع الحالي، في أحد التجسيدات على الأقل، يمكن وضع مبادل حرارة تلامس السائل بعد مبرد مخرج R2 من النوع ذو غلاف وأنبوب.

<u>الأمثلة</u>

<u>المثال ١</u> – تجارب تكسير الفحم

تم النص في الفن أنه يمكن استخدام الطرق الخاصة لـ "تكسير فحم" و/ أو "إعادة توليد " محفزات MMO، بالتالي تحسين تحولها وانتقائيتها. تشتمل الطرق العامة على استخدام فترات

المعالجة المختصرة ١٢ ساعة أو أكثر حيث بها يتم إخراج المفاعل من الإنتاج ويتم تعريض محفزات MMO للهواء، أو توليفة من البخار steam والهواء، في الموقع. وفقاً للفن، يمكن توقع تلك المعالجات لتحسين حالات أكسدة محفزات MMO، إزالة الرواسب الكربونية (عن طريق أكسدتها)، وخفض هبوط الضغط بجانب المعالجة عبر المفاعل، بالتالي تحسين الكفاءة (انظر على سبيل المثال، العمود ٧، السطور ٣٣ – ٦٧، براءة الاختراع الأمريكية رقم 7,897,813). تم تنفيذ المثال ١ لتحديد إذا كان استخدام طرق المعالجة يمكن أن يوفر منافع عند التطبيق على مفاعل SSOI وفقاً للاختراع الحالي.

ولتنفيذ ذلك الاختبار، تم تحميل مفاعل SSOI الموصوف مسبقاً الممثل في الأشكال ١أ، ١ب و١ج باستخدام محفزات تجارية جديدة. في ذلك المثال الخاص، تم اختيار محفزات ACF-7 و ACS-7 للاستخدام في مفاعل SSOI المبتكر.

تم شحن كل أنبوب بمرحلة التفاعل الأولى ١١٠ باستخدام محفز ACF-7. بدءً من دخول الأنبوب عند رقاقة أنبوب المدخل R1، تم تحميل أنابيب مرحلة التفاعل الأولى (١١٥ أ، ب، ج) كما يلي: حوالي ٢٦٧ مم من كريات الوليجة، ٩٠٥ مم محفز ACF-7L، و٣٤٤٥ مم محفز ACF-7S. يؤدي ذلك إلى كتلة إجمالية (ACF-7S + ACF-7L) من ١,٢٩٥ كجم/ أنبوب من محفز المرحلة الأولى.

تم إشغال باقي ٢،٠٥٧ مم قطعة أنبوب طويلة (١٣٥ أ، ب، ج)، حيث تمر من خلال مبادل الحرارة البيني المدمج ١٣٠، بواسطة طبقة انتقالية قصيرة (٢٥–٥٠ مم عمق) من حلقات كربيد سيليكون silicon carbide خامل ١٦/٥" (٨ مم) حلقات كربيد سيليكون silicon carbide (متوفرة من Norton Chemical Process Products Corp, Akron OH, USA)، ترتكز على قمة وليجة ملفوفة معدلة. كما تم وصفه مسبقاً، تتضمن تلك الوليجة الملفوفة المعدلة محفز مخروطي بطول ٢٥,٤ مم (١ بوصة) يحتجز نابض (انظر الشكل ١د) ملحوم بالنهاية العليا بأحد الوليجات الملفوفة الطويلة الموصوفة مسبقاً ٢،٠٣٢ مم (٨٠ بوصة). يكون للنابض المخروطي قطر خارجي علوي، d_{TS}، ٦,١ مم (٠,٢٤١") وقطر خارجي سفلي، d_{BS} يبلغ ١٩,١ مم (٠,٧٥") – مساوي للقطر الفعّال للوليجة الملفوفة. تم تصنيع المحفز المخروطي يحتجز نابض من أحد عشر ملف متباعد بشكل منتظم من سلك صلب مقاوم للصدأ بقطر ١,٤٧ مم (٠,٠٥٨ بوصة) لتشكيل نابض مخروطي بارتفاع كلي (h_s) يبلغ ٢٥,٤ مم (١ بوصة) وملف بتباعد ضيق كافي لمنع

حلقات كربيد السيليكون silicon carbide من المرور خلالها. بالتالي، عن طريق ربط المحفز المخروطي يحتجز نابض بنهاية الوليجة الملفوفة، يتم حفظ طبقة انتقالية من الحلقات بين ٢٥,٤ مم و ٥١ مم في الارتفاع في موضع يسبق مباشرةً الوليجة الملفوفة. تكون تلك الطبقة الانتقالية بدورها مدعومة قبل محفز ACF-7S، لتحفظها داخل قطاع التفاعل بالمرحلة الأولى وتمنعها من إشغال النهايات السفلية للأنابيب (١٣٥ أ، ب، ج) داخل مبادل الحرارة البيني. تم حفظ الوليجات الملفوفة داخل مبادل الحرارة البيني نفسها في أنابيب ISHX باستخدام لوحات شبكة دعم المحفز الموصوفة مسبقاً تتضمن شبكة أسلاك.

تم تحميل المنطقة البينية المفتوحة ١٥٠ باستخدام كريات خزفية EnviroStone66 بقطر كافي ١,٥ لملأ تقريباً ٩٣٪ من الحجم المرحلة البينية المتوفر. يتم تحميل تلك الكريات عن طريق صبها في المفاعل وتركها للتجميع الذاتي في طبقة باستخدام كسر فراغ حوالي ٤٠٪. كما هو مذكور مسبقاً، وينتج ذلك حوالي ٤،٤٠٠ م^{٢} (٤٧،٥٠٠ قدم مربع) بمساحة سطح لإزالة مواد ملوثة.

تم شحن كل أنبوب بمرحلة التفاعل الثانية ١٦٠ باستخدام محفز ACS-7. بدءً من دخول الأنبوب عند رقاقة أنبوب مدخل R2، تم تحميل أنابيب مرحلة التفاعل الثانية (١٦٥ أ، ب، ج) كما يلي: ٢٠٠ مم من كريات الوليجة، ٨٠٠ مم من محفز ACS-7L، و ٣٥٠٠ مم من محفز ACS-7S. يؤدي ذلك إلى إجمالي كتلة (ACS-7S + ACS-7L) تبلغ ٢,١٢٢ كجم/ أنبوب من محفز المرحلة الثانية ونسبة كتلة محفز ١,٦٤ R2: R1. يتم حفظ محفز مرحلة التفاعل الثانية (R2) في أنابيب المفاعل باستخدام لوحات شبكة دعم المحفز الموصوفة مسبقاً تتضمن شبكة أسلاك.

يتم تشغيل مفاعل SSOI لذلك المثال على مدة طويلة باستخدام تركيز تغذية بروبيلين propylene مستهدف من بين ٦,٥٪ و ٧,١٪ بالحجم، تركيز تغذية متوسط من ١٣,٦٪ بالحجم أكسجين oxygen، تركيز تغذية متوسط من ٢٧,٧٪ بالحجم من الماء، وتكون الغازات الخاملة عبارة عن غازات خاملة تتضمن نيتروجين nitrogen.

بعد ٤،٧٧٦ ساعة منقضية من التشغيل، يتم إخراج المفاعل من الخط لتنفيذ الاختبار الأول لـ "تكسير الفحم" أو طريقة معالجة "بإعادة التوليد". تتكون المعالجة من إمداد الهواء فقط إلى المفاعل بمعدل تدفق ١٣،١٧٠ م^{٣}/ ساعة (٤٦٥ MSCFH) ودرجة حرارة ٢٢٤° درجة مئوية (٤٣٥° درجة فهرنهيت). يتم رفع تدريجياً درجة حرارة إمداد الملح R1 (T_{R1salt}) على مدار مدة

حوالي ٩ ساعات إلى حد أقصى ٣٤٧° درجة مئوية (٦٥٧° درجة فهرنهيت) والحفظ عند نفس درجة الحرارة لمدة ٢١ ساعة. أثناء تلك الفترة تم حفظ درجة حرارة إمداد الملح R2 (T_{R2salt}) عند ٢٨٥° درجة مئوية (٥٤٥° درجة فهرنهيت) لحماية محفز R2 من التسخين الزائد. أثناء إجمالي مدة إعادة توليد ٣٠ ساعة إجمالية، تمت الإشارة إلى درجات حرارة المحفز والخروج من غازات المعالجة. بشكل غير متوقع، تم كشف تكوين غير طارد للحرارة، أو أي إشارة إلى تكوين CO أو CO2، (تشير إلى أكسدة المواد الصلبة الكربونية). في الحقيقة، أثناء فترة ٢١ ساعة بحد أقصى للتسخين، يكون الاختلاف بين درجة حرارة محفز المرحلة الأولى (T_{R1cat}) ودرجة حرارة إمداد الملح بالمرحلة الأولى (T_{R1salt}) صفر إلى حدٍ كبير ($T_{R1cat} - T_{R1salt} \leq$ ٠,٣٣). عند اكتمال درجة الحرارة، يتم إعادة المفاعل إلى التشغيل المعتدل. بعد ٢٤ ساعة من التشغيل بالحالة الجاهزة، لا تتضح أي تحسينات في التحول أو الانتقائية. أيضاً، لم يتم كشف أي تغيير في هبوط درجة الحرارة عبر المفاعل. تم استنتاج أنه لا توجد إزالة لرواسب الكربون، أو أي إعادة توليد ملحوظة لمحفزات MMO من طريقة المعالجة هذه.

بعد حوالي ٣،٤٠٠ ساعة أخرى من التشغيل (٨،١٨٤ ساعة منقضية من التشغيل)، تم إخراج المفاعل من الخط لتنفيذ معالجة اختبار ثاني. تتكون المعالجة مرة أخرى من إمداد الهواء فقط إلى المفاعل بمعدل تدفق ١٣،١٧٠ م^3/ ساعة (٤٦٥ MSCFH) و ٢٢٤° درجة مئوية (٤٣٥° درجة فهرنهيت). تم حفظ درجة حرارة إمداد الملح R1 (T_{R1salt}) بين ٣٥٠° درجة مئوية (٦٦٢° درجة فهرنهيت) و ٣٦٥° درجة مئوية (٦٩٠° درجة فهرنهيت) وتم حفظ درجة حرارة إمداد الملح R2 (T_{R2salt}) عند ٣٠٠° درجة مئوية (٥٧٢° درجة فهرنهيت) لحماية محفز R2 من التسخين الزائد. أثناء فترة معالجة ٢١ ساعة، لا يوجد أي إشارة إلى توليد CO أو CO_2، أو أي إشارة إلى تفاعلات طاردة للحرارة. تم إعادة المفاعل إلى التشغيل المعتدل. بعد ٢٤ ساعة، لا تتضح أي تحسينات في التحويل أو الانتقائية. أيضاً، لم يتم كشف أي تغيير في الهبوط بالضغط عبر المفاعل. ويتم استنتاج أنه لا توجد أي إزالة للرواسب الكربونية، ولا أي إعادة توليد ملحوظة لمحفزات MMO من طريقة المعالجة هذه.

يتم إعادة معالجة الهواء فقط أربع مرات أكثر لتحديد إذا كان يجب تحقيق المنافع بعد مواجهة المحفز لمدة كبيرة على التيار. لا يوجد أي اختلاف بالنتائج التي تم الحصول عليها عن تلك بأول تجربتين. تم تلخيص كل اختبارات المعالجة في الجدول ١أ.

الجدول ١أ

التجربة #	الزمن على التيار (الساعات المنقضية)	النشاط	المدة (ساعات)
٠	٠	محفز بداية المفاعل المبدئي/ محفز جديد	- - - -
١	٤،٧٧٦	معالجة الهواء	٣٠
٢	٨،١٨٤	معالجة الهواء	٣٣
٣	١٣،٤٤٠	معالجة الهواء	٢١
٤	١٥،٤٨٠	معالجة الهواء	١٩
٥	١٩،٦٥٦	معالجة الهواء	١٦
٦	٢٤،٠٤٨	معالجة الهواء	٣٧,٥
٧	٢٩،١١٢	إيقاف المفاعل/ استبدال المحفز	- - - -

تم تلخيص بيانات قياس الضغط الإضافية للمفاعل في الجدول ١ب. يقارب ذلك الجدول قيم الضغط داخل المفاعل من الفترة قبل تنفيذ أي معالجات إعادة توليد بقيم الضغط داخل المفاعل من الفترة بعد اكتمال جميع معالجات إعادة التوليد. يشتمل الجدول على بيانات من ظروف معدلي تدفق مكافئين جوهريين أثناء كل فترة.

الجدول ١ب

متوسط تدفق البروبين	إجمالي تدفق غاز المعالجة	*الفترة الزمنية المستخدمة لاحتساب متوسط القيم* نطاق الزمن على التيار	متوسط قيم الضغط بار			
			مدخل R1	مرحلة	مخرج R2	**dP**

م^3/ ساعة	م^3/ ساعة	ساعات البداية	ساعات النهاية		بينية		داخل-خارج
قبل التجربة #١ (المعالجة الأولى)							
٤،١٣	٦٣،٤٢			٢,٢	١,٨		
٢	٧	٦٠	٧٢	٣	٧	١,٢٢	١,٠١
٢،٨٢	٤٣،٠٥			١,٨	١,٥		
٢	٤	٣،٥٧٦	٣،٦٠٠	٠	٣	١,١٨	٠,٦٢
بعد التجربة #٦ (المعالجة الأخيرة)							
٤،٠٨	٥٧،٣٤	٢٥،٣٨	٢٥،٣٩	٢,٢	١,٨		
٧	١	٠	٢	٤	٥	١,٢٦	٠,٩٨
٢،٩٠	٤١،٩٣	٢٨،٦٣	٢٨،٦٥	١,٧	١,٥		
٢	٨	٢	٦	٩	٥	١,١٨	٠,٦١

يتضح من تلك التجارب الاختبارية أنه، بالنسبة لمفاعل SSOI من الاختراع الحالي، لا تنتج تحسينات بالكفاءة من "تكسير الفحم" أو معالجات "إعادة توليد". ويؤدي ذلك إلى فرضية مدهشة أن تلك المعالجات توفّر منافع باستخدام تصميمات المفاعل الأخرى، مثل Tandem ومفاعلات SRS. بدون التقييد بنظرية، يتم افتراض أن سبب عدم رؤية الإشارة إلى إزالة الرواسب الكربونية هو أن تصميم مفاعل SSOI المبتكر يمنع بشكل فعّال تكوين تلك الرواسب الكربونية. يتم دعم ذلك الاستنتاج بواسطة سمة ضغط المفاعل غير المتغيرة جوهرياً (الجدول ١ب) فوق فترة تشغيل منقضية أكثر من ٢٨،٠٠٠ ساعة؛ إذا تراكمت الرواسب بشكل كبير، يمكن توقع أن هبوط الضغط عبر مفاعل SSOI يمكن أن يزيد بشكل كبير على مدار فترة تشغيل طويلة. في النهاية، عند إخراج المفاعل من الخط لاستبدال المحفز، يتم فحص الحيز الداخلي للمفاعل ولم يتم الحصول على أي رواسب كربونية ملحوظة داخل مبادل الحرارة البيني أو المنطقة البينية المفتوحة. بالتالي، يعمل تصميم مفاعل SSOI من الاختراع الحالي بوضوح أفضل من تصميمات المفاعل وفقاً للفن السابق، مثل على سبيل المثال المفاعل براءة الاختراع الأمريكية رقم U.S. 7,897,813.

المثال ٢ – زمن الاحتجاز OIS + ISHX

يكون تجسيد المفاعل الموصوف سابقاً من الشكل ١ بعدد ٢٢،٠٠٠ أنبوب وسعة لوحة ١٠٠ kTA من حمض أكريليك acrylic acid. يكون من المرغوب فيه تحديد زمن احتجاز المرحلة البينية، بالإضافة إلى زمن احتجاز تدفق غاز المعالجة من خلال أنابيب مبادل الحرارة البيني (زمن احتجاز ISHX) بمعدلات تشغيل محددة.

تم تصميم المفاعل للتشغيل بمعدل تغذية بروبيلين propylene ١٩،٤٠٠ pph (٨،٧٩٩ كجم/ ساعة)، نسبة حجمية O_2: بروبيلين propylene تبلغ ١,٨، ونسبة حجم بخار: بروبيلين propylene تبلغ ٣,٦. كما تم قياسه عند الظروف المرجعية ٢٤٠° درجة مئوية و ٣٠ رطل لكل بوصة مربعة مطلق (٢ جوي)، يكون تدفق الغاز الإجمالي من خلال منطقة المرحلة البينية حوالي ٢،٢٨٤،٣٦٠ قدم^3/ ساعة (٦٤،٦٩٤ م^3/ ساعة).

الجدول ٢أ – زمن الاحتجاز داخل أنابيب مبادل الحرارة البيني (ISHX)		
٢٢,٣ مم قطر داخلي (٠,٨٧٨ بوصة) x ٢١٠٠ مم (٦,٩ قدم) x ٢٢،٠٠٠ أنابيب؛ وليجة حث اضطراب واحدة + يحتجز نابض مخروطي مدخل في كل أنبوب		
إجمالي حجم أنابيب ISHX الفارغة	٦٣٨,٦ قدم^3	١٨,١ م^3
كسر فراغ بوليجات ملفوفة داخل أنابيب ISHX	٠,٩٢٣	
الحجم المتوفر في أنابيب ISHX، بعد خصم حجم وليجات	٥٨٩,٤ قدم^3	١٦,٧ م^3
السرعة الفراغية الفعّالة من خلال ISHX = (٢،٢٨٤،٣٦٠ قدم^3/ ساعة)/ (٥٨٩,٤ قدم^3)	٣،٨٧٦ ساعة$^{-1}$	
زمن الاحتجاز المكافئ داخل ISHX	**٠,٩٣ ثانية**	

يؤدي ذلك إلى ٠,٩٣ ثانية داخل متطلبات تصميم مفاعل SSOI المستهدف حيث لا يزيد زمن احتجاز غاز المعالجة من خلال مبادل الحرارة البيني عن ١,٥ ثانية.

الجدول ٢ب – زمن الاحتجاز داخل المنطقة البينية المفتوحة		
٢،١٠٠ مم (٦,٩ قدم) طول x ٥٥١٧ مم (١٨,١ قدم) في القطر؛ يتم تعبئة الحجم بعمق ١،٩٥٠ مم (٦,٤ قدم) باستخدام وليجة كريات خزفية EnviroStone 66 بقطر ١,٥ (= ٩٣٪ تعبئة)		
إجمالي حجم منطقة المرحلة البينية الفارغة	١٧٧٤,٥ قدم^{٣}	٥٠,٣ م^{٣}
كسر فراغ بكريات الوليجة	٠,٤٠	
الحجم المتوفر في منطقة مرحلة بينية، بعد خصم حجم كريات الوليجة	٧٨٤,٣ قدم^{٣}	٢٢,٢ م^{٣}
السرعة الفراغية الفعّالة من خلال المنطقة البينية المفتوحة = (٢،٢٨٤،٣٦٠ قدم^{٣}/ ساعة)/ (٧٨٤,٣ قدم^{٣})	٢،٩١٣ ساعة$^{-١}$	
زمن الاحتجاز المكافئ داخل المنطقة البينية المفتوحة	**١,٢٤ ثانية**	

يؤدي جمع أزمنة الاحتجاز من خلال ISHX والمنطقة البينية المفتوحة إلى زمن مجمع ٢,١٧ ثانية، حيث يتم تعريفها في هذه الوثيقة بزمن احتجاز المرحلة البينية. تتوافق النتائج مع متطلبات تصميم مفاعل SSOI المستهدف حيث لا يزيد زمن احتجاز المرحلة البينية عن ٣ ثواني.

المثال ٣ – حصيلة حمض أسيتيك acetic acid

تم استخدام نظام تفاعل بنطاق مصنع دليلي لدراسة استجابة مفاعلات الأكسدة للتغيرات في متغيرات العملية. تتضمن مرحلة التفاعل الأولى أنبوبين رأسيين ذات ٢٢,١ مم (٠,٨٧ بوصة) قطر داخلي داخل غلاف مرحلة أولى مشتركة مبرّد بتدوير الملح. يتم شحن الأنابيب في مرحلة التفاعل الأولى بطول ٤،١٩١ مم (١٣,٧٥ قدم) باستخدام محفز ACF اسطواني R1، متوفر تجارياً من Nippon Shokubai Kagaku Kogyo Co., Ltd of Japan. تشتمل مرحلة التفاعل الثانية على ثلاث أنابيب رأسية ذات ٢٢,١ مم (٠,٨٧ بوصة) قطر داخلي داخل غلاف مرحلة ثانية مشترك مبرّد بتدوير الملح. يتم شحن الأنابيب في مرحلة التفاعل الثانية بطول ٢،٧٤٣ مم (٩ قدم) باستخدام محفز ACS كروي R2، متوفر تجارياً أيضاً من Nippon Shokubai Kagaku Kogyo

Co., Ltd of Japan. تم توصيل مرحلتي التفاعل بواسطة ماسورة مرحلة بينية معزولة جيداً، مصممة لحفظ زمن الاحتجاز بين مرحلتي التفاعل عند ما لا يزيد عن ٣ ثواني. تم تصميم تدفق غاز المعالجة للدخول من قمة مرحلة التفاعل الأولى، ويتدفق لأسفل من خلال الأنابيب الرأسية، وتخرج من قاع مرحلة التفاعل الأولى؛ بعد ذلك تقوم ماسورة المرحلة البينية بشكل "S" بتوجيه تدفق غاز المعالجة إلى قمة مرحلة التفاعل الثانية، حيث تتدفق لأسفل من خلال الأنابيب الرأسية، وتخرج عند قاع مرحلة التفاعل الثانية. تم تصميم تدويرات الملح لكلاً من مرحلة التفاعل الأولى والثانية لتدفق التيار العكسي، باستخدام ملح داخل في قاع الغلاف، ويتدفق لأعلى، ويخرج من قمة الغلاف. يمكن التحكم بدرجات حرارة الإمداد لكلاً من تدوير الملح R1 وR2 بشكل مستقل.

تم استخدام نظام تفاعل بنطاق المصنع الدليلي في التجربة السابقة، بحيث أثناء تلك الدراسة، تم تشغيل المحفز R1 وR2 مسبقاً لمدة حوالي ٢،٤٥٠ ساعة.

في تلك الدراسات، تم إمداد المرحلة الأولى بالبروبيلين propylene بمعدل ٠,٣٢ كجم/ ساعة لكل أنبوب (٠,٧١ رطل/ ساعة لكل أنبوب). يكون لغاز التغذية إلى نظام التفاعل تركيز بروبيلين propylene أسمي ٦٪ بالحجم ويتم تشغيله بنسبة حجم أكسجين oxygen/ بروبيلين propylene تبلغ ٢,٠٧ +/- ٠,٠٢ ونسبة حجم ماء/ بروبيلين propylene تبلغ ٥,١٥ +/- ٠,١٠. يتم تحليل تيار غاز المنتج الخارج من مرحلة التفاعل الثانية لمحتوى البروبيلين propylene والأكرولين acrolein لتحديد التحولات. أثناء الدراسة، يتم تعديل درجة حرارة إمداد الملح R1 (T_{R1salt}) لحفظ تحويل البروبيلين propylene عند أي من ٩٥,٥٪ أو ٩٦,٥٪، بناءً على مخطط التجربة؛ يتم تعديل درجة حرارة إمداد الملح R2 (T_{R2salt}) بالمثل لحفظ تحول الأكرولين acrolein عند ٩٩,٥٪. يتم التحكم بضغط التشغيل داخل المفاعل عن طريق تعديل صمام على مخرج مرحلة التفاعل الثانية.

كما يمكن رؤيته من الشكل ٧، تمت ملاحظة في تلك التجارب أن حصيلة منتج حمض الأسيتيك acetic acid الثانوي تعتمد بشكل كبير على ضغط التشغيل داخل مرحلة التفاعل الثانية (قيمة R^2 تبلغ ٠,٩٦٧٦، توضح علاقة قوية). بما أن هدف نظام تفاعل أكسدة البروبيلين propylene هو إنتاج حمض أكريليك acrylic acid، يكون من المفضل تقليص حصيلة منتج حمض الأسيتيك acetic acid الثانوي من خلال تشغيل مرحلة التفاعل الثانية عند ضغط منخفض.

المثال ٤ – اختيار حجم الأنبوب

(أ) يدرس Section 11 of Perry's Chemical Engineers' Handbook (6^{th} ed., 1984) أن أنابيب مبادل الحرارة القياسي تتراوح من ٦,٣٥ مم (٠,٢٥ بوصة) إلى ٣٨ مم (١,٥٠ بوصة) في القطر الخارجي وأن سمك جدار أنابيب مبادل الحرارة تكون مقاسة في وحدات قياس أسلاك Birmingham (BWG). يكون وصف استخدامات تلك التقنية معروف جيداً في مجال تصميم مبادل الحرارة، ولكن يمكن أن لا يكون شائعاً لأولئك خارج المجال. على سبيل المثال، بواسطة وصف "أنبوب مبادل حرارة BWG ١ بوصة × ١٦" يقصد أنبوب بالأبعاد التالية: ٢٥,٤ مم (١ بوصة) قطر خارجي، ١,٦٥ مم (٠,٠٦٥ بوصة) سمك جدار، و ٢٢,١ مم (٠,٨٧ بوصة) قطر داخلي. بالمثل، الوصف، يشير التعبير "١,٠٦ بوصة × ١٨ BWG أنبوب مبادل حرارة " إلى أنبوب ٢٦,٩ مم (١,٠٦ بوصة) قطر خارجي، ١,٢٤ مم (٠,٠٤٩ بوصة) سمك جدار، و ٢٤,٤ مم (٠,٩٦٢ بوصة) قطر داخلي. على نحو إضافي، وصف "١,٥ بوصة × ١٣ BWG أنبوب مبادل حرارة" يقصد أنبوب ٣٨,١ مم (١,٥ بوصة) قطر خارجي، ٢,٤ مم (٠,٠٩٥ بوصة) سمك جدار، و٣٣,٣ مم (١,٣١ بوصة) قطر داخلي. بإعطاء تلك الأمثلة، سوف يتضح أن بنود الوصف غير الدقيقة المستخدمة في بعض وثائق الفن السابق، مثل على سبيل المثال المصطلح "أنبوب واحد بوصة"، يمكن أن تؤدي إلى ارتباط غير ضروري؛ ولتجنب تلك المشاكل، سوف يتم وصف الأقطار الداخلية الفعلية بالأنابيب لذلك في الأمثلة بهذه الوثيقة.

(ب) بالنسبة للموضوع العملي، يكون استخدام أنابيب مبادل حرارة أكبر من حوالي ٥١ مم (٢ بوصة) في قطر خارجي غير شائعاً جداً، بافتراض أن ذلك يمثل نمطياً حجم الأنبوب الخالي من الشقوق الأكبر المخزن بشكل روتيني بواسطة مصنعي الأنابيب (أحجام أكبر من حوالي ٥١ مم تعتبر نمطياً الطلب المألوف مع السعر المثالي والنقل الأطول).

(ج) علاوة على ذلك، تكون كريات المحفز المتوفرة تجارياً التي سيتم تحميلها في أنابيب المفاعل نمطياً بأدنى قطر من حوالي ٥ إلى ٦ مم. بالتالي يتم تقييد نطاق الأقطار الداخلية التي يمكن تخصيصها لأنابيب المفاعل بشكل فعّال بنطاق من حوالي ٧ مم إلى ما لا يزيد عن حوالي ٥٠ مم.

(د) يكون من المعروف على نطاق واسع في مجال أكسدة البروبيلين propylene أن درجات حرارة التشغيل الأعلى تعطي انتقائية أقل لحمض الأكريليك acrylic acid وزيادة متزامنة

بتوليد المنتجات الثانوية، مثل على سبيل المثال CO/CO_2 وحمض أسيتيك acetic acid. لذلك يتمثل هدف تصميم مفاعل الأكسدة في تقليص درجات حرارة التشغيل بواسطة التوازن الفعّال لمعدل إزالة الحرارة من خلال مساحة سطح جدار الأنبوب (Q_r) مقابل معدل توليد الحرارة من حجم محفز MMO داخل الأنبوب (Q_g).

سوف يدرك أولئك ذوي المهارة العادية في فن نقل الحرارة أن Q_r تعتمد على مساحة سطح الأنبوب، A، بواسطة العلاقة:

$$Q_r = UA(\Delta T)$$

وأن مساحة سطح الأنبوب يمكن احتسابها من العلاقة الهندسية:

$$A = 2\pi(r)l$$

حيث r هي نصف قطر الأنبوب و1 هي طول الأنبوب.

بالمثل، Q_g تعتمد على حجم محفز MMO داخل الأنبوب، V، التي يمكن احتسابها من العلاقة الهندسية:

$$V = \pi(r)^2 l$$

حيث r هي مرة أخرى نصف قطر الأنبوب و1 هي طول الأنبوب.

سوف يدرك أحد ذوي المهارة العادية أيضاً أنه، بالنسبة لزيادة نصف قطر الأنبوب، r، يزيد، حجم محفز MMO داخل الأنبوب (ولذلك معدل توليد الحرارة، Q_g) بسرعة أكثر بكثير من مساحة سطح الأنبوب (وبالتالي معدل إزالة الحرارة، Q_r). تؤدي تلك العلاقة [$(r)^2 > (r)$] بوضوح إلى استنتاج أن أنابيب التفاعل بالقطر الصغير، حيث تكون مساحة سطح نقل الحرارة بجدار الأنبوب (A) أكبر نسبياً من حجم المحفز داخل الأنبوب (V)، سوف تكون أكثر فعالية عند تقليص درجات حرارة التشغيل عن أنابيب التفاعل بالقطر الكبير.

(هـ) على نحو إضافي، يدرس Peters و Timmerhaus (Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 3rd ed., 1980) أن "المبادلات ذات الأنابيب بالقطر الصغير تكون أقل تكلفة لكل قدم مربع بسطح نقل الحرارة من تلك ذات أنابيب بقطر كبير، لأنه يمكن ملائمة مساحة سطح معينة في قطر غلاف أصغر..."

بالتالي، يتمثل التوافق العام لأولئك ذوي المهارة العادية في مجال تصميم مفاعل أكسدة البروبيلين propylene في استخدام المفضل للأنابيب بالقطر الصغير.

وقد اكتشف المخترعون الحاليون بشكل غير متوقع أن الالتزام بالتقنية الشائعة بالفن يعطي بالفعل نتائج عكسية. ضمن نطاق أحجام أنبوب تصل إلى حوالي ٥٠ مم، اكتشف المخترعون الحاليون بشكل غير متوقع أنه من المفضل بشكل بديل استخدام الأنابيب ذات القطر الداخلي الأكبر، بدلاً من القطر الأصغر، داخل مرحلة التفاعل الثانية بمفاعل SSOI المبتكر. بدون الرغبة بالتقيّد بنظرية، من المعتقد أن استخدام قطر الأنابيب الأكبر في مرحلة التفاعل الثانية يتيح خفض إجمالي هبوط الضغط خلال الأنبوب المحتوي على المحفز، مما يؤدي إلى خفض كبير في تكوين منتج حمض أسيتيك acetic acid (انظر الشكل ٧)، بدون تغيير إجمالي السرعة اللحظية خلال محفز MMO.

ولتوضيح ذلك التأثير، تم تحديد هبوط الضغط من خلال الأنابيب بالأقطار المختلفة باستخدام الطريقة التالية. وبالطبع من الممكن تجميع تلك البيانات بواسطة القياس المباشر، ولكن تلك الطريقة تكون مستهلكة للوقت ومكلفة، ولا تعطي بالضرورة طريقة الاحتساب التي تم الكشف عنها في هذه الوثيقة.

تم استخدام المفاعل من المثال ١، يتضمن أنابيب مرحلة التفاعل الثانية (R2) بقطر داخلي ٢٢,٣ مم وطول ٤٥٠٠ مم، لتجميع بيانات العملية المبدئية لذلك المثال. تم تشغيل المفاعل بمعدل تغذية بروبيلين propylene إجمالي ٤،٧٤٥ نيوتن م^{٣}/ ساعة (١٧٧,١ MSCFH عند ٦٠° درجة فهرنهيت/ ١ جوي) بتركيبة تغذية متوسطة: ٦,٥٪ بالحجم بروبيلين propylene، ١٣٪ بالحجم أكسجين oxygen، ٣١٪ بالحجم من الماء، وتكون الغازات الخاملة عبارة عن غازات خاملة تتضمن نيتروجين nitrogen. بواسطة القياس المباشر، تم اكتشاف ضغوط المفاعل داخل المفاعل أنها تكون:

الضغط عند مدخل R1	٢,٥ جوي	(٢٢,١ رطل لكل بوصة مربعة بالمقياس)
الضغط عند المرحلة البينية (= مدخل R2)	٢,٠ جوي	(١٥,٠ رطل لكل بوصة مربعة بالمقياس)
الضغط عند مخرج R2	١,٣ جوي	(٤,١ رطل لكل بوصة مربعة بالمقياس)

بناءً على دراسات M. Leva, et al. (Bulletin 504, Bureau of Mines, 1951)، تم تطوير علاقات هبوط الضغط من خلال جسيمات المحفز الكروية داخل أنابيب المفاعل وتكرارها من خلال دراسات معملية إضافية. بالنسبة للأنابيب بتصميم مختلف، معبأة باستخدام جسيمات محفز MMO كروية، والتشغيل تحت نفس ظروف المعالجة (التدفق، درجة الحرارة، ضغط المدخل، والتركيبة)، تم تحديد علاقة هبوط الضغط المبسّط لتكون:

$$dP = (k) (L / e^3) (1-e)^{1.1}$$

حيث

dP هي هبوط الضغط من خلال أنبوب منفرد،

K هي ثابت مرتبط بظروف العملية،

L هي طول الأنبوب، و

E هي كسر الفراغ الفعلي بين جسيمات المحفز داخل الأنبوب

بما أن كسر الفراغ (e) يعتمد على نسبة قطر الجسيم إلى قطر الأنبوب، يجب تحديده عن طريق قياس كل توليفة من قطر جسيم وحجم الأنبوب؛ وتتوافر مجموعة كبيرة من تلك البيانات في A. Dixon's Correlations for Wall and Particle Shape Effects on Fixed Bed Bulk Voidage (Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 66, October 1988, pp 705-708) وتم استخدامها لذلك المثال.

كان إجمالي حجم مفاعل ذو ٢٢،٠٠٠ أنبوب بأبعاد ٢٢,٣ مم قطر داخلي و ٤٥٠٠ مم طول هو ٣٨,٦٥ م^3. بالنسبة لكل قطر أنبوب بديل مستخدم في المثال، تم حفظ إجمالي الحجم هذا ثابتاً وتم تجميع طول الأنبوب الناتج (L)، كما هو معروف في الجدول ٤. ثم تم تحديد كسور الفراغ وهبوط الضغط لكل حجم أنبوب. في النهاية، تم تجميع تلك القيم مع البيانات التجريبية من المثال ٣ للحصول على النتائج الملخصة في الجدول ٤ أدناه:

الجدول ٤

Tube I.D.		L	e	k	dP (رطل لكل بوصة مربعة)	٪ حصيلة حمض أسيتيك
مم	بوصة	مم				

						acetic acid
					مخرج-مدخل *R2*	acetic acid
٢٢,٣	٠,٨٧٨	٤،٥٠٠	٠,٤٢	−E ٣,٣٠ ٠٤ محتسب	١١,٠٠ *مقاسة*	٥,١
١٢,٧	٠,٥٠٠	١٣،٨٧٥	٠,٤٤	−E ٣,٣٠ ٠٤	٢٨,٣٨	٧,٥
١٩,١	٠,٧٥٠	٦،١٦٧	٠,٤٤	−E ٣,٣٠ ٠٤	١٢,٦١	٥,٣
٢٣,٦	٠,٩٢٩	٣،٨٤٤	٠,٤٢	−E ٣,٣٠ ٠٤	٩,٤٠	٤,٨
٢٥,٤	١,٠٠٠	٣،٤٦٩	٠,٤٢	−E ٣,٣٠ ٠٤	٨,٤٨	٤,٧
٣١,٨	١,٢٥٠	٢،٢٢٠	٠,٤٠	−E ٣,٣٠ ٠٤	٦,٥٢	٤,٤
٣٨,١	١,٥٠٠	١،٥٤٢	٠,٤٠	−E ٣,٣٠ ٠٤	٤,٢٠	٤,١

يتضح من ذلك المثال أن الأنابيب أكبر من القطر الداخلي للقاعدة ٢٢,٣ مم توفر كميات أقل من المنتجات الثانوية من حمض الأسيتيك acetic acid، في حين أن الأنابيب الأصغر من القطر الداخلي للقادة ٢٢,٣ مم توفر كميات أعلى من منتج حمض الأسيتيك acetic acid الثانوي.

٥ علاوة على ذلك، يتضح من البيانات التجريبية أن انخفاض مفيد في إنتاج منتج حمض أسيتيك acetic acid ثانوي يمكن تحقيقه حتى باستخدام تغيرات بسيطة نسبياً في قطر الأنبوب الداخلي. وعلى نحو إضافي، بسبب التصميم المبتكر لمفاعل SSOI الذي يقاوم تراكم المواد الكربونية الملوثة، لا يتغير هبوط الضغط عبر المفاعل، وبالتالي ضغط تشغيل مرحلة التفاعل الثانية، بشكل

كبير بمرور الوقت؛ وكنتيجة لذلك، يتم تحقيق فائدة انخفاض الضغط بمرحلة التفاعل الثانية الزائدة فوق العمر الكامل لشحنة المحفز ولس الشهور القليلة الأولى للتشغيل.

المثال ٥ – عدد الأنابيب

٥ تتمثل طريقة أخرى في تقليص الضغط داخل مرحلة التفاعل الثانية في خفض طول الأنبوب الكلي أثناء الزيادة المتزامنة لإجمالي عدد الأنابيب (معروفة أيضاً بـ "عدد الأنابيب") داخل المفاعل. يمكن استخدام تحسين التصميم هذا بدون تغيير قطر الأنبوب الداخلي أو إجمالي حجم كل مرحلة تفاعل. بالرغم من زيادة قطر قشرة المفاعل، وبالتالي تكلفة التصنيع، مع زيادة عدد الأنابيب، يمكن أن يكون ذلك مميزاً تكبد تلك التكاليف الرأسمالية الإضافية لتحقيق هبوط ضغط ١٠ منخفض والانخفاض المصاحب في حصيلة حمض الأسيتيك acetic acid. وتكون تلك التقديرات الاقتصادية ضمن إمكانية أحد ذوي المهارة العادية في الفن لتصميم العملية، للحصول على فائدة الكشف الحالي.

يوضح الجدول ٥أ كيفية طول كل أنبوب مشغول بواسطة يمكن تغيير المحفز وعدد الأنابيب في تصميم مفاعل SSOI، أثناء حفظ قطر أنبوب ثابت ٢٢,٣ مم وحجم مرحلة تفاعل ١٥ ثابت داخل المفاعل.

الجدول ٥أ – اختيارات تصميم مفاعل SSOI

٢٠kT/ سنة بأساس حمض أكريليك acrylic acid (٧ ٪ مول تركيز تغذية بروبيلين propylene)

R1 قطر أنبوب داخلي = R2 قطر أنبوب داخلي = ٢٢,٣ مم

إجمالي الحجم المتوفر في مرحلة التفاعل الأولى = ٥٢,٣ م^٣

إجمالي الحجم المتوفر في مرحلة التفاعل الثانية = ٤٦,٢ م^٣

طول مشغول بواسطة محفز R1	٤٦٠٠ مم	٤١٠٠ مم	٣٥٠٠ مم	٣٠٠٠ مم
طول مشغول بواسطة	٤٠٠٠ مم	٣٦٠٠ مم	٣١٠٠ مم	٢٧٠٠ مم

محفز R2				
عدد الأنابيب (R1 و R2 تكـــــــــون متساوية)	٢٩،٤١٠	٣٢،٦٧٣	٣٨،٠٥٧	٤٤،٦٥٣

يوضح الجدول ٥ب كيفية طول كل أنبوب مشغول بواسطة يمكن تغيير المحفز وعدد الأنابيب في تصميم مفاعل SSOI، أثناء حفظ قطر أنبوب ثابت ٢٥,٤ مم وحجم مرحلة تفاعل ثابت داخل المفاعل.

٥

الجدول ٥ب -اختيارات تصميم مفاعل SSOI kT١٢٠/ سنة بأساس حمض أكريليك acrylic acid (٧ ٪ مول تركيز تغذية بروبيلين propylene) R1 قطر أنبوب داخلي = R2 قطر أنبوب داخلي = ٢٥,٤ مم *إجمالي الحجم المتوفر في مرحلة التفاعل الأولى = ٥٢,٣ م^3* *إجمالي الحجم المتوفر في مرحلة التفاعل الثانية = ٤٦,٢ م^3*				
طول مشغول بواسطة محفز R1	٣٠٠٠ مم	٣٥٠٠ مم	٤٦٠٠ مم	٤٦٩٠ مم
طول مشغول بواسطة محفز R2	٢٧٠٠ مم	٣١٠٠ مم	٤٠٠٠ مم	٤١٤٠ مم
عدد الأنابيب (R1 و R2 تكـــــــــون متساوية)	٣٤،٤١٩	٢٩،٣٣٤	٢٢،٦٦٩	٢٢،٠٠٠

يوضح الجدول ٥ج كيفية طول كل أنبوب مشغول بواسطة يمكن تغيير المحفز وعدد الأنابيب في تصميم مفاعل SSOI بحجم مرحلة تفاعل ثابت؛ يوضح ذلك الجدول أيضاً أن تغيير

مكافئ في طول المحفز ينتج نفس نسبة الزيادة في عدد الأنابيب، بغض النظر عن القطر الداخلي للأنبوب.

الجدول ٥ج – اختيارات تصميم مفاعل SSOI

٢٠kT/ سنة بأساس حمض أكريليك acid acrylic (٨ ٪ مول تركيز تغذية بروبيلين propylene)

R1 قطر أنبوب داخلي = R2 قطر أنبوب داخلي

إجمالي الحجم المتوفر في مرحلة التفاعل الأولى = ٥٣,٧ م^{٣}

إجمالي الحجم المتوفر في مرحلة التفاعل الثانية = ٤٤,٥ م^{٣}

I Tube .D.	٢٥,٤ مم (١")		٣١,٧٥ مم (١,٢٥")		٣٨,١ مم (١,٥")	
طول مشغول بواسطة محفز R1، مم	٣٥٠٠	٣٠٠٠	٣٥٠٠	٣٠٠٠	٣٥٠٠	٣٠٠٠
طول مشغول بواسطة محفز R2، مم	٢٩٠٠	٢٥٠٠	٢٩٠٠	٢٥٠٠	٢٩٠٠	٢٥٠٠
عدد الأنابيب (R1 و R2 تكون متساوية)	٣٠،٣١٠	٣٥،٣٦٠	١٩،٣٩٨	٢٢،٦٣٠	١٣،٤٧١	١٥،٧١٦
الزيادة في عدد الأنابيب	١٦,٧ ٪		١٦,٧ ٪		١٦,٧ ٪	

٥ **المثال ٦** – نسبة كتلة محفز

يكون المثال التالي تجريبي في الفن بسبب كلاً من المدة الطويلة للتجارب المستقلة بالإضافة إلى العدد الكبير من التجارب بالنطاق التجاري المنفذة. في ذلك المثال، تم تنفيذ سلاسل

من تقيمات محفز باستخدام مفاعلات أكسدة بروبيلين propylene من نوع SSOI بنطاق تجاري، تتضمن بين ١٥،٠٠٠ و٢٥،٠٠٠ بكل من الأنابيب. في كل مفاعل، يوجد عدد مساوي من الأنابيب في كل من مرحلة التفاعل الأولى (R1) ومرحلة التفاعل الثانية (R2) وجميع الأنابيب تكون بقطر داخلي ٢٢,٣ مم (٠,٨٧٨ بوصة).

بالنسبة لكل التجارب التجريبية، تم تعبئة جميع أنابيب التفاعل داخل مفاعل معطى باستخدام كتلة مساوية من المحفز وتم تعبئة أي حيز فارغ في نهايات الأنبوب باستخدام كمية كافية من ٦,٤ مم (٠,٢٥") كريات خزفية EnviroStone 66 لتحقيق هبوط ضغط منتظم من خلال كل أنبوب.

بالتوافق مع أحد التجسيدات على الأقل من الكشف الحالي، يتم تجهيز قطاع تبريد المرحلة البينية بكل مفاعل باستخدام كسر فراغ عالي (على الأقل ٩٠٪ كسر فراغ) إدراجات تعزيز الاضطراب، تم تحميل المنطقة البينية المفتوحة باستخدام ١,٥" قطر كريات خزفية بمساحة سطح عالية EnviroStone 66، وتم تقييد زمن احتجاز غاز المعالجة المجمع داخل مبرّد المرحلة البينية والمنطقة البينية المفتوحة (يشار لها في هذه الوثيقة بـ "زمن احتجاز مرحلة بينية") بما لا يزيد عن ٣,٠ ثانية.

أثناء التجارب، تم إمداد كل أنبوب داخل مفاعل الاختبار ببروبيلين propylene عند معدل تدفق متوسط بين ٠,١٦ إلى ٠,٢١ نيوتن م^3/ ساعة (٦ و٨ SCFH عند ٦٠ فهرنهيت/ ١ جوي) بكل أنبوب. تم التحكم بتركيبة غاز التغذية إلى كل مفاعل بمتوسط ٧ +/- ٠,٥٪ بروبيلين propylene، معدل حجمي بخار: بروبيلين propylene حوالي ٣,٦ +/- ٢، ونسبة حجمية أكسجين oxygen: بروبيلين propylene حوالي ١,٨ +/- ١.

تم تبريد كل المفاعلات باستخدام تيارات تدوير من ملح HITEC. عند بداية التشغيل، تم إمداد ملح التبريد لمرحلة التفاعل الأولى مبدئياً عند درجة حرارة الغرفة، T_{R1salt}، من حوالي ٣١٥° درجة مئوية (٦٠٠° درجة فهرنهيت) وتم إمداد ملح التبريد لمرحلة التفاعل الثانية مبدئياً عند درجة حرارة الغرفة، T_{R2salt}، من حوالي ٢٦٥° درجة مئوية (٥١٠° درجة فهرنهيت).

تمت مراقبة تركيبة تيار الغاز الخارج من مرحلة التفاعل الثانية بكل مفاعل، يشار لها في هذه الوثيقة بتيار "غاز منتج مفاعل"، باستخدام أجهزة تحليل كروماتوجراف بالغاز مباشرة. تشتمل

القياسات الخاصة على تركيز البروبيلين propylene غير المتفاعل وتركيز الأكرولين acrolein غير المتفاعل المتبقي في غاز المنتج.

خلال فترة التشغيل الاختباري بالكامل، تم تعديل T_{R1salt} (درجة حرارة إمداد الملح بالمرحلة الأولى) لحفظ تركيز البروبيلين propylene غير المتفاعل في غاز المنتج فيما بين ٠,١٣ - ٠,٢٦ ٪ مول، و T_{R2salt} (درجة حرارة إمداد الملح بالمرحلة الثانية) لحفظ تركيز الأكرولين acrolein غير المتفاعل في غاز المنتج عند حوالي ٣٠٠ جزء بالمليون. على نحو إضافي، تم تعديل درجة حرارة ملح التبريد المزوّد إلى مبادل الحرارة البيني ($T_{ISHXsalt}$) لحفظ درجة حرارة غاز المعالجة الداخل في المنطقة البينية المفتوحة عند قيمة بين حوالي ٢٤٠° درجة مئوية و ٢٨٠° درجة مئوية.

على مدار مدد تشغيل طويل، يؤدي إطالة عمر المحفز إلى ضرورة الزيادة التدريجية بـ T_{R1salt} و T_{R2salt} لحفظ حصيلة حمض أكريليك acrylic acid من المفاعل. بشكل منتظم، مع ذلك، تصل درجات حرارة تشغيل المحفز قيمة عظمى وتزيد مرة أخرى في أي من T_{R1salt} أو T_{R2salt} لتصبح غير فعّالة عند تحسين حصيلة حمض أكريليك acrylic acid. عند هذه النقطة، يصل المحفز إلى نهاية عمره الإنتاجي ويتطلب استبداله. وبصفة عامة، تكون تلك القيم النهائية T_{R1salt} و T_{R2salt} حوالي ٣٥٥° درجة مئوية (٦٧٠° درجة فهرنهيت) وحوالي ٢٩٥° درجة مئوية (٥٦٠° درجة فهرنهيت)، على التوالي.

الجدول ٦

التجربة #	المحفز المستخدم		كتلة المحفز لكل أنبوب (كجم)		نسبة كتلة المحفز	عمر المحفز المفيد (*سنوات*)	
	R1	R2	R1	R2	R1 :R2	R1	R2
١أ وب	YX-38	T-202	١,٤٩٩	١,٤١٤	٠,٩٤	٤,٨٨	* ٢,٧١ و٢,١٨
٢أ وب	ACF-2	ACS-2	١,٤٩٩	١,٤١٤	٠,٩٤	٤,١٩	* ٢,٢٨ و١,٩١

٣	ACF-2	ACS-2	١,٥٢٩	١,٩٦٣	١,٢٨	٤,١٤	٤,١٤
٤أ وب	ACF-4	ACS-6	١,٤٩٩	١,٤١٤	٠,٩٤	٤,٠١	* ٢,٠٨ و١,٩٣
٥	ACF-4	ACS-6	١,٣٢٥	١,٩٦٢	١,٤٨	٤,١٥	٤,١٥
٦أ وب	ACF-7	ACS-7	١,٢٧٣	١,٣٣٨	١,٠٥	٤,٤٢	* ٣,٥٢ و٠,٩٠
٧	ACF-7	ACS-7	١,٢٩٥	١,٨٨٦	١,٤٦	٤,٧١	٤,٧١
٨	ACF-7	ACS-7	١,٢٩٥	٢,١٢٢	١,٦٤	٣,٧٣	+ ٣,٧٣

** = R2–تغيير محفز فقط ("إعادة تعبئة جزئية")*

+ = معدل T_{R2salt} منخفض للزيادة مقابل التجارب الأخرى؛ عمر R2 المفيد > R1

كما هو معروف في الجدول ٦، تتطلب كل التجارب ١، ٢، ٤، و٦ إعادات تعبئة محفز R2 جزئية؛ وعليه، يكون العمر المفيد لشحنة محفز R2 بما يقرب من نصف شحنة محفز R1، مما يجعلها ضرورية لاستبدال محفز R2 جيداً قبل المحفز R1 الذي يتطلب الاستبدال. في التجربة ٨، يتجاوز العمر المفيد لشحنة محفز R2 تلك للشحنة R1. مع ذلك، في التجارب ٣، ٥، و٧، يتم مطابقة العمر المفيد لشحنات محفز R1 و R2 بشكل فعّال، مما يزيل الحاجة لإعادة تعبئة جزئية. توضح تلك التجارب أنه، بالنسبة لتصميم مفاعل SSOI لأحد التجسيدات على الأقل من الاختراع الحالي، يكون من الممكن التشغيل باستخدام المرحلة الأولى للتطابق ويكون العمر الإنتاجي لمحفز المرحلة الثانية عند نسبة كتلة المحفز (كجم من محفز المرحلة الأولى/ كجم من محفز المرحلة الثانية) بين حوالي ١,٢٥ وحوالي ١,٦٠. عند نسب كتلة محفزات أقل من حوالي ٠,٩٥، يكون العمر المفيد لمحفز R2 أقصر إلى حدٍ كبير من ذلك للمحفز R1. عند نسب كتلة المحفزات أكثر من حوالي ١,٦٠، مثل في حالة التجربة ٨، يكون العمر المفيد لمحفز R2 أطول من تلك للمحفز R1. علاوة على ذلك، البيانات المقترحة التي عند نسب كتل المحفز إلى حدٍ كبير أعلى من حوالي ١,٦٥، على سبيل المثال بنسبة ١,٨٠، أو حتى ٢,٠، يمكن توقع العمر المفيد لمحفز R2 لمدة أطول بشكل كبير من محفز R1، بالتالي تتطلب استبدال مبكر لمحفز R1. يكون من المدهش بشكل خاص اكتشاف ذلك الكشف المطبق على أنواع محفز تجارية مختلفة كثيرة، تتضمن

المحفزات من أكثر من مورد واحد. يوفر تشغيل المفاعل باستخدام أعمر إنتاج محفز متطابقة بمنافع اقتصادية كبيرة عن طريق إزالة إعادة التعبئة الجزئية بدون مواجهة التكاليف الإضافية لتركب الكميات الزائدة للمحفز. تم استنتاج كمية المحفز المحملة في أنابيب مفاعل SSOI لتجسيدات معينة يمكن التحكم بها لتحقيق نسبة كتلة محفز (كجم من محفز المرحلة الأولى/ كجم محفز المرحلة الثانية) لا تقل عن حوالي ٠,٩٥ ولا تزيد عن حوالي ١,٦٥ مثل، على سبيل المثال، بين حوالي ١,٢٥ وحوالي ١,٦٠

المثال ٧ – إضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant / زمن الاحتجاز

يكون بتجسيد المفاعل الموصوف سابقاً من الشكل ٤ عدد ٢٢،٠٠٠ أنبوب ويتم تشغيله بإضافة مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant لتحقيق سعة لوحة حمض أكريليك acrylic acid ١١٠ kT بالسنة. يكون من المرغوب فيه تحديد زمن احتجاز المرحلة البينية، بالإضافة إلى زمن احتجاز تدفق غاز المعالجة من خلال أنابيب مبادل الحرارة البيني (زمن احتجاز ISHX) بمعدلات تشغيل محددة.

كما تمت الإشارة إليه سابقاً في الجدول ٧أ (الحالة ٢)، يتم تصميم تجسيد المفاعل من الشكل ٤ للتشغيل بمعدل تغذية بروبيلين propylene ٢١،٣٤٤ pph (٩،٧٠٢ كجم/ ساعة)، نسبة حجم بروبيلين propylene: هواء تبلغ ٠,١٢٢، ونسبة حجم بخار: هواء تبلغ ٠,٣٦٧. كما تم قياسه عند الظروف المرجعية ٢٤٠° درجة مئوية و ٣٠ رطل لكل بوصة مربعة مطلق (٢ جوي)، يكون تدفق الغاز الإجمالي الداخل في منطقة المرحلة البينية حوالي ٢،١٨٧،٦٦٢ قدم^3/ ساعة (٦١،٩٥٦ م^3/ ساعة).

الجدول ٧ب – زمن الاحتجاز داخل أنابيب مبادل الحرارة البيني (ISHX)		
٢٢,٣ مم قطر داخلي (٠,٨٧٨ بوصة) x ٢١٠٠ مم (٦,٩ قدم) x ٢٢،٠٠٠ أنابيب؛ وليجات ملفوفة تحث اضطراب مدخلة في كل أنبوب		
إجمالي حجم أنابيب ISHX الفارغة	٦٣٨ قدم^3	١٨,١ م^3
كسر فراغ بوليجات ملفوفة داخل أنابيب ISHX	٠,٩٢٣	

الحجم المتوفر في أنابيب ISHX، بعد خصم حجم وليجات	٥٨٩ قدم^{٣}	١٦,٧ م^{٣}
السرعة الفراغية الفعّالة من خلال ISHX = (٢،١٨٧،٦٦٢ قدم^{٣}/ ساعة)/ (٥٨٩ قدم^{٣})	٣،٧١٥ ساعة$^{-١}$	
زمن الاحتجاز المكافئ داخل ISHX	**٠,٩٦٩ ثانية**	

يؤدي ذلك إلى ٠,٩٦٩ ثانية تتوافق بالكامل مع التجسيد المستهدف من زمن احتجاز غاز المعالجة من خلال مبادل الحرارة البيني لا تزيد عن ١,٥ ثانية.

الجدول ٧ج – زمن الاحتجاز داخل المنطقة البينية المفتوحة		
١٥٢ مم (٠,٥ قدم) طول x ٥٥١٧ مم (١٨,١ قدم) في القطر؛ تم تعبئة الحجم بالكامل باستخدام ٢٠ ppi (ثقب بالبوصة) من رغوة خزفية		
إجمالي حجم منطقة المرحلة البينية الفارغة	١٢٩ قدم^{٣}	٣,٦٤ م^{٣}
كسر فراغ لرغوة خزفية	٠,٩٢	
الحجم المتوفر في منطقة مرحلة بينية، بعد خصم الحجم المشغول بواسطة الجزء الصلب من الرغوة الخزفية	١١٨ قدم^{٣}	٣,٣٥ م^{٣}
السرعة الفراغية الفعّالة من خلال المنطقة البينية المفتوحة = (٢،١٨٧،٦٦٢ قدم^{٣}/ ساعة)/ (١١٨ قدم^{٣})	١٨،٤٩٢ ساعة$^{-١}$	
زمن الاحتجاز المكافئ قبل الخلاط داخل المنطقة البينية المفتوحة	**٠,١٩٥ ثانية**	

٥

الجدول ٧د – زمن الاحتجاز – قطاع تقليص مدخل الخلاط		
إجمالي حجم قطاع التقليص الفارغ	١٣٥,٤ قدم^{٣}	٣,٨ م^{٣}
السرعة الفراغية الفعّالة من خلال قطاع التقليص	١٦،١٥٨ ساعة$^{-١}$	

= (٢،٢٨٤،٣٦٠ قدم^{٣}/ ساعة)/ (٧٨٤,٣ قدم^{٣})	
زمن الاحتجاز المكافئ داخل قطاع التقليص	**٠,٢٢٣ ثانية**

عند قطاع التضييق الوسيط بالخلاط، التدفق الحجمي الإجمالي الزائد بسبب إضافة تغذية مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant. كما تم قياسه عند الظروف المرجعية ٢٤٠° درجة مئوية و ٣٠ رطل لكل بوصة مربعة مطلق (٢ جوي)، تدفق الغاز الإجمالي المار من خلال قطاع التضييق الوسيط وقطاع توسيع المخرج الزائد إلى حوالي ٢،٤٠٨،٨٢٠ قدم^{٣}/ ساعة (٦٨،٢٢٠ م^{٣}/ ساعة).

الجدول ٧هـ – زمن الاحتجاز – تضييق وتوسيع الخلاط		
إجمالي حجم قطاع التضييق الوسيط الفارغ	١٨,٩ قدم^{٣}	٠,٥ م^{٣}
إجمالي حجم قطاع توسيع المخرج الفارغ	٧٦٧,٨ قدم^{٣}	٢١,٧ م^{٣}
السرعة الفراغية الفعّالة من خلال قطاع التضييق = (٢،٤٠٨،٨٢٠ قدم^{٣}/ ساعة)/ (١٨,٩ قدم^{٣})		١٢٧،٧٩٢ ساعة$^{-١}$
السرعة الفراغية الفعّالة من خلال قطاع التوسيع = (٢،٤٠٨،٨٢٠ قدم^{٣}/ ساعة)/ (٧٦٧,٨ قدم^{٣})		٣،١٣٧ ساعة$^{-١}$
زمن الاحتجاز المجمع داخل قطاع التضييق والتوسيع بالخلاط		١,١٧٦ ثانية

وفقاً لتعريف الأمثلة السابقة، يكون زمن احتجاز المرحلة البينية بالنسبة لذلك التجسيد هو إجمالي مجموع زمن الاحتجاز من خلال مبادل الحرارة البيني، الرغوة الخزفية، وكل قطاع بالخلاط الدوامي. لذلك، تجميع النتائج من الجداول ٧ب حتى ٧هـ، تم تحديد أن زمن احتجاز المرحلة البينية يبلغ ٢,٥٦ ثانية. تتوافق النتائج مع زمن احتجاز المرحلة البينية المستهدفة الذي لا يزيد عن ٣ ثواني.

عناصر الحماية

١. عملية لتحضير حمض أكريليك acrylic acid تتضمن بترتيب سير العمليات الخطوات التالية:

أ) توفير غاز تغذية مختلط mixed feed gas يتضمن بروبيلين propylene إلى مرحلة تفاعل أولى first reaction stage لمفاعل بيني مفتوح أحادي الغلاف single shell open interstage reactor من نوع غلاف وأنبوب shell and tube يشتمل على مجموعة من أنابيب التفاعل ، حيث تشتمل مرحلة التفاعل الأولى على محفز أكسيد معدن مختلط mixed metal oxide catalyst لأكسدة البروبيلين propylene إلى أكرولين acrolein؛

ب) أكسدة البروبيلين في مرحلة التفاعل الأولى لإنتاج غاز معالجة يتضمن الأكرولين ؛

ج) تبريد غاز المعالجة في مبادل حرارة بيني interstage heat exchanger؛ المرتب disposed بين مرحلة التفاعل الأولى ومرحلة التفاعل الثانية

د) إمرار غاز المعالجة المبرّد من خلال منطقة بينية مفتوحة open interstage region؛

هـ) إمرار غاز المعالجة إلى مرحلة تفاعل ثانية من نوع الغلاف والأنبوب shell and tube تشتمل على مجموعة من أنابيب التفاعل plurality of reaction tubes، حيث تشتمل مرحلة التفاعل الثانية على محفز أكسيد معدن مختلط لأكسدة الأكرولين acrolein إلى حمض أكريليك؛ و

و) أكسدة الأكرولين acrolein في مرحلة التفاعل الثانية لإنتاج غاز منتج product gas يتضمن حمض أكريليك acrylic acid.

٢. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يشتمل غاز التغذية المختلط mixed feed gas على ٧,٥٪ مول من بروبيلين propylene.

٣. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يشتمل غاز التغذية المختلط mixed feed gas أيضاً على أكسجين بنسبة مولارية لأكسجين إلى بروبيلين propylene تكون بين ١,٦ و ٢,٠.

٤. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يشتمل غاز التغذية المختلط mixed feed gas أيضاً على بخار ماء water vapor بنسبة مولارية لبخار ماء إلى بروبيلين propylene تبلغ ١,٢ أو أقل.

٥. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم إمداد غاز التغذية المختلط إلى مرحلة التفاعل الأولى عند درجة حرارة أكبر من درجة حرارة نقطة تندي dewpoint temperature غاز التغذية المختلط.

٦. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يشمل تبريد غاز المعالجة process gas تبريد غاز المعالجة إلى درجة حرارة تبلغ ٢٨٠° درجة مئوية.

٧. العملية وفقاً لعنصر الحماية ٦، حيث يشتمل تبريد الغاز على تبريد غاز المعالجة process gas إلى درجة حرارة تتراوح من ٢٤٠° درجة مئوية إلى ٢٨٠° درجة مئوية.

٨. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، تتضمن أيضاً توفير مادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant إلى غاز المعالجة في المنطقة البينية المفتوحة open interstage region.

٩. العملية وفقاً لعنصر الحماية ٨، تتضمن أيضاً خلط غاز المعالجة ومادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant في المنطقة البينية المفتوحة open interstage region.

١٠. العملية وفقاً لعنصر الحماية ٩، حيث يشتمل خلط غاز المعالجة process gas ومادة الأكسدة التكميلية supplemental oxidant في المنطقة البينية المفتوحة open interstage region على خلط في جهاز خلط mixing device.

١١. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتواجد غاز المعالجة في مبادل الحرارة البيني interstage heat exchanger لزمن احتجاز residence time يبلغ ١,٥ ثانية.

١٢. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتواجد غاز المعالجة في مبادل الحرارة البيني interstage heat exchanger والمرحلة البينية المفتوحة open interstage لزمن احتجاز residence time يبلغ ٣ ثواني.

١٣. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يشتمل إمرار غاز المعالجة المبرّد cooled process gas من خلال مرحلة بينية مفتوحة open interstage على إزالة مواد التلويث foulants من غاز المعالجة عن طريق إمرار غاز المعالجة من خلال مادة خاملة inert material لها مساحة سطح كلية total surface area تبلغ ٩٣٠ م^{٢}.

١٤. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١٣، حيث يكون للمادة الخاملة inert material مساحة سطح كلية total surface area تبلغ ٢٧٩٠ م^{٢} (٣٠٠٠٠ قدم^{٢}).

١٥. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يشتمل محفز أكسيد المعدن المختلط mixed metal oxide catalyst في مرحلة التفاعل الأولى first reaction stage على مركب واحد على الأقل منتقى من المجموعة التي تشتمل على أكاسيد oxides من موليبدينيوم molybdenum، بيزموث bismuth ، وحديد iron.

١٦. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يشتمل محفز أكسيد المعدن المختلط mixed metal oxide catalyst في مرحلة التفاعل الثانية second reaction stage على مركب واحد على الأقل منتقى من المجموعة التي تشتمل على أكاسيد oxides من موليبدينيوم molybdenum وڤاناديوم vanadium.

١٧. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، تتضمن أيضاً تدوير مادة تبريد coolant من خلال مرحلة التفاعل الأولى first reaction stage، مبادل الحرارة البيني interstage heat exchanger، ومرحلة التفاعل الثانية second reaction stage.

١٨. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١٧، حيث يتم تدوير مادة التبريد coolant بشكل مستقل في واحدة على الأقل من مرحلة التفاعل الأولى first reaction stage، مبادل

الحرارة البيني interstage heat exchanger، ومرحلة التفاعل الثانية second reaction stage.

١٩. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١٧، حيث يتم تدوير مادة التبريد coolant في تصميم مشترك التيار co-current configuration.

٢٠. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث يشتمل مبادل الحرارة البيني interstage heat exchanger على مدخلات inserts ولا يتم في خطوة تبريد غاز المعالجة تكثيف غاز المعالجة على سطح مدخلات.

٢١. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، حيث تكون كتلة المحفز في مرحلة التفاعل الثانية second reaction stage من ٠,٩٥ إلى ١,٦٥ مرة من كتلة المحفز في مرحلة التفاعل الأولى first reaction stage.

٢٢. العملية وفقاً لعنصر الحماية ٢١، حيث تكون كتلة المحفز في مرحلة التفاعل الثانية ١,٢٥ إلى ١,٦ مرة من كتلة المحفز في مرحلة التفاعل الأولى first reaction stage.

٢٣. العملية وفقاً لعنصر الحماية ١، تتضمن أيضاً:

i) تبريد غاز المنتج لتشكيل غاز منتج مبرّد؛

ii) نقل غاز المنتج المبرّد إلى نظام تجميع وتنقية حمض أكريليك acrylic acid الخالي من المذيب يتضمن عمود إزالة ماء dehydration column وعمود تشكيل نهائي finishing column؛

iii) إزالة تيار بخار علوي overhead vapor stream يتضمن غازات غير قابلة للتكثيف non-condensable gases وبخار ماء water vapor من عمود إزالة الماء dehydration column؛

iv) إزالة تيار حمض أكريليك acrylic acid مسحوب من الجانب يتضمن ٩٨٪ بالوزن من

حمض أكريليك acrylic acid من عمود التشكيل النهائي؛ و

v) إزالة تيار إعادة تدوير مواد القاع bottoms recirculation stream يتضمن مواد نهائية ثقيلة heavy ends من عمود التشكيل النهائي.

٢٤. العملية وفقاً لعنصر الحماية ٢٣، تتضمن أيضاً معالجة processing تيار حمض أكريليك acrylic acid مسحوب من الجانب في عملية بلورة مصهور melt crystallization.

٢٥. العملية وفقاً لعنصر الحماية ٢٣، تتضمن أيضاً نقل جزء على الأقل من تيار إعادة تدوير مواد القاع bottoms recirculation stream يتضمن مواد نهائية ثقيلة heavy ends إلى عملية إستر ester process تتضمن وحدة تكسير دايمير dimer cracker.

٢٦. العملية وفقاً لعنصر الحماية ٢٣، تتضمن أيضاً:

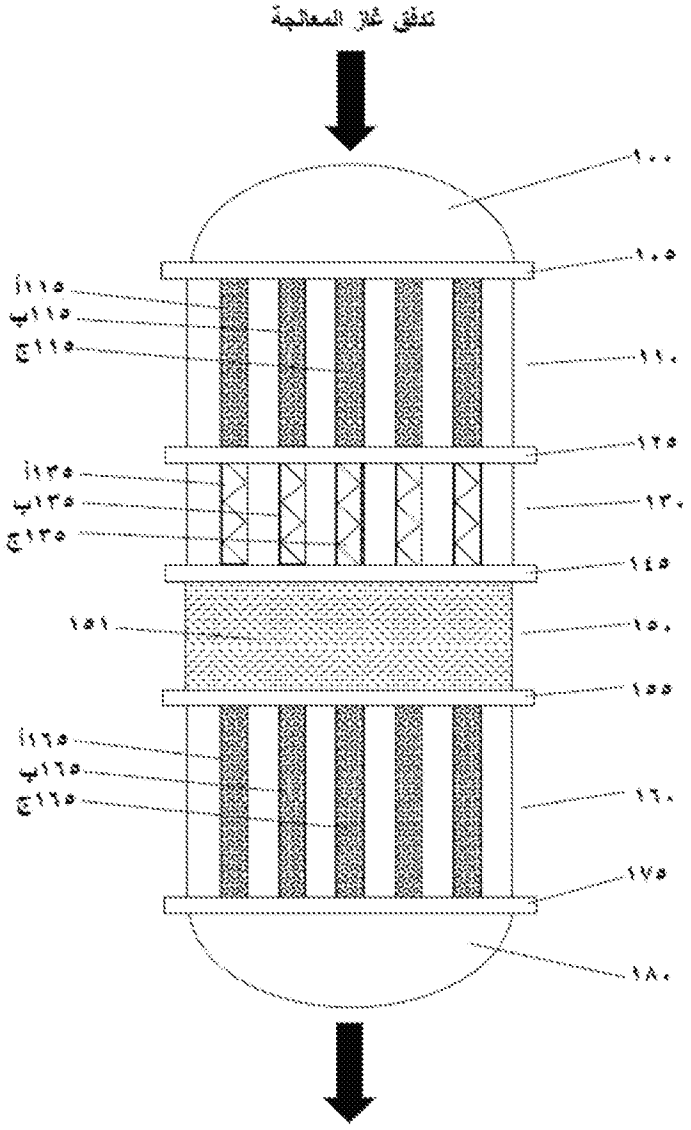
vi) تقسيم تيار البخار العلوي overhead vapor stream الذي يتضمن غازات غير قابلة للتكثيف non-condensable gases وبخار ماء water vapor إلى تيار غاز تدوير recycle gas stream وتيار تطهير purge stream؛

vii) إعادة تيار غاز التدوير recycle gas stream إلى مفاعل المرحلة البينية المفتوح أحادي الغلاف single shell open interstage reactor؛ و

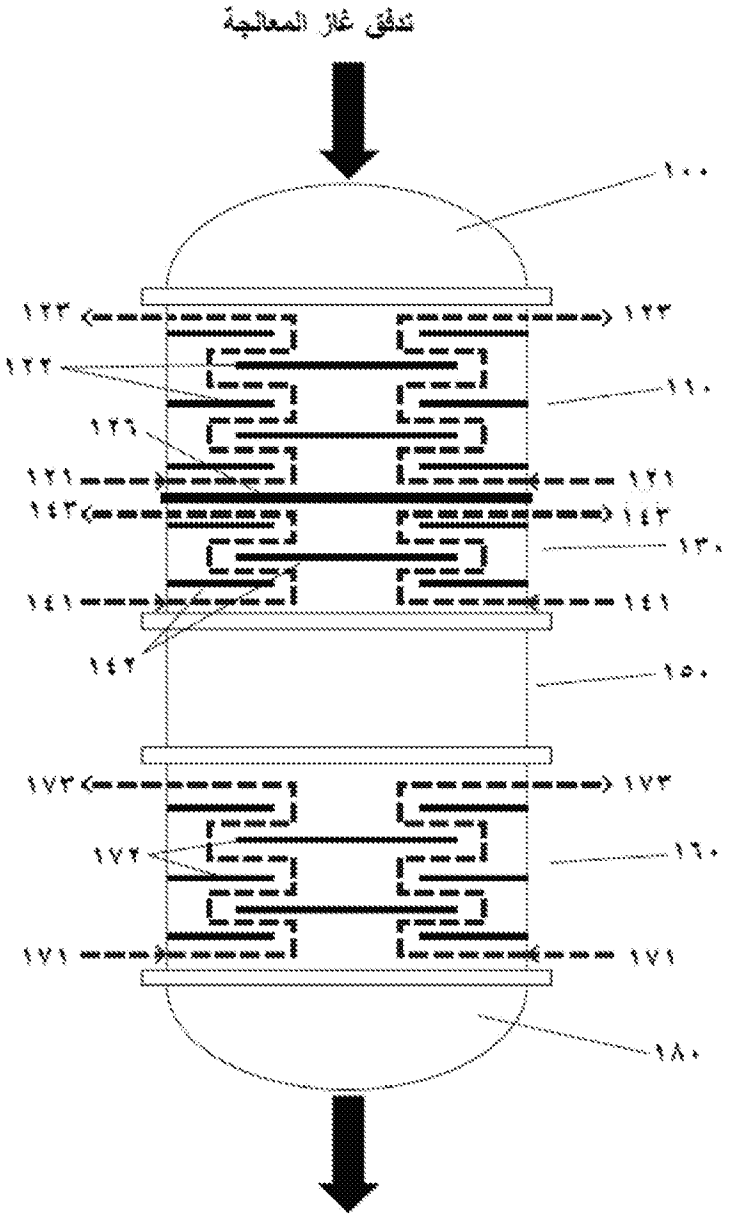
viii) معالجة تيار التطهير في واحدة أو أكثر من وحدة احتراق حفزي catalytic combustion unit، وحدة أكسدة حرارية thermal oxidizer، ونظام استخراج حرارة مبددة waste heat recovery system.

٢٧. العملية وفقاً لعنصر الحماية ٢٦، حيث يكون معدل تدفق كتلة mass flow rate تيار غاز التدوير recycle gas stream بين ٥٪ و٥٠٪ من معدل تدفق كتلة تيار البخار العلوي overhead vapor stream الذي يتضمن غازات غير قابلة للتكثيف non-condensable gases وبخار ماء water vapor.

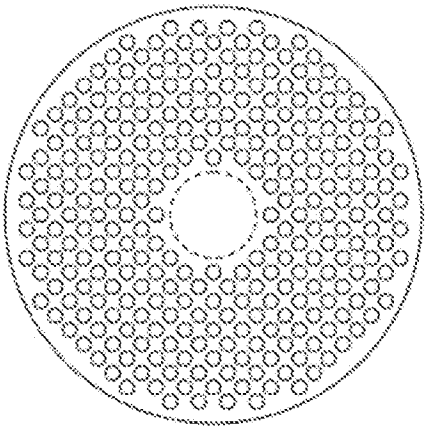
٢٨. العملية process وفقا لعنصر الحماية ١ حيث يكون لأنابيب التفاعل reaction tubes لمرحلة التفاعل الثانية second reaction stage قطر أكبر من ٢٢,٣ ملم.


تدفق غاز المعالجة
١٠٠
١٠٥
١١٥أ
١١٥ب
١١٥ج
١١٠
١٢٥
١٣٥أ
١٣٥ب
١٣٥ج
١٣٠
١٤٥
١٥١
١٥٠
١٥٥
١٦٥أ
١٦٥ب
١٦٥ج
١٦٠
١٧٥
١٨٠

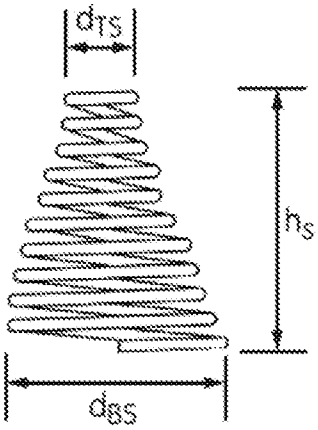
شكل ١أ


تدفق غاز المعالجة
١٠٠
١٢٣
١٢٣
١٢٢
١١٠
١٢٦
١٢١
١٢١
١٤٣
١٤٣
١٣٠
١٤١
١٤١
١٤٢
١٥٠
١٧٣
١٧٣
١٧٢
١٦٠
١٧١
١٧١
١٨٠

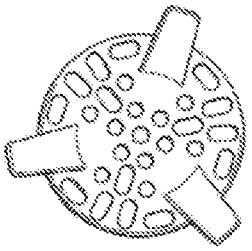
شكل ١ب



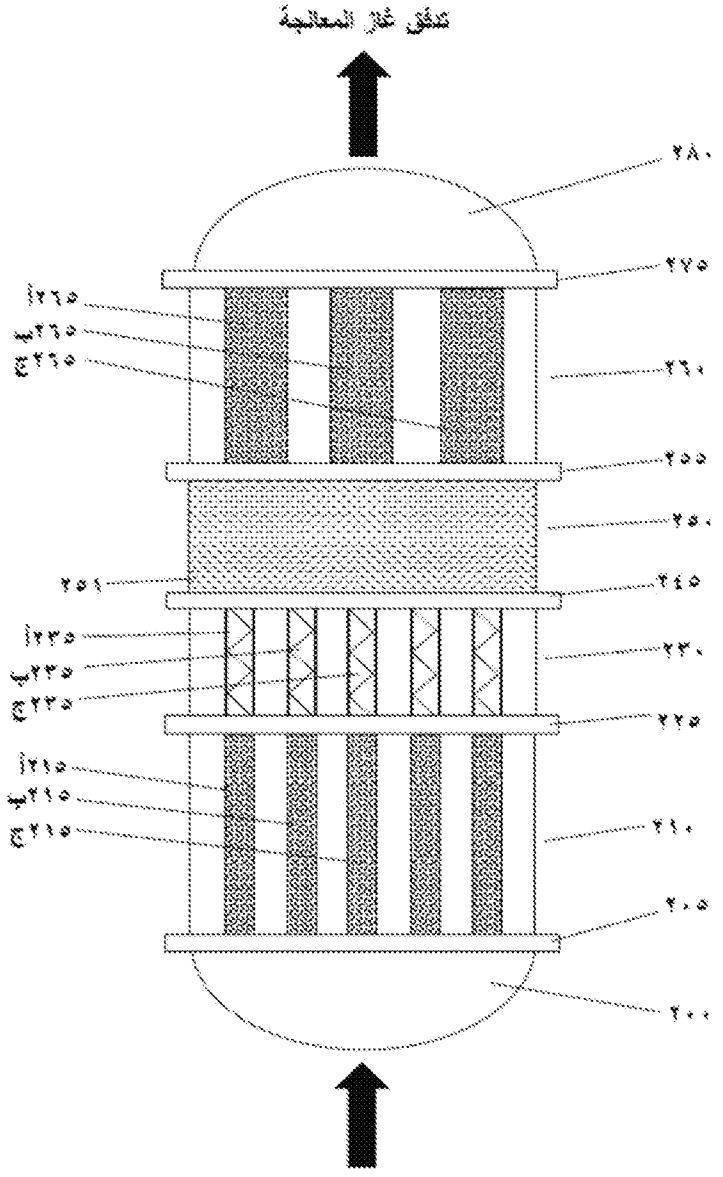
شكل ١ج



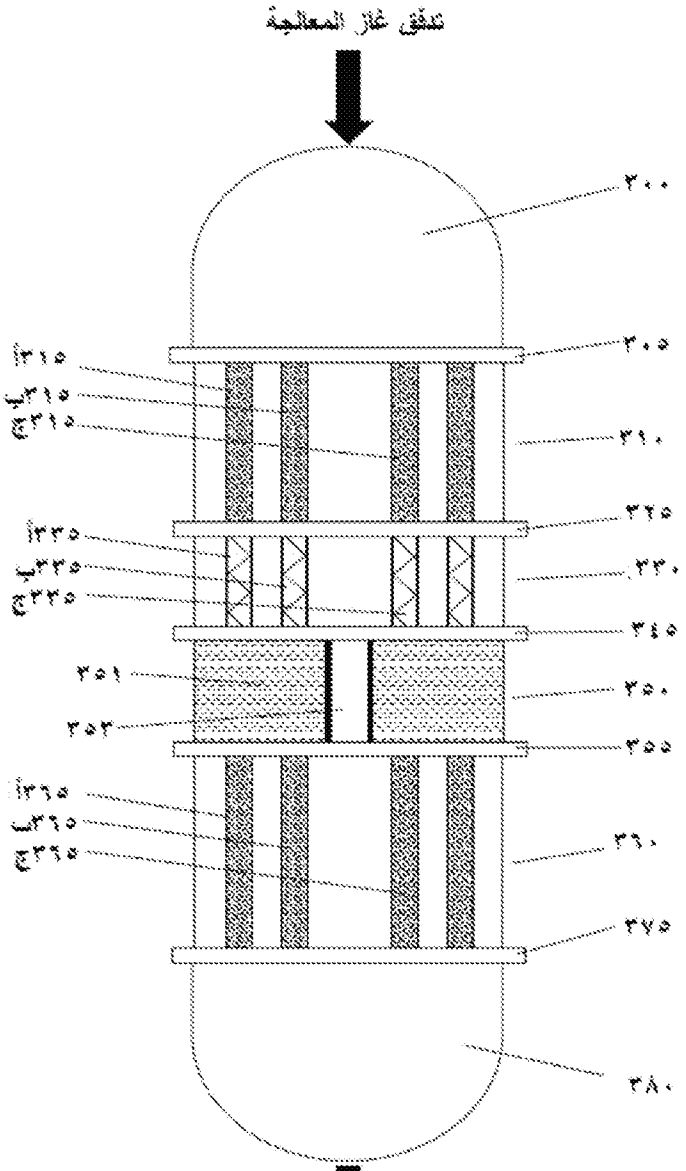
شكل ١د



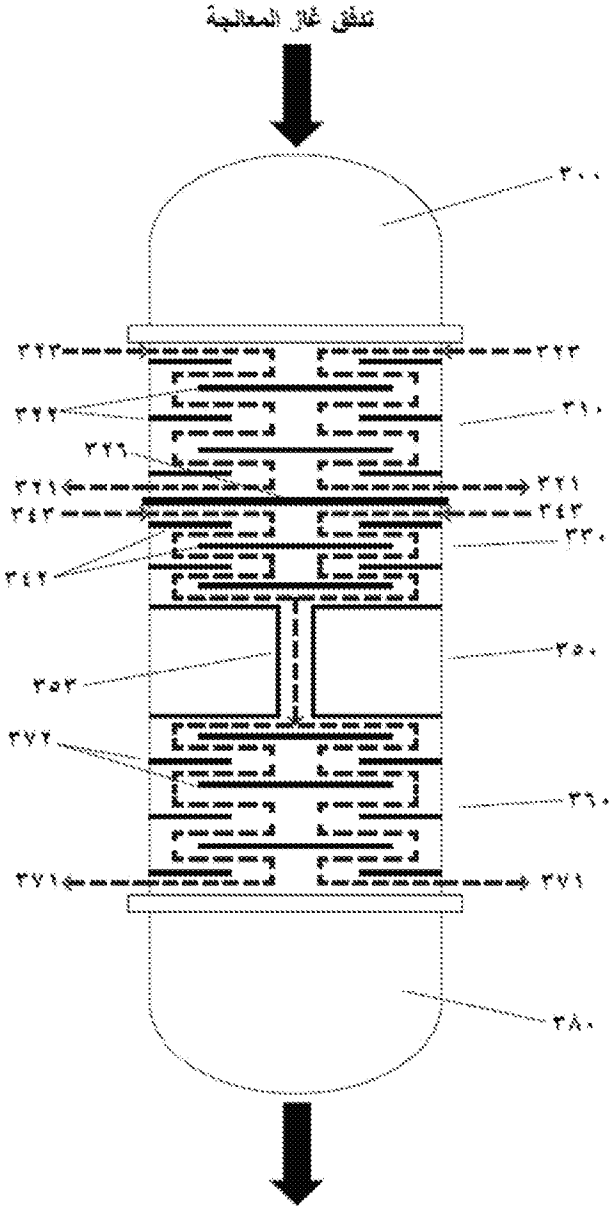
شكل ١هـ


تدفق غاز المعالجة
٢٨٠
٢٧٥
أ٢٦٥
ب٢٦٥
ج٢٦٥
٢٦٠
٢٥٥
٢٥٠
٢٥١
٢٤٥
أ٢٣٥
ب٢٣٥
ج٢٣٥
٢٣٠
٢٢٥
أ٢١٥
ب٢١٥
ج٢١٥
٢١٠
٢٠٥
٢٠٠

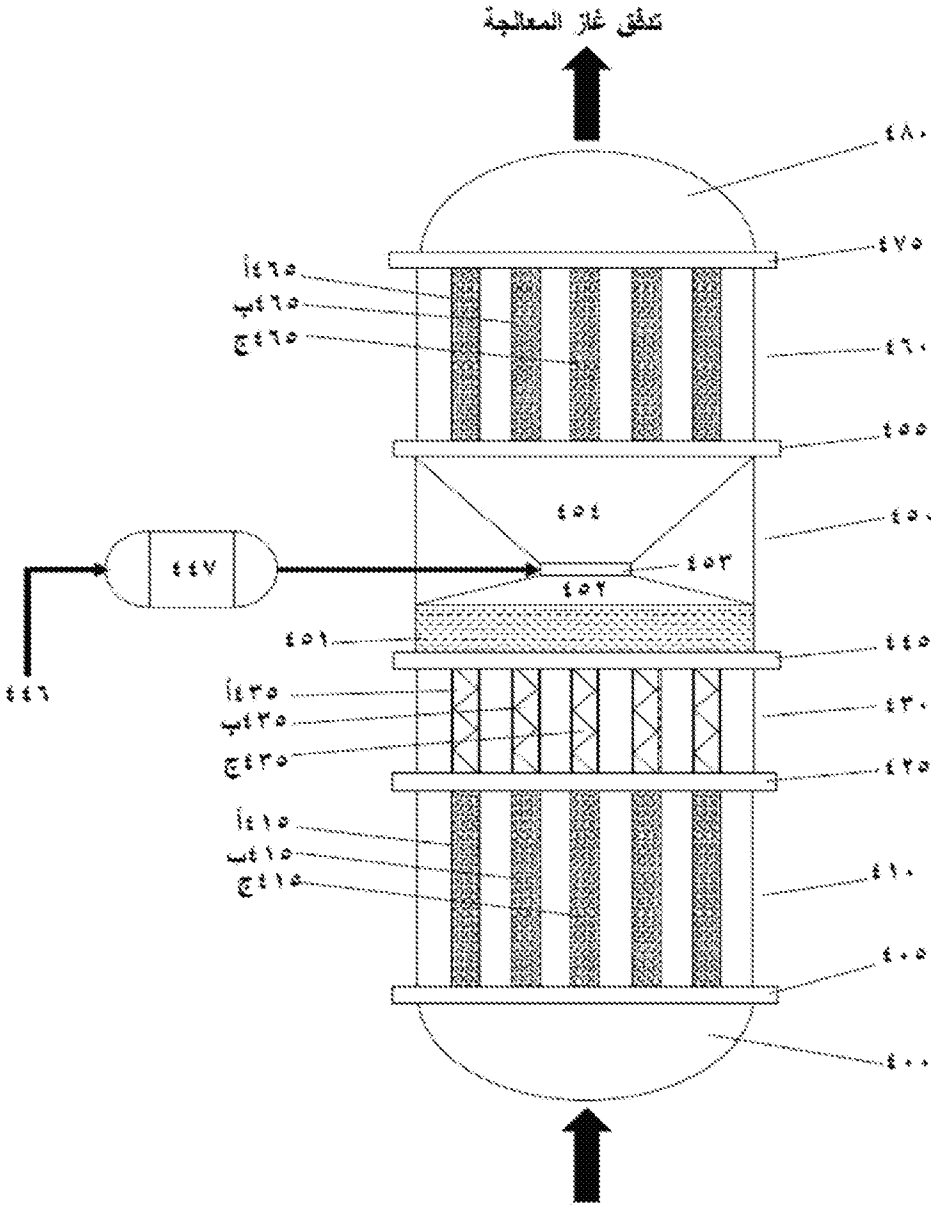
شكل ٢


تدفق غاز المعالجة
٣٠٠
٣٠٥
٣١٥أ
٣١٥ب
٣١٥ج
٣١٠
٣٢٥
٣٣٥أ
٣٣٥ب
٣٣٥ج
٣٣٠
٣٤٥
٣٥١
٣٥٣
٣٥٠
٣٥٥
٣٦٥أ
٣٦٥ب
٣٦٥ج
٣٦٠
٣٧٥
٣٨٠

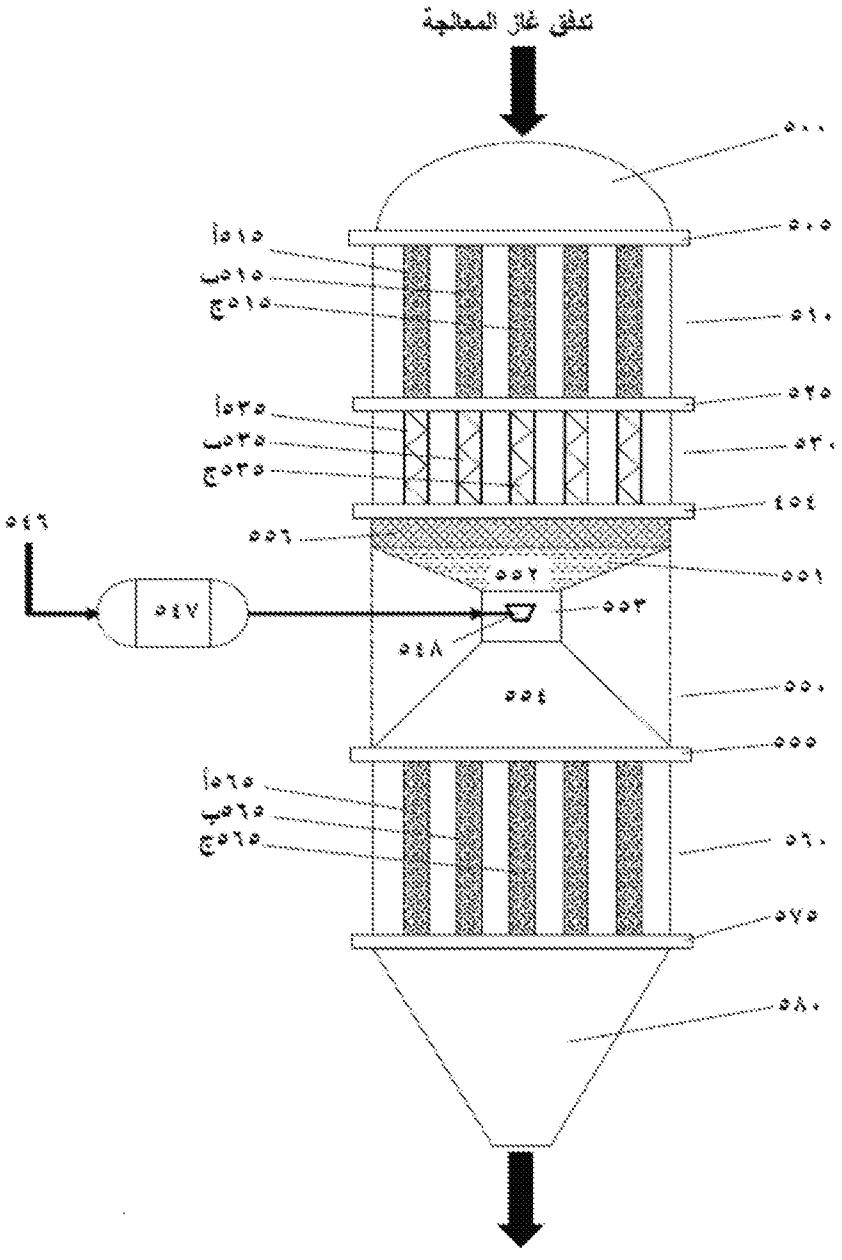
شكل ٣أ


تدفق غاز المعالجة
٣٠٠
٣٢٣
٣٢٣
٣٢٢
٣١٠
٣٢٦
٣٢١
٣٢١
٣٤٣
٣٤٣
٣٣٠
٣٤٢
٣٥٠
٣٥٣
٣٧٢
٣٦٠
٣٧١
٣٧١
٣٨٠

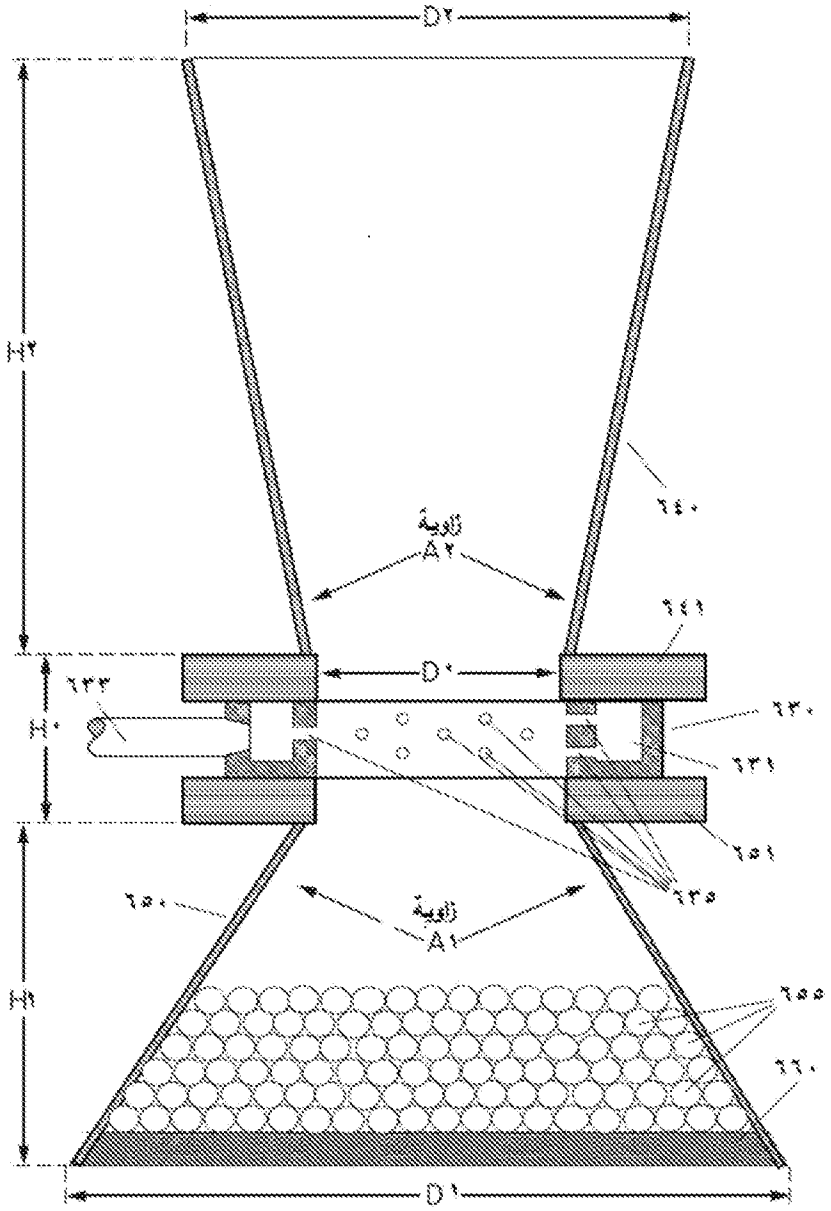
شكل ٣ب


تدفق غاز المعالجة
٤٨٠
٤٧٥
٤٦٥أ
٤٦٥ب
٤٦٥ج
٤٦٠
٤٥٥
٤٥٤
٤٥٠
٤٤٧
٤٥٣
٤٥٢
٤٥١
٤٤٥
٤٤٦
٤٣٥أ
٤٣٥ب
٤٣٥ج
٤٣٠
٤٢٥
٤١٥أ
٤١٥ب
٤١٥ج
٤١٠
٤٠٥
٤٠٠

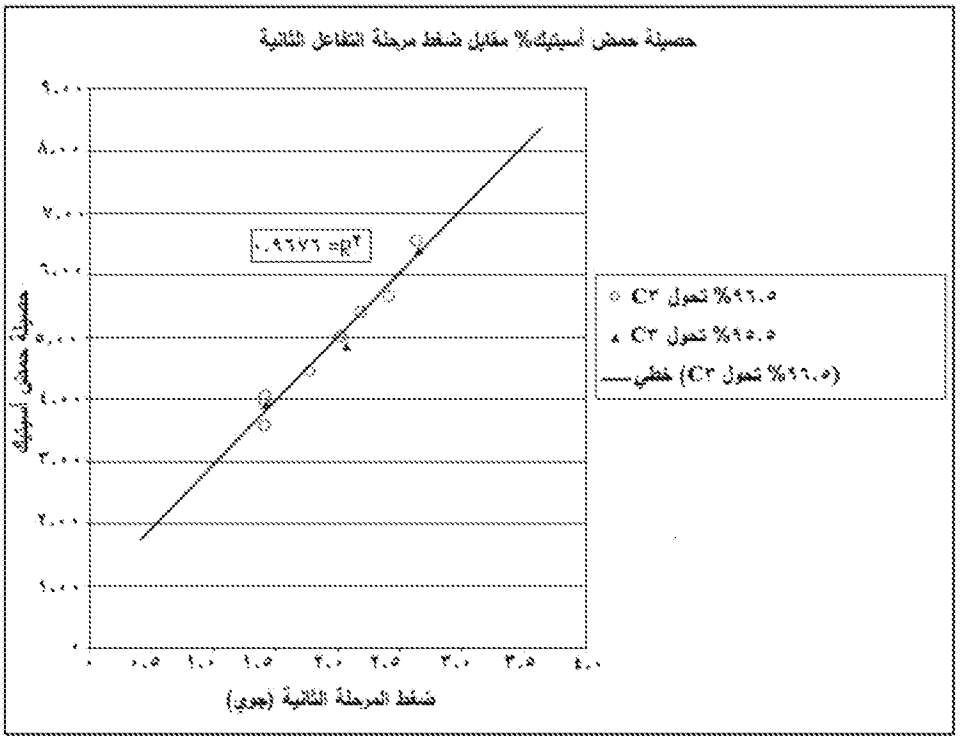
شكل ٤


تدفق غاز المعالجة
٥٠٠
٥٠٥
٥١٥أ
٥١٥ب
٥١٥ج
٥١٠
٥٢٥
٥٣٥أ
٥٣٥ب
٥٣٥ج
٥٣٠
٥٤٤
٥٤٦
٥٥٦
٥٥٢
٥٥١
٥٤٧
٥٥٣
٥٤٨
٥٥٤
٥٥٠
٥٥٥
٥٦٥أ
٥٦٥ب
٥٦٥ج
٥٦٠
٥٧٥
٥٨٠

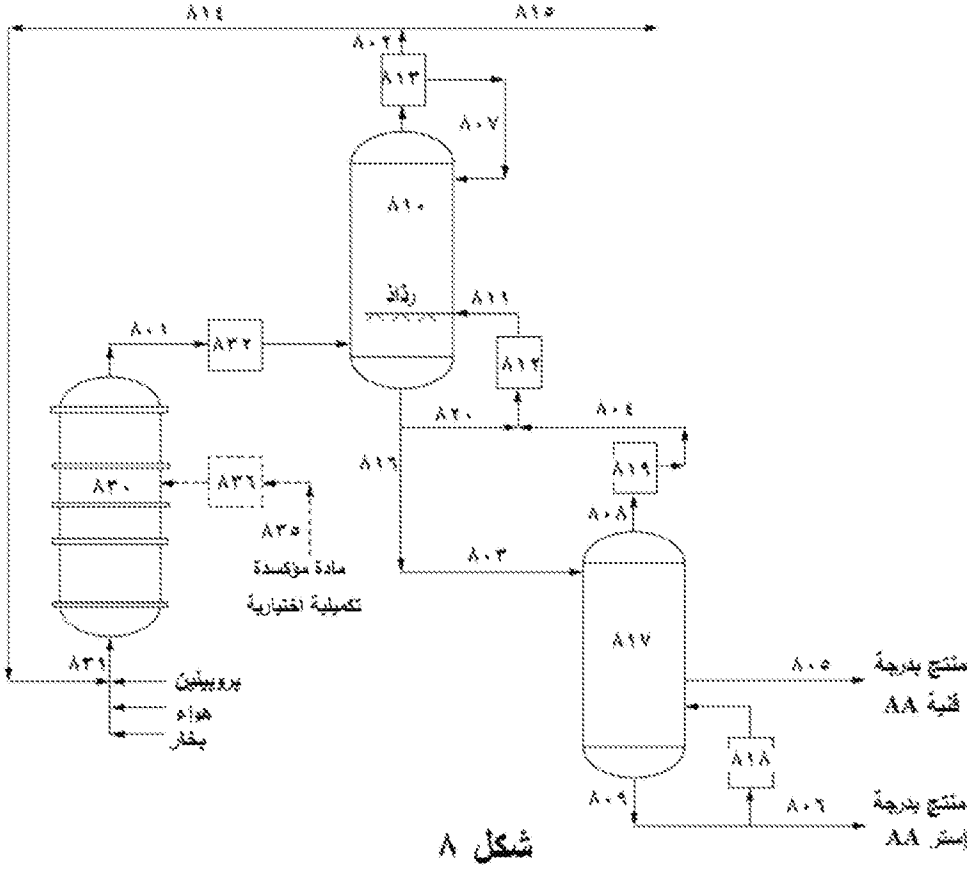
شكل ٥


D٢
H٢
٦٤٠
زاوية
A٢
٦٤١
D٠
٦٣٣
H٠
٦٣٠
٦٣١
٦٥١
٦٣٥
٦٥٠
زاوية
A١
H١
٦٥٥
٦٦٠
D١

شكل ٦


حصيلة حمض أسيتيك% مقابل ضغط مرحلة التفاعل الثانية
٩,٠٠
٨,٠٠
٧,٠٠
٦,٠٠
٥,٠٠
٤,٠٠
٣,٠٠
٢,٠٠
١,٠٠
٠
٠,٠
٠,٥
١,٠
١,٥
٢,٠
٢,٥
٣,٠
٣,٥
٤,٠
R^2= ٠,٩٩٢٦
حصيلة حمض أسيتيك
ضغط المرحلة الثانية (جوي)
C٣ تحول ٩٦,٥%
C٣ تحول ٩٥,٥%
خطي (C٣ تحول ٩٦,٥%)

شكل ٧


٨١٤
٨١٥
٨٠٢
٨١٣
٨٠٧
٨١٠
زيادة
٨١١
٨٠١
٨٣٢
٨١٢
٨٢٠
٨٠٤
٨١٦
٨١٩
٨٣٠
٨٣٦
٨٠٨
٨٣٥
مادة مؤكسدة
تكميلية اختيارية
٨٠٣
٨١٧
٨٣١
بروبيلين
هواء
بخار
٨٠٥
منتج بدرجة
نقية AA
٨١٨
٨٠٩
٨٠٦
منتج بدرجة
إستر AA

شكل ٨

مدة سريان هذه البراءة عشرون سنة من تاريخ إيداع الطلب

وذلك بشرط تسديد المقابل المالي السنوي للبراءة وعدم بطلانها أو سقوطها لمخالفتها لأي من أحكام نظام براءات الاختراع والتصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة والأصناف النباتية والنماذج الصناعية أو لائحته التنفيذية

صادرة عن
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية ، مكتب البراءات السعودي
ص ب ٦٠٨٦ ، الرياض ١١٤٤٢ ، المملكة العربية السعودية
بريد الكتروني: patents@kacst.edu.sa