الهيئة السعودية للملكية الفكرية
Saudi Authority for Intellectual Property

المملكة العربية السعودية
Kingdom of Saudi Arabia

براءة اختراع

إن الرئيس التنفيذي للهيئة السعودية للملكية الفكرية و بموجب أحكام نظام براءات الإختراع و التصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة و الأصناف النباتية و النماذج الصناعية الصادر بالمرسوم الملكي الكريم رقم م/27 وتاريخ 1425/05/29هـ و المعدل بقرار مجلس الوزراء رقم 536 و تاريخ 1439/10/19هـ ، و لائحته التنفيذية.
يقرر منح :

شركة الزيت العربية السعودية
Saudi Arabian Oil Company

براءة اختراع رقم : SA 12191

بتاريخ : 1444/07/09 هـ
الموافق : 2023/01/31 م

عن الإختراع المسمى :

أنظمة محفز متعددة المراحل وعمليات لإنتاج البروبين

Multiple-Stage Catalyst Systems and Processes for Propene Production

وفق ما هو موضح في وصف الاختراع المرفق، ولمالك البراءة الحق في الانتفاع بكامل الحقوق النظامية في المملكة العربية السعودية خلال فترة سريان الحماية.

الرئيس التنفيذي

د. عبدالعزيز بن محمد السويلم

الهيئة السعودية للملكية الفكرية
Saudi Authority for Intellectual Property

[19] **الهيئة السعودية للملكية الفكرية**
[11] **رقم البراءة:** SA 12191 B1

[12] **براءة اختراع**

[45] **تاريخ المنح:** 1444/07/09 هـ
الموافق: 2023/01/31 م

[21] رقم الطلب: 519402265
[22] تاريخ دخول المرحلة الوطنية: 1440/11/18 هـ
الموافق: 2019/07/21 م
[30] بيانات الأسبقية:
62/448,476 US 2017/01/20 م

[72] اسم المخترع: فيصل اتش الشافى ، كوكهار مونير دى ، شاك سوهيل كيه
[73] مالك البراءة: شركة الزيت العربية السعودية
عنوانه: ص.ب 5000 ، 31311 الظهران ، المملكة العربية السعودية
جنسيته: سعودية
[74] الوكيل: تركي عبد الكريم عبد الرزاق العليوي

[86] رقم الطلب الدولي: PCT/US2018/014131
تاريخ إيداع الطلب الدولي: 2018/01/18 م
[87] رقم النشر الدولي: WO/2018/136576
تاريخ النشر الدولي: 2018/07/26 م
[51] التصنيف الدولي(IPC[8]):
C07C 006/004, B01J 021/010
C07C 011/006
[56] المراجع:
WO 2017003821, WO 2017003817

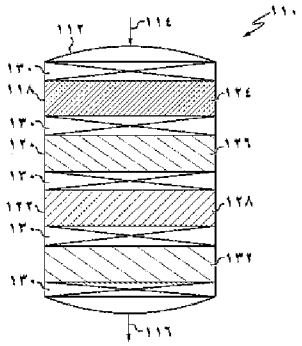
الفاحص: بدرية بنت محمد العمري

[54] اسم الاختراع: أنظمة محفز متعددة المراحل وعمليات لإنتاج البروبين

Multiple-Stage Catalyst Systems and Processes for Propene Production

[57] الملخص: يتعلق الاختراع الحالي بالكشف عن عمليات وأنظمة محفز متعددة المراحل multiple-stage catalyst systems لإنتاج بروبين propene بواسطة أزمرة البيوتين isomerizing butene على الأقل جزئيًا في حيز تفاعل أزمرة isomerization reaction zone به محفز أزمرة isomerization catalyst لتكوين منتج تفاعل أزمرة isomerization reaction product، والتبادل المزدوج على الأقل جزئيًا لمنتج تفاعل الأزمرة في حيز تفاعل تبادل مزدوج به محفز تبادل مزدوج metathesis catalyst لتكوين منتج تفاعل ذي تبادل مزدوج، والتكسير على الأقل جزئيًا لمنتج التفاعل ذي تبادل مزدوج في حيز تفاعل تكسير cracking reaction zone به محفز تكسير cracking catalyst. يمكن أن يكون محفز الأزمرة عبارة عن أكسيد المغنسيوم magnesium oxide (MgO)، ويمكن أن يكون محفز التبادل المزدوج عبارة عن مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة mesoporous silica catalyst مشبعة بأكسيد فلز metal oxide. ويمكن أن يكون حيز تفاعل التبادل المزدوج بعد حيز تفاعل الأزمرة، ويمكن أن يكون حيز تفاعل التكسير بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج. الشكل (1)

عدد عناصر الحماية (22)، عدد الأشكال (9)



أنظمة محفز متعددة المراحل وعمليات لإنتاج البروبين

Multiple-Stage Catalyst Systems and Processes for Propene Production

الوصف الكامل

خلفية الاختراع

يتعلق الاختراع الحالي بإنتاج بروبين حفزي catalytic propene، وبشكل أكثر تحديدًا، بتحويل البيوتين butene إلى بروبين propene باستخدام نظام محفز متعدد المراحل multiple-stage catalyst system. في السنوات الأخيرة، كانت هناك زيادة كبيرة في الطلب على البروبين لتغذية الأسواق المتنامية للبولي بروبلين polypropylene، وأكسيد البروبيلن propylene oxide، وحمض الأكريليك acrylic acid. في الوقت الحالي، فإن معظم البروبين الذي يتم إنتاجه في جميع أنحاء العالم هو منتج ثانوي من وحدات التكسير بالبخار steam cracking units التي تنتج الإثيلين في المقام الأول، أو منتج ثانوي من وحدات التكسير الحفزي لمائع fluid catalytic cracking (FCC)، والتي تنتج بنزين في المقام الأول. لا يمكن لهذه العمليات أن تستجيب بشكل كافٍ للزيادة السريعة في الطلب على البروبين.

تساهم عمليات إنتاج البروبين الأخرى بكمية صغيرة نسبيًا من إجمالي إنتاج البروبين. يعد نزع الهيدروجين من البروبين propane dehydrogenation (PDH)، وتفاعلات التبادل المزدوج metathesis reactions التي تتطلب كلٍ من الإثيلين ethylene والبيوتين، والتكسير الحفزي لمائع مرتفع الشدة، وتكسير الأولفينات، وعمليات تحويل الميثانول إلى أولفينات methanol to olefins (MTO) من بين هذه العمليات. مع ذلك، فلقد تجاوز الطلب على البروبين الطلب على الإيثيلين والبنزين gasoline/ناتج التقطير distillate، ولم يواكب الإمداد بالبروبين هذه الزيادة في الطلب على البروبين.

يتعلق الطلب الدولي رقم 1أ2017003821 بعملية تخليق metathesis process لإنتاج بروبلين propylene تشتمل على توفير مادة حفازة لتفاعل تبادل مزدوج metathesis catalyst تشتمل على رغوة سليكا غير متبلورة وشبه متبلورة amorphous mesoporous silica foam مشبعة بأكسيدات معدنية metal oxides. تنطوي العملية كذلك على إنتاج تيار منتج يشتمل على بروبلين بملامسة تيار تغذية feed stream يشتمل على البيوتين مع المادة الحفازة لتفاعل التبادل المزدوج.

يتعلق الطلب الدولي رقم 1أ2017003817 بعملية لإنتاج بروبلين تشتمل على الأقل جزئياً على تنفيذ تفاعل تبادل مزدوج لتيار أول يشتمل على الأقل على حوالي 10% بالوزن بيوتين لتكوين منتج تفاعل تبادل مزدوج metathesis-reaction product، على الأقل جزئياً تكسير منتج تفاعل التبادل المزدوج لتكوين منتج تفاعل تكسير cracking-reaction product يشتمل على البروبلين، وعلى الأقل بشكل جزئي فصل البروبلين عن منتج تفاعل التكسير لتكوين تيار منتج يشتمل على الأقل على ما يُقارب حوالي 80% بالوزن بروبلين.

الوصف العام للاختراع

وفقًا لذلك، توجد حاجة مستمرة إلى عمليات محسنة من أجل الإنتاج الانتقائي للبروبين. يتم توجيه نماذج الاختراع الحالي إلى إنتاج البروبين من البيوتينات butenes من خلال نظام محفز متعدد المراحل.

وفقًا لواحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن تشتمل عملية لإنتاج البروبين على أزمرة البيوتين جزئيًا على الأقل بمحفز أزمرة isomerization catalyst لتكوين منتج تفاعل أزمرة. يمكن أن يشتمل محفز الأزمرة على أكسيد المغنسيوم magnesium oxide (MgO). يمكن أن تشتمل العملية على التبادل المزدوج جزئيًا لمنتج تفاعل الأزمرة بمحفز تبادل مزدوج لتكوين منتج تفاعل تبادل مزدوج metathesis reaction product. يمكن أن يشتمل تحفز التبادل المزدوج على مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة mesoporous silica catalyst support مشبعة بأكسيد فلز. يمكن أن تشتمل العملية أيضًا على تكير تفاعل تبادل مزدوج جزئيًا على الأقل بمحفز تكسير لتكوين منتج تفاعل تكسير cracking reaction product. يمكن أن يشتمل منتج تفاعل التكسير على البروبين.

وفقًا لنموذج آخر، يمكن أن تشتمل عملية لإنتاج البروبين على إدخال تيار يشتمل على البيوتين إلى حيز تفاعل أزمرة isomerization reaction zone يشتمل على محفز أزمرة. يمكن أن يشتمل محفز الأزمرة على أكسيد المغنسيوم. يمكن أن تشتمل العملية على أزمرة التيار الذي يشتمل على البيوتين جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل الأزمرة لتكوين تيار منتج تفاعل أزمرة وتمرير تيار منتج تفاعل الأزمرة إلى حيز تفاعل تبادل مزدوج يشتمل على محفز التبادل المزدوج. يمكن أن يشتمل محفز التبادل المزدوج على مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز. يمكن أن تشتمل العملية كذلك على التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل لتيار منتج تفاعل الأزمرة بمحفز تبادل مزدوج لتكوين تيار منتج تفاعل تبادل مزدوج، وتمرير تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج إلى حيز تفاعل

تكسير cracking reaction zone يشتمل على محفز تكسير cracking catalyst، وتكسير تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل بمحفز التكسير لتكوين تيار منتج تفاعل تكسير يشتمل على البروبين.

وفقًا لنموذج آخر أيضًا، يمكن أن يشتمل نظام محفز متعدد المراحل على لإنتاج البروبين على حيز تفاعل أزمرة، وحيز تفاعل تبادل مزدوج بعد حيز تفاعل الأزمرة، وحيز تفاعل تكسير بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج. يمكن أن يشتمل حيز تفاعل الأزمرة على أكسيد المغنسيوم، ويمكن أن يشتمل حيز تفاعل التبادل المزدوج على مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز، ويمكن أن يشتمل حيز تفاعل التكسير على محفز زيوليت zeolite catalyst. يمكن أن يكسر محفز الزيوليت تيار منتج التبادل المزدوج لتكوين تيار منتج تكسير يشتمل على البروبين.

سيتم توضيح السمات والمزايا الإضافية للنماذج الموصوفة في الوصف التفصيلي الذي يلي، وسوف تتضح جزئيًا بسهولة لأولئك المهرة في التقنية الصناعية من ذلك الوصف أو سيتم التعرف عليها من خلال ممارسة النماذج الموصوفة، بما في ذلك الوصف التفصيلي الذي يلي، وعناصر الحماية، وكذلك الرسومات الملحقة.

<u>شرح مختصر للرسومات</u>

يمكن فهم الوصف التفصيلي التالي للنماذج المحددة للاختراع الحالي على أفضل وجه عند قراءتها بالاشتراك مع الرسومات التالية، حيث يشار إلى البنية المماثلة بأرقام مرجعية مماثلة وحيث:

يصور الشكل رقم (1) تخطيطيًا مفاعل تدفق مستمر له طبقة ثابتة يتضمن حيز تفاعل أزمرة، وحيز تفاعل تبادل مزدوج، وحيز تفاعل تكسير، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي.

إن الشكل رقم (2) هو رسم بياني لحيود أشعة سينية X-ray diffraction (XRD) يوضح القطاع الجانبي لحيود الأشعة السينية لمحفز أكسيد مغنسيوم تم تحضيره، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي؛

إن الشكل رقم (3) هو رسم بياني لحيود أشعة سينية يوضح القطاع الجانبي لحيود الأشعة السينية لمادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي؛

إن الشكل رقم (4) هو رسم بياني لحيود أشعة سينية يوضح القطاع الجانبي لحيود الأشعة السينية لمادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد التنجستن tungsten oxide، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي؛

إن الشكل رقم (5) هو رسم بياني يوضح أداء نظام محفز متعدد المراحل مع مرور الوقت والتغيرات في درجة حرارة التفاعل، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي؛

يصور الشكل رقم (6) تخطيطيًا مفاعل تدفق مستمر ذو طبقة ثابتة آخر يتضمن محفز أزمرة isomerization catalyst، ومحفز تبادل مزدوج، ومحفز تكسير، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي؛

يصور الشكل رقم (7) تخطيطيًا مفاعل تدفق مستمر ذو طبقة ثابتة آخر يتضمن محفز أزمرة، ومحفز تبادل مزدوج، ومحفز تكسير، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي؛

يصور الشكل رقم (8) تخطيطيًا مفاعل تدفق مستمر ذو طبقة ثابتة آخر يتضمن محفز أزمرة، ومحفز تبادل مزدوج، ومحفز تكسير، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي؛ و

يصور الشكل رقم (9) تخطيطيًا مفاعل تدفق مستمر ذو طبقة ثابتة آخر يتضمن محفز أزمرة، ومحفز تبادل مزدوج، ومحفز تكسير، وفقًا لواحد أو أكثر من نماذج الكشف عن الاختراع الحالي.

الوصف التفصيلي:

يتم توجيه نماذج الكشف عن الاختراع الحالي لأنظمة وطرق لتحويل تيار هيدروكربوني hydrocarbon stream يحتوي على البيوتين butene إلى تيار يشتمل على البروبين من خلال الأزمرة المحفزة، والتبادل المزدوج المحفز، والتكسير المحفز catalyzed cracking. على وجه التحديد، تتعلق النماذج الحالية بأنظمة محفز catalyst systems متعددة المراحل (على سبيل المثال، ذات ثلاث مراحل) تحتوي على محفزات أزمرة، وتبادل مزدوج، وتكسير لإنتاج البروبين من تيار تغذية يحتوي على البيوتين. في حين يتم استخدام نظام محفز ذو ثلاث مراحل له ثلاث محفزات في الكشف عن الاختراع هذا من أجل البساطة والوضوح، قد يكون موضع تقدير أنه يمكن لنظام المحفز متعدد المراحل أن يتضمن أكثر من ثلاث محفزات، مثل 4 محفزات، أو 5 محفزات، أو 6 محفزات، أو حتى محفزات أكثر من ذلك. في واحد أو أكثر من النماذج، يلي محفز الأزمرة محفزة تبادل مزدوج، ويلي محفز التبادل المزدوج محفز تكسير (أي، بشكل متسلسل)، وهو الأمر الذي يمكنه أن يوفر ناتج محسن من البروبين، واختياريًا ناتج مجمع محسن من البروبين والإثيلين ethylene مقارنةً بأنظمة

تفاعل التبادل المزدوج الأخرى. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن خلط واحد أو أكثر من محفز أزمرة، ومحفز تبادل مزدوج، ومحفزات تكسير معًا بحيث قد يحدث واحد أو أكثر من تفاعل أزمرة، وتفاعل تبادل مزدوج، وتفاعل تكسير في طبقة المحفز catalyst bed الثابتة نفسها، على النحو الذي سيتم وصفه بمزيد من التفصيل لاحقًا في هذا الكشف. يمكن للتيار الهيدروكربوني الذي يتم إدخاله إلى المحفزات أن يكون أي تيار يشتمل على البيوتين، والذي يمكن أن يتضمن 1-بيوتين 1-butene، أو سيس-2-بيوتين cis-2-butene، أو ترانس-2-بيوتين trans-2-butene، أو توليفة من هذه الأيزومرات isomers. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن للتيار الهيدروكربوني الذي يشتمل على البيوتين أن يكون تيار نتاج منقى بالإذابة يتم إنشاؤه من خلال عملية تكسير نافثا naphtha cracking process.

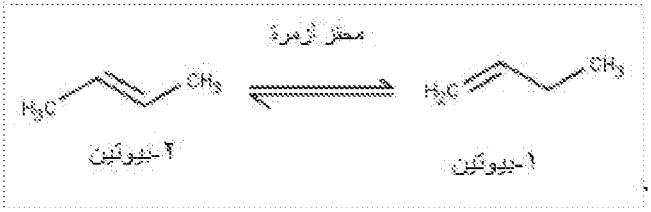
على النحو المستخدم في هذا الكشف، يشير "مفاعل" إلى وعاء حيث يمكن أن يحدث واحد أو أكثر من التفاعلات الكيميائية بين واحد أو أكثر من نواتج التفاعل اختياريًا في وجود واحد أو أكثر من المحفزات. على سبيل المثال، يمكن أن يتضمن مفاعل ذو خزان أو مفاعل أنبوبي tubular reactor مهيأ ليعمل بوصفه مفاعل ذو دفعات batch reactor، أو مفاعل ذو خزان مزود بخفاق مستمر continuous stirred-tank reactor (CSTR)، أو مفاعل تدفق كتلي plug flow reactor. تتضمن المفاعلات التمثيلية مفاعلات ذات طبقة محشوة packed bed reactors، مثل المفاعلات ذات الطبقة الثابتة fixed bed reactors، والمفاعلات ذات الطبقة المميعة fluidized bed reactors. يمكن أن يتضمن نظام تفاعل واحد أو أكثر من "أحياز التفاعل". على النحو المستخدم في هذا الكشف، يشير "حيز التفاعل" إلى مساحة حيث يحدث تفاعل معين. على سبيل المثال، يمكن أن يكون لمفاعل ذو طبقة محشوة له طبقات محفز catalyst beds متعددة أحياز تفاعل متعددة multiple reaction zones، حيث يتم تحديد كل حيز تفاعل بمساحة كل طبقة محفزة. في مثال غير حصري آخر، يمكن أن يتضمن نظام تفاعل محفز متعدد المراحل multi-stage catalyst reaction system مفاعلات متعددة، ويمكن لكل مفاعل أن يحدد "حيز تفاعل" منفصل.

في واحد أو أكثر من نماذج نظام تفاعل متعدد المحفزات، يمكن أن يكون لمحفز في كل حيز تفاعل كمية قليلة نسبيًا من أنواع مختلفة من المحفزات من أحياز التفاعل الأخرى. على سبيل المثال، يمكن أن يكون لحيز التفاعل أقل من 10 في المئة بالوزن (wt.%) من المحفز من حيز تفاعل آخر، أو

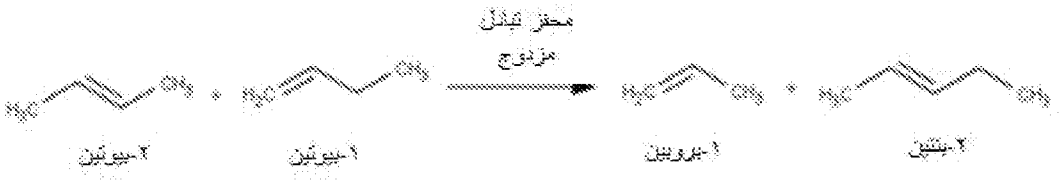
حتى أقل من 5٪ بالوزن من المحفزات من حيز تفاعل آخر. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يشتمل حيز تفاعل على خليط من واحد أو أكثر من المحفزات.

على النحو المبين في الصيغة الكيميائية 1، المعروضة لاحقًا في الكشف الحالي، تكون أزمرة 2-بيوتينات 2-butenes (والتي يمكن أن تتضمن أيزومرات سيس-2-بيوتين cis-2-butene، أو ترانس-2-بيوتين trans-2-butene، أو كليهما) إلى 1-بيوتين، والعكس هي تفاعل توازني على النحو الذي تشير إليه الأسهم ثنائية الاتجاه ذات الرؤوس المفردة. يمكن تحقيق الأزمرة بمحفز أزمرة. إن "محفز الأزمرة"، على نحو استخدامه في هذا الكشف، هو محفز يعزز أزمرة الألكينات alkenes، بما في ذلك، على سبيل المثال، أزمرة 2-بيوتينات 2-butenes إلى 1-بيوتين. يمكن تحقيق تبادل مزدوج متصالب على النحو المبين في الصيغة الكيميائية 2، المعروضة لاحقًا في الكشف الحالي، بمحفز التبادل المزدوج. على النحو المستخدم في هذا الكشف، يشير "التبادل المزدوج المتصالب" إلى تفاعل عضوي organic reaction ينطوي على إعادة توزيع شظايا الألكينات من خلال انشقاق وإعادة توليد الروابط المزدوجة كربون-كربون carbon-carbon double bonds. في حالة 2-بيوتينات و1-بيوتين، تنتج إعادة توزيع الروابط المزدوجة كربون-كربون هذه من خلال التبادل المزدوج البروبين وأولفينات C_5-C_6 olefins C_5-C_6. يشير "محفز التبادل المزدوج"، على نحو استخدامه في هذا الكشف، إلى محفز يعزز تفاعل التبادل المزدوج للألكينات لتكوين ألكينات أخرى. يمكن لمحفز التبادل المزدوج أيضًا أن يقوم بأزمرة 2-بيوتينات إلى 1-بيوتين من خلال آلية تفاعل reaction mechanism "تبادل مزدوج ذاتي". علاوةً على ذلك، على النحو المبين في الصيغة الكيميائية 3 التالية، يشير "التكسير" إلى التحويل الحفزي لألكينات C_4-C_6 alkenes إلى بروبين وألكانات، أو ألكينات alkenes، أو ألكانات وألكينات أخرى، على سبيل المثال، ألكينات C_1-C_2 alkenes C_2-C_1.

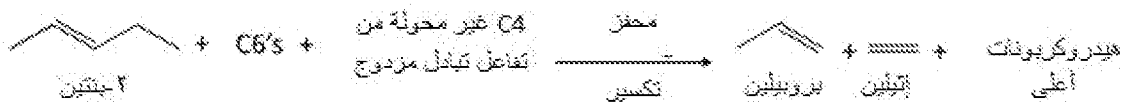
- الصيغة الكيميائية 1: أزمرة 2-بيوتين 2-Butene



- الصيغة الكيميائية 2: تبادل مزدوج متصالب



- الصيغة الكيميائية 3: التكسير



بالإشارة إلى الصيغ الكيميائية 1–3، لا تقتصر تفاعلات الأزمرة، والتبادل المزدوج، والتكسير على نواتج التفاعل والمنتجات هذه؛ مع ذلك، توفر الصيغ الكيميائية 1–3 توضيح مبسط لمنهجية التفاعل. على النحو المبين في الصيغ الكيميائية 1 و2، يمكن أن تحدث تفاعلات التبادل المزدوج بين اثنين من الألكينات. يمكن تبادل المجموعات المربوطة بذرات كربون carbon atoms الرابطة المزدوجة كربون–كربون بين الجزيئات لإنتاج اثنين من الألكينات جديدين بالمجموعات المستبدلة. يمكن أن يحدد المحفز المحدد الذي يتم اختياره من أجل تفاعل التبادل المزدوج للأولفين olefin metathesis reaction بصفة عامة إذا قد تم تكوين سيس–أيزومر cis–isomer أو ترانس–أيزومر trans–isomer، حيث يمكن أن يكون تكون سيس– أو ترانس–أيزومر دالة جزئيًا على الأقل على تنسيق جزئيات الأولفين olefin molecules بالمحفز، حيث قد تكون التأثيرات التجسيمية للبدائل على الرابطة المزدوجة للكربون–كربون للجزيء المكون حديثًا.

في عملية، يمكن أن يتم إنتاج تيار منتج يشتمل على البروبين من تيار يحتوي على البيوتين من خلال الأزمرة، وتحويل التبادل المزدوج، والتكسير من خلال ملامسة التيار الذي يحتوي على البيوتين بنظام محفز متعدد المراحل. يمكن أن يتضمن التيار الذي يحتوي على البيوتين 2–بيوتين، والذي يمكن أن يتضمن أيزومرات سيس–2–بيوتين، أو ترانس–2–بيوتين، أو كليهما. يمكن أن يتضمن التيار الذي يحتوي على البيوتين اختياريًا 1–بيوتين. يركز الكشف الحالي، في بعض النماذج، على تيار يحتوي على 2–بيوتين، أو 1–بيوتين، أو كليهما؛ مع ذلك، من المعروف أنه يمكن أن توجد أيضًا مكونات C_1–C_6 أخرى في التيار الذي يحتوي على البيوتين. يمكن ألا تضر كمية ضئيلة من الأيزوبيوتين isobutene أو كمية أعلى من الغازات الخاملة مثل n–بيوتان n–butane التفاعل أو

تكون كمية المنتجات الجانبية التي يتم تكوينها خلال التفاعلات لا تكاد تذكر بحيث لا تؤثر على الناتج الكلي لإجمالي البروبين.

بالإشارة إلى الشكل رقم (1)، يتم توضيح نموذج لنظام محفز متعدد المراحل لإنتاج البروبين من تيار يحتوي على البيوتين، يتم تمييز نظام المحفز متعدد المراحل بالرقم المرجعي 110. يمكن أن يتضمن نظام المحفز متعدد المراحل 110 حيز تفاعل أزمرة 118، وحيز تفاعل تبادل مزدوج 120، وحيز تفاعل تكسير 122. يمكن وضع حيز تفاعل التبادل المزدوج 120 بعد حيز تفاعل الأزمرة 118، ويمكن وضع حيز تفاعل التكسير 122 بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج 120. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتضمن نظام المحفز متعدد المراحل 110 مفاعل 112. على النحو المصور في الشكل رقم (1)، يتم إدخال تيار مدخل 114 إلى المفاعل 112، ويمر تيار مخرج 116 خارج المفاعل 112. في بعض النماذج، يمكن أن يشتمل نظام المحفز متعدد المراحل 110 على حيز تفاعل الأزمرة 118، وحيز تفاعل التبادل المزدوج 120، وحيز تفاعل التكسير 122 موضوعين داخل المفاعل 112. بالتالي، يمر محتوى نواتج التفاعل إلى حيز تفاعل الأزمرة 118 عبر تيار المدخل 114، من خلال حيز تفاعل الأزمرة 118، وحيز تفاعل التبادل المزدوج 120، وحيز تفاعل التكسير 122، ويتم تمريره خارج حيز التكسير بوصفه تيار المخرج outlet stream 116.

في حين لم يتم تصوير ذلك في الشكل رقم (1)، ينبغي فهم أنه في نماذج أخرى، يمكن وضع كل حيز تفاعل (أي، على حيز تفاعل الأزمرة 118، وحيز تفاعل التبادل المزدوج 120، وحيز تفاعل التكسير 122) في المفاعل الخاص به، مرتبين بشكل متسلسل، حيث يدخل الفائض من المفاعل العلوي إلى المفاعل السفلي بعده في تيار مدخل. في نماذج أخرى، يمكن أن يتضمن واحد أو أكثر من حيز تفاعل الأزمرة 118، وحيز تفاعل التبادل المزدوج 120، وحيز تفاعل التكسير 122 مزيجًا من اثنين أو أكثر من محفز الأزمرة 124، أو محفز التبادل المزدوج 126، أو محفز التكسير 128. على سبيل المثال، على النحو المصور في الشكل رقم (8)، في نماذج، يمكن مزج كلٍ من محفز الأزمرة 124، أو محفز التبادل المزدوج 126، أو محفز التكسير 128 الثلاثة جميعًا في حيز تفاعل مفرد 724 داخل مفاعل مفرد 112. بشكل بديل، يمكن أن يشتمل نظام المحفز متعدد المراحل 110 على مفاعل علوي يشتمل على محفز الأزمرة 124، مثل أكسيد المغنسيوم، والذي يمكن تشغيله عند درجة حرارة منخفضة إلى حدٍ ما، ومفاعل سفلي يشتمل على محفز التبادل المزدوج ومحفز التكسير،

والذي يمكن تشغيله عند درجة حرارة أعلى إلى حدٍ ما. في مثال آخر، يمكن أن يتضمن المفاعل العلوي محفز الأزمرة 124 ومحفز التبادل المزدوج 126 ويمكن أن يتضمن المفاعل السفلي كمية ثانية من محفز التبادل المزدوج 126 ومحفز التكسير. يتم فهم أنه يمكن استعمال العديد من تهيئات المفاعل وطرق وضع طبقات المحفز في أنظمة المحفز متعددة المراحل 110 الموصوفة في هذا الكشف.

على النحو الموصوف مسبقًا في هذا الكشف، يمكن أن يوجد 2-بيوتين (بما في ذلك أيزومرات سيس-2بيوتين، أو ترانس-2-بيوتين، أو كليهما) في تيار المدخل 114، ويمكن أن يحتوي تيار المدخل 114 على 2-بيوتين بكمية تتراوح من حوالي 10٪ بالوزن إلى 70٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 40٪ بالوزن، أو من 20٪ بالوزن إلى 70٪ بالوزن، أو من 20٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن، أو من 20٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن، أو من 20٪ بالوزن إلى 40٪ بالوزن، أو من 30٪ بالوزن إلى 70٪ بالوزن، أو من 30٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن، أو من 30٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن، أو من 30٪ بالوزن إلى 40٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن. في بعض النماذج، يمكن أن يتضمن تيار المدخل 114 1-بيوتين بكمية تتراوح من 5٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 40٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 40٪ بالوزن، أو من 15٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن، أو من 15٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن، أو من 15٪ بالوزن إلى 40٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 20٪ بالوزن، أو من 40٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن. في بعض النماذج، يمكن أن يتضمن تيار المدخل 114 أيضًا n-بيوتان بكمية تتراوح من 5٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن، أو من 15٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 25٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 25٪ بالوزن، أو من 15٪ بالوزن إلى 25٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 15٪ بالوزن، أو من 25٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون تيار المدخل 114 تيار نتاج منقى بالإذابة-2 يتضمن من 20٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن من سيس-أو ترانس-2-بيوتين، أو كليهما، ومن 10٪ بالوزن إلى 60٪ بالوزن من 1-بيوتين، ومن 15٪ بالوزن إلى 25٪ بالوزن من n-بيوتان. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون تيار المدخل 114 تيار نتاج منقى بالإذابة-3 والذي يمكن أن يتضمن من 30٪ بالوزن إلى 70٪ بالوزن من

سيس- أو ترانس-2-بيوتين ومن 10٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن من n-بيوتان. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون تيار المدخل 114 تيار نتاج منقى بالإذابة-1 والذي يمكن أن يتضمن من 10٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن من سيس- أو ترانس-2-بيوتين، أو كليهما، أو من 25٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن من 1-بيوتين، ومن 20٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن من الأيزوبيوتين. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون تيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين خاليًا إلى حدٍ كبير من الإثيلين. على النحو المستخدم في هذا الكشف، يعني المصطلح "خاليًا إلى حدٍ كبير" من مكون أنه أقل من 1٪ من ذلك المكون في جزء معين من محفز، أو تيار، أو حيز تفاعل. على سبيل المثال، يمكن أن يكون لتيار المدخل 114، والذي يمكن أن يكون خاليًا إلى حدٍ كبير من الإثيلين، أقل من 1٪ بالوزن من الإثيلين. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون تيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين خاليًا إلى حد كبير من الأيزوبيوتين. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن ان يكون لتيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين أقل من 0.1٪ بالوزن من الأيزوبيوتين. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون تيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين تيار نتاج منقى بالإذابة-1 له من 20٪ بالوزن إلى 50٪ بالوزن من الأيزوبيوتين.

يمكن أن يتضمن حيز تفاعل الأزمرة 118 من نظام المحفز متعدد المراحل 110 محفز أزمرة 124. يمكن أن يعزز محفز الأزمرة 124 توازن تفاعل أزمرة 2-بيوتين في تيار المدخل 114 إلى 1-بيوتين، وعكس ذلك. فيما يتعلق بتيار مدخل 114 له تركيز أكبر من 2-بيوتين مقارنةً بـ 1-بيوتين، يمكن أن يجري محفز الأزمرة 124 أزمرة جزء على الأقل من 2-بيوتين إلى 1-بيوتين. يمكن أن ينتج حيز تفاعل الأزمرة 118 منتج تفاعل أزمرة يمكن أن يتضمن 2-بيوتين (سيس-، ترانس-، أو كليهما) و1-بيوتين. يمكن أن يعمل محفز الأزمرة 124 أيضًا للحفاظ على تركيزات التوازن بين 1-بيوتين و2-بيوتين في منتج تفاعل الأزمرة. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون محفز الأزمرة 124 هو أكسيد المغنسيوم.

يمكن أن يتضمن حيز تفاعل التبادل المزدوج 120 محفز تبادل مزدوج 126. في حيز تفاعل التبادل المزدوج 120، يمكن أن يحول محفز التبادل المزدوج 126 1-بيوتين و2-بيوتين في منتج تفاعل الأزمرة، والذي يتم إنتاجه في حيز تفاعل الأزمرة 118، إلى بروبين وألكينات أخرى من خلال التبادل المزدوج المتصالب. يمكن أن ينتج حيز تفاعل التبادل المزدوج 120 منتج تفاعل تبادل مزدوج يمكن أن يتضمن البروبين وألكانات وألكينات أخرى، مثل البروبين وأولفينات C_5+ olefins C_5+ الأخرى،

على سبيل المثال. يمكن أن يتضمن منتج تفاعل التبادل المزدوج أيضًا بيوتينات غير متفاعلة unreacted butenes، مثل سيس-2-بيوتين cis-2-butene، أو ترانس-2-بيوتين trans-2-butene، أو 1-بيوتين، أو توليفات من اثنين أو أكثر من هذه البيوتينات. يمكن أن ينفذ محفز التبادل المزدوج 126 أيضًا تبادل مزدوج ذاتي لـ 2 بيوتين إلى 1-بيوتين، والعكس، في حيز تفاعل التبادل المزدوج 120. يمكن أن يكون التبادل المزدوج الذاتي للبيوتين بمحفز التبادل المزدوج 126 في حيز تفاعل التبادل المزدوج 120 اختياريًا بما أنه يمكن لمحفز الأزمرة 124 أن ينفذ بالفعل أزمرة 2-بيوتين إلى 1-بيوتين في حيز تفاعل الأزمرة 118. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتضمن محفز التبادل المزدوج 126 مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز.

يمكن أن يتضمن حيز تفاعل التكسير 122 من نظام المحفز متعدد المراحل 110 محفز تكسير 128 يمكنه تحويل جزء من 2- بيوتين غير المتفاعل وأولفينات C_5+ التي يتم إنتاجها في تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج، والذي يتم إنتاجه في حيز تفاعل التبادل المزدوج، إلى أولفينات أخف، مثل الإثيلين والبروبين. بالتالي، يمكن أن ينتج حيز تفاعل التكسير 122 تيار منتج تكسير (يتم تمريره إلى الخارج من حيز تفاعل التكسير 122 في تيار المخرج 116) والذي يمكن أن يتضمن بروبين، أو إثيلين، أو كليهما. يمكن أيضًا تحويل هيدروكربونات C_4+ الأخرى، مثل البيوتان أو البنتان والتي يمكن أن توجد في تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج، إلى ألكانات وألكينات أخف من خلال محفز التكسير 128 في حيز تفاعل التكسير 122. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون محفز التكسير 128 هو زيوليت zeolite، مثل محفز يحتوي على السيليكا silica-containing catalyst مهيكل له إطار موردينايت معكوس mordenite framework inverted (MFI).

في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يشتمل نظام المحفز متعدد المراحل لإنتاج البروبين من تيار يحتوي على البيوتين على حيز تفاعل أزمرة له محفز أزمرة وهو أكسيد المغنسيوم، وحيز تفاعل تبادل مزدوج بعد حيز تفاعل الأزمرة وله محفز تبادل مزدوج وهو مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز، وحيز تفاعل تكسير بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج وله محفز تكسير وهو محفز يحتوي على السيليكا مهيكل له إطار موردينايت معكوس.

بشكل بديل، في بعض النماذج، يمكن مزج اثنين أو أكثر من محفز الأزمرة 124، أو محفز التبادل المزدوج 126، أو محفز التكسير 128 معًا في واحد أو أكثر من أحياز التفاعل reaction zones المختلطة. على سبيل المثال، بالإشارة إلى الشكل رقم (6)، في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن

يتضمن نظام المحفز متعدد المراحل 110 حيز تفاعل أزمرة وتبادل مزدوج مختلط 620 وحيز تفاعل تكسير 622، والذي يمكن وضعه بعد حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 620. يمكن أن يشتمل حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 620 على مزيج من محفز الأزمرة 124، مثل أكسيد المغنسيوم، ومحفز التبادل المزدوج 126، مثل مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز. يمكن أن يشتمل حيز تفاعل التكسير 622 على محفز التكسير 128. يمكن أن يدخل تيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين إلى نظام المحفز متعدد المراحل 110 ويتم إدخاله إلى حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 620. يمكن أن يتم أزمرة البيوتين في تيار المدخل 114 جزئيًا على الأقل بواسطة محفز الأزمرة 124 وأن يتم تبادله بشكل مزدوج جزئيًا على الأقل بواسطة محفز التبادل المزدوج 126 في حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 620 لتكوين منتج تفاعل تبادل مزدوج. يمكن تمرير منتج تفاعل التبادل المزدوج بعدئذ إلى حيز تفاعل التكسير 622، حيث يمكن تكسير منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل بواسطة محفز التكسير 128 في حيز تفاعل التكسير 622 لتكوين منتج تفاعل تكسير. في بعض النماذج، يمكن أن يكون حيز تفاعل التكسير 622 هو حيز تبادل مزدوج وتكسير مختلط يشتمل على مزيج من محفز التبادل المزدوج 126 ومحفز التكسير 128.

بالإشارة إلى الشكل رقم (7)، في نماذج أخرى، يمكن أن يتضمن نظام المحفز متعدد المراحل 110 حيز تفاعل أزمرة 718 وحيز تفاعل تبادل مزدوج وتكسير مختلط 720، والذي يمكن وضعه بعد حيز تفاعل الأزمرة 718. يمكن أن يشتمل حيز تفاعل الأزمرة 718 على محفز الأزمرة 124، والذي يمكن أن يكون أكسيد المغنسيوم. يمكن أن يشتمل حيز تفاعل التبادل المزدوج والتكسير المختلط 720 على مزيج من محفز التبادل المزدوج 126، مثل مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز، ومحفز التكسير 128. يمكن أن يدخل تيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين إلى نظام المحفز متعدد المراحل 110 وأن يتم إدخاله إلى حيز تفاعل الأزمرة 718. يمكن أزمرة البيوتين في تيار المدخل 114 جزئيًا على الأقل بواسطة محفز الأزمرة 124 في حيز تفاعل الأزمرة 718 لتكوين منتج تفاعل أزمرة. يمكن أن يتم تمرير منتج تفاعل الأزمرة بعدئذ إلى حيز تفاعل التبادل المزدوج والتكسير المختلط 720. يمكن أن يتم تبادل منتج تفاعل الأزمرة بشكل مزدوج جزئيًا على الأقل بواسطة محفز التبادل المزدوج 126 ويتم تكسيره جزئيًا على الأقل بواسطة محفز التكسير 128 في حيز تفاعل التبادل المزدوج والتكسير المختلط 720 لتكوين تيار المخرج 116،

والذي يمكن أن يشتمل على منتج تفاعل تبادل مزدوج ومنتج تفاعل تكسير. في بعض من هذه النماذج، يمكن أن يكون حيز تفاعل الأزمرة 718 هو حيز تفاعل تبادل مزدوج وتكسير مختلط يشتمل على مزيج من محفز التبادل المزدوج 126 ومحفز الأزمرة 124.

بالإشارة إلى الشكل رقم (8)، في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يشتمل نظام المحفز متعدد المراحل 110 على حيز تفاعل مختلط مفرد 734 يشتمل على مزيج من محفز الأزمرة 124 (مثل أكسيد المغنسيوم)، ومحفز التبادل المزدوج 126 (مثل مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز)، ومحفز التكسير 128. يمكن إدخال تيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين إلى حيز التفاعل المختلط 734. يمكن أزمرة البيوتين من تيار المدخل 114 جزئيًا على الأقل بواسطة محفز الأزمرة 124، وتبادله بشكل مزدوج جزئيًا على الأقل بواسطة محفز التبادل المزدوج 126، وتكسيره جزئيًا على الأقل بواسطة محفز التكسير 128 في حيز التفاعل المختلط 734 لتكوين تيار مخرج 116 يشتمل على البروبين.

في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن وضع المحفزات على هيئة طبقات داخل حيز التفاعل المختلط لصنع تدرج محفزات عبر حيز التفاعل المختلط. على سبيل المثال، بالإشارة إلى الشكل رقم (9)، في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتضمن نظام المحفز متعدد المراحل 110 حيز تفاعل أزمرة وتبادل مزدوج مختلط 920 وحيز تفاعل تكسير 922. يمكن أن يتضمن حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 920 عدد من طبقات المحفز 940 التي تشتمل على مزيج من محفز الأزمرة 124 (الشكل رقم (6)) ومحفز التبادل المزدوج 126 (الشكل رقم (6)). يمكن أن يكون لكلٍ من طبقات المحفز 940 مزيج محفز مختلف يشتمل على نسب مختلفة من محفز الأزمرة 124 ومحفز التبادل المزدوج 126. على سبيل المثال، على النحو المبين في الشكل رقم (9)، يمكن أن تشتمل طبقة المحفز 940 القريبة من تيار المدخل 114 على خليط محفز أول 950 والذي يكون محفز الأزمرة بشكل أولي. يمكن أن تشتمل طبقات المحفز 940 المتتالية على خليط محفز ثان 952 وخليط محفز ثالث 954 لهما نسب متزايدة تدريجيًا من محفز التبادل المزدوج. يمكن أن يكون لخليط محفز رابع 956 عند الطرف السفلي من حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 920 كمية أكبر من محفز التبادل المزدوج من محفز الأزمرة. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون لخليط المحفز الرابع 956 عند الطرف السفلي من حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 920 نسبة حجمية من محفز التبادل المزدوج إلى محفز الأزمرة تتراوح من 8:2 إلى 2:8، أو من 6:4 إلى 4:6. على

الرغم من أن حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 920 الوارد في الشكل رقم (9) موضح وموصوف على أنه لديه أربع طبقات محفز 940، من المفهوم أنه يمكن استعمال أكثر من أربع طبقات محفز 940 أو أقل من أربع طبقات محفز 940 لصنع تدرج في تركيز المحفز عبر حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط 920 في اتجاه التدفق. في بعض النماذج، يمكن أن يتضمن نظام المحفز متعدد المراحل 110 حيز تفاعل مختلط مفرد له طبقات محفز متعددة مع كون كلٍ من طبقات المحفز تشتمل على مزيج من محفز الأزمرة 124، ومحفز التبادل المزدوج 126، ومحفز التكسير 128 له نسب مختلفة من المحفزات. كما ذُكر مسبقًا في هذا الكشف، من المفهوم أنه يمكن استخدام طرق متعددة لوضع المحفزات على هيئة طبقات في أنظمة المحفز متعددة المراحل multiple-stage catalyst systems 110 الموصوفة في هذا الكشف.

بالإشارة مرة أخرى إلى الشكل رقم (1)، في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن وضع حيز تفاعل الأزمرة 118، وحيز تفاعل التبادل المزدوج 120 وحيز تفاعل التكسير 122 في المفاعل 112 مع كون حيز تفاعل الأزمرة 118 موضوع بشكل مجاور لتيار المدخل 114 للمفاعل 112، وحيز التبادل المزدوج 120 موضوع بعد حيز تفاعل الأزمرة 118، وحيز تفاعل التكسير 122 موضوع بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج 120. يمكن وضع واحد أو أكثر من أحياز التفاعل الإضافية (غير مبينة) داخل المفاعل 112 أعلى أو أسفل واحد أو أكثر من حيز تفاعل الأزمرة 118، وحيز تفاعل التبادل المزدوج 120، وحيز تفاعل التكسير 122. على النحو المشار إليه مسبقًا في هذا الكشف، إن مناقشة وجود نظام محفز متعدد المراحل له ثلاث أحياز تفاعل هي مجرد للتبسيط ويتم تصور أيضًا نظام محفز متعدد المراحل له أربع أحياز تفاعل أو أكثر وأربع محفزات أو أكثر.

في بعض النماذج، يمكن فصل كل حيز تفاعل 118، 120، 122 عن كل حيز تفاعل مجاور بواسطة فاصل 120، مثل طبقة من صوف مرو. على النحو المستخدم في هذا الكشف، يمكن أن يشير مصطلح "الفاصل" إلى حاجز قابل لنفاذ الموائع منه بين طبقات المحفز الذي يمنع – إلى حدٍ كبير – جسيمات المحفز الصلبة في طبقة محفز واحدة من الانتقال إلى طبقة محفز مجاورة، في حين السماح لنواتج التفاعل والمنتجات بالتحرك عبر الفاصل. يمكن للفاصل 130 أن يكون خامل كيميائيًا ولا يساهم –بصفة عامة– في كيمياء التفاعل. يمكن أن يحافظ إدخال الفاصل 130 بين أحياز التفاعل 118، 120، 122 على كون كل محفز 124، 126، 128 في حيز التفاعل الخاص به 118، 120، 122 ويمنع انتقال المحفزات المختلفة بين أحياز التفاعل، وهو الأمر الذي قد يؤدي

إلى زيادة إنتاج المنتجات الثانوية غير المرغوب فيها وانخفاض الناتج. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون لكل حيز تفاعل 118، 120، 122 كمية قليلة نسبيًا من أنواع مختلفة من المحفزات من أحياز التفاعل الأخرى، أو يمكن أن يكون خاليًا تمامًا من المحفزات من أحياز التفاعل الأخرى 118، 120، 122. على سبيل المثال، يمكن أن يشتمل حيز تفاعل الأزمرة على أقل من 10٪ بالوزن من محفز التبادل المزدوج أو محفز التكسير من أحياز التفاعل الأخرى، أو حتى أقل من 5٪ بالوزن من محفزات التبادل المزدوج أو التكسير من أحياز التفاعل الأخرى. إضافةً إلى ذلك، يمكن أن يشتمل حيز تفاعل التبادل المزدوج على أقل من 10٪ بالوزن من على أقل من 10٪ بالوزن من محفز الأزمرة أو محفز التكسير من أحياز التفاعل الأخرى، أو حتى أقل من 5٪ بالوزن من محفزات الأزمرة أو التكسير من أحياز التفاعل الأخرى. بالمثل، يمكن أن يشتمل حيز محفز التكسير على أقل من 10٪ بالوزن من محفزات الأزمرة أو التبادل المزدوج من أحياز التفاعل الأخرى، أو حتى أقل من 5٪ بالوزن من محفزات الأزمرة أو التبادل المزدوج. في بعض النماذج، يمكن أن يكون كل حيز تفاعل 118، 120، 122 خاليًا إلى حدٍ كبير من أنواع مختلفة من المحفزات من أحياز التفاعل الأخرى بحيث يمكن أن يحتوي كل حيز تفاعل 118، 120، 122 على أقل من 1٪ بالوزن من أنواع مختلفة من المحفزات من أحياز التفاعل الأخرى. في نماذج أخرى، يمكن وضع كل حيز تفاعل 118، 120، 122 مباشرةً مقابل كل حيز تفاعل مجاور دون فاصل متدخل. في بعض النماذج، يمكن وضع طبقة من كربيد السليكون 132 بعد حيز تفاعل التكسير 122، بين حيز تفاعل أخير وتيار المخرج 116 للمفاعل 112. يكون كربيد السليكون silicon carbide 132 خامل كيميائيًا ولا يساهم في كيمياء التفاعل.

يمكن أن يقوم محفز الأزمرة في حيز تفاعل الأزمرة 118 لنظام المحفز متعدد المراحل بأزمرة 2-بيوتين (والذي يمكن أن يوجد في تيار المدخل 114) إلى 1-بيوتين، وهو الأمر الذي قد يحسن الناتج الكلي من البروبين من خلال نظام المحفز متعدد المراحل 110. يمكن أن يكون محفز الأزمرة أكسيد فلز، مثل أكسيد المغنسيوم، أو أكسيد الكالسيوم Calcium oxide (CaO)، أو أكسيد فلز آخر أو توليفات من هذه. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون محفز الأزمرة هو أكسيد المغنسيوم. يتوافق أكسيد المغنسيوم بصفة عامة مع المادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد التنجستن، وهي محفز التبادل المزدوج الذي يمكن استخدامه في حيز تفاعل التبادل المزدوج في النماذج. تضمن الأزمرة الزائدة لـ 2-بيوتين إلى 1-بيوتين بواسطة أكسيد المغنسيوم التوافر الكافي

لكلٍ من 2-بيوتين و1-بيوتين من أجل تفاعل التبادل المزدوج المتصالب الذي يحدث في حيز تفاعل التبادل المزدوج، والذي قد يؤدي إلى زيادة قصوى في تركيزات البروبين وأولفينات C_5+ في تيار منتج التبادل المزدوج. يتم تكسير أولفينات C_5+، مثل البروبين، حفزيًا بشكل إضافي بواسطة محفز التكسير في حيز تفاعل التكسير لزيادة ناتج البروبين من نظام المحفز متعدد المراحل 110 بشكل إضافي. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن إضافة أكسيد الكالسيوم كمحفز مساعد إلى محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم.

يمكن أن يخفض استخدام أكسيد المغنسيوم بوصفه محفز أزمرة أيضًا من إنتاج الأيزوبيوتين وغيره من المنتجات الجانبية غير المرغوب فيها في حيز تفاعل التبادل المزدوج 120. يتم إنتاج معظم الأيزوبيوتين في حيز تفاعل التكسير 122، مع ذلك، يمكن إنتاج كميات قليلة من الأيزوبيوتين في حيز تفاعل التبادل المزدوج 120 من خلال واحد أو أكثر من التفاعلات الجانبية. تساعد الأزمرة الزائدة لـ 2-بيوتينات إلى 1-بيوتين، والعكس، بواسطة محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم على الحفاظ على النسب المثالية لـ 1-بيوتين و2-بيوتينات في حيز تفاعل التبادل المزدوج 120. من خلال وجود الكمية الصحيحة من 1-بيوتين و2-بيوتينات في حيز تفاعل التبادل المزدوج 120، يتم تعزيز تفاعل التبادل المزدوج المتصالب، ويتم استهلاك البيوتينات في تفاعل التبادل المزدوج المتصالب بدلًا من أن تخضع للتفاعلات الجانبية التي تنتج الأيزوبيوتين. من خلال خفض كميات 1-بيوتين و2-بيوتين غير المتفاعلة، يتم خفض كميات الأيزوبيوتين أيضًا.

يمكن إكمال أزمرة 2-بيوتين إلى 1-بيوتين بواسطة أكسيد المغنسيوم عند درجات حرارة تفاعل تتراوح من 150 درجة مئوية (سلسيوس) إلى 800 درجة مئوية، أو من 150 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية، أو من 150 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 800 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 550 درجة مئوية. يمكن أن تسمح نطاقات درجة الحرارة الواسعة هذه الملائمة للاستخدام مع محفز أكسيد المغنسيوم بخفض درجة حرارة تشغيل نظام المحفز متعدد المراحل بأكمله مقارنةً ببعض أنظمة المحفز مزدوجة المراحل دون محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم. في واحد أو أكثر من النماذج، تتراوح درجة حرارة تفاعل أزمرة 2-بيوتينات إلى 1-بيوتين من 300 درجة مئوية إلى 550 درجة مئوية. يعتمد نظام محفز مزدوج المراحل دون أكسيد المغنسيوم على محفز التبادل المزدوج من أجل إجراء التبادل المزدوج الذاتي لـ 2-بيوتين إلى 1-بيوتين. دون

التقيد بالنظرية، يُعتقد أن أكسيد المغنسيوم قادر على أزمرة 2-بيوتين إلى 1-بيوتين عند درجة حرارة أقل من درجة الحرارة المطلوبة لأزمرة 2-بيوتين إلى 1-بيوتين من خلال التبادل المزدوج الذاتي بواسطة محفز التبادل المزدوج. يمكن أن تؤدي درجات حرارة التشغيل الأقل القادرة باستخدام محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم إلى زيادة في ناتج البروبين من نظام المحفز متعدد المراحل. توفر درجة حرارة التشغيل الأقل أيضًا الفائدة الفورية المتمثلة في تكاليف التشغيل الأقل نتيجة للتسخين المطلوب بشكل أقل.

في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن استخدام أكسيد المغنسيوم لإزالة المواد الملوثة من التيار الذي يحتوي على البيوتين أو تيار تغذية آخر. يمكن أن تكون محفزات التبادل المزدوج حساسة للسموم، مثل البيروكسيدات peroxides، والماء، وثاني أكسيد الكربون carbon dioxide، والأكسجينات oxygenates، والفلزات الثقيلة heavy metals، ومركبات النتروجين nitrogen compounds، ومركبات الكبريت sulfur compounds، والتي يمكن أن يكون لها تأثير ضار على أداء محفز التبادل المزدوج. إن أكسيد المغنسيوم قادر على إزالة بعض السموم، مثل البيروكسيدات، على سبيل المثال، التي يمكن أن توجد في التيار الذي يحتوي على البيوتين أو تيارات التغذية الأخرة بتركيزات منخفضة. في بعض النماذج، يمكن استخدام محفز أكسيد المغنسيوم بوصفه طبقة واقية لمحفز التبادل المزدوج من خلال إزالة أو تدمير آثار الملوثات أو السموم التي يمكن أن توجد في التيار الذي يحتوي على البيوتين. من خلال عمله بوصفه طبقة واقية، يمكن أن يخفض أكسيد المغنسيوم تلويث نشاط محفز التبادل المزدوج، وهو الأمر الذي يمكنه أن يؤدي إلى تحسين ناتج البروبين ومدة خدمة أطول لمحفز التبادل المزدوج في حيز تفاعل التبادل المزدوج. يمكن لأكسيد المغنسيوم كذلك أن يحسن تحويل البيوتين إلى بروبين من خلال توليد طول غاز "أنواع مثارة"، مثل جذور الآليل allyl أو جذور الآليل أكسو allyl-oxo radicals، على سبيل المثال، والتي يمكن أن تكون بادئات precursors لسلسة من التفاعلات أو مواد منتجة لغيرها في مواقع التبادل المزدوج. من خلال توليد بادئات لسلسة من التفاعلات أو مواد منتجة لغيرها لمواقع التبادل المزدوج، يمكن لأكسيد المغنسيوم كذلك أن يحسن أنشطة التبادل المزدوج لنظام المحفز متعدد المراحل.

يمكن أن يكون لأكسيد المغنسيوم متوسط حجم جسيمات من 100 نانومتر (nm) إلى 500 نانومتر، أو من 100 نانومتر إلى 400 نانومتر، أو من 100 نانومتر إلى 375 نانومتر، أو من 200 نانومتر إلى 500 نانومتر، أو من 200 نانومتر إلى 400 نانومتر، أو من 200 نانومتر إلى 375

نانومتر. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون لأكسيد المغنسيوم متوسط حجم جسيمات من 100 نانومتر إلى 400 نانومتر. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون لأكسيد المغنسيوم متوسط حجم جسيمات من 200 نانومتر إلى 400 نانومتر. يمكن تحديد الخواص الفيزيائية لمحفز أكسيد المغنسيوم باستخدام محلل حجمي للجسيمات النانوية nano particle size analyzer، مثل تلك المتاحة من شركة (Horiba Scientific).

في بعض النماذج، يمكن أن يكون لأكسيد المغنسيوم إجمالي حجم مسامي من 0.05 سنتيمتر مكعب لكل جرام (سم^3/جرام) إلى 0.5 سم^3/جرام، أو من 0.05 سم^3/جرام إلى 0.4 سم^3/جرام، أو من 0.1 سم^3/جرام إلى 0.5 سم^3/جرام، أو من 0.1 سم^3/جرام إلى 0.4 سم^3/جرام. يمكن أن يكون لمحفز أكسيد المغنسيوم متوسط حجم مسامي يتراوح من 5 نانومتر إلى 50 نانومتر، أو من 5 نانومتر إلى 40 نانومتر، أو من 5 نانومتر إلى 30 نانومتر، أو من 10 نانومتر إلى 50 نانومتر، أو من 10 نانومتر إلى 40 نانومتر، أو من 10 نانومتر إلى 30 نانومتر، أو من 20 نانومتر إلى 50 نانومتر، أو من 20 نانومتر إلى 40 نانومتر، أو من 20 نانومتر إلى 30 نانومتر. يمكن أن يكون لأكسيد المغنسيوم مساحة سطح تتراوح من 50 متر مربع لكل جرام (متر^2/جرام) إلى 250 متر^2/جرام، أو من 50 متر^2/جرام إلى 225 متر^2/جرام، أو من 50 متر^2/جرام إلى 200 متر^2/جرام، أو من 50 متر^2/جرام إلى 175 متر^2/جرام، أو من 75 متر^2/جرام إلى 250 متر^2/جرام، أو من 75 متر^2/جرام إلى 200 متر^2/جرام، أو من 75 متر^2/جرام إلى 175 متر^2/جرام، أو من 100 متر^2/جرام إلى 250 متر^2/جرام، أو من 100 متر^2/جرام إلى 225 متر^2/جرام، أو من 100 متر^2/جرام إلى 200 متر^2/جرام، أو من 100 متر^2/جرام إلى 175 متر^2/جرام.

يمكن استخدام أكسيد المغنسيوم المتاح تجاريًا، مقل المنتج رقم 342793 من شركة (Sigma Aldrich) (>99٪ أساس فلزات ضئيلة الكمية)، على سبيل المثال، بوصفه مادة بدء في تحضير محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم. إضافةً إلى ذلك، يمكن تحضير أكسيد المغنسيوم باستخدام طريقة ترسيب مشارك، حيث يتم تخليق أكسيد المغنسيوم من تفاعل مركب نترات مغنسيوم magnesium nitrate compound، مثل سداسي هيدرات نترات المغنسيوم magnesium nitrate hexahydrate، وهيدروكسيد الأمونيوم ammonium hydroxide. يترسب أكسيد المغنسيوم الناتج عن هذا التفاعل خارج محلول التفاعل كمادة صلبة بيضاء، والتي يمكن بعدئذ فصلها، وغسلها، وتجفيفها. يرد وصف

تحضير أكسيد المغنسيوم بواسطة الترسيب المشارك لاحقًا في هذا الكشف في المثال رقم (2). يراعي هذا الكشف أيضًا طرقًا أخرى لتخليق أكسيد المغنسيوم باستخدام مواد منتجة لمواد غيرها أخرى، مثل تخليق كربونات المغنسيوم magnesium carbonate وتكليس كربونات المغنسيوم إلى أكسيد المغنسيوم. يمكن أن تتفاوت درجة القاعدية، والحجم المسامي، ومساحة سطح أكسيد المغنسيوم مع طريقة التخليق المستخدمة لصنع أكسيد المغنسيوم.

قبل استخدام أكسيد المغنسيوم بوصفه محفز الأزمرة في نظام المحفز متعدد المراحل، يمكن معالجة أكسيد المغنسيوم مسبقًا لتنشيط المواقع المسؤولة عن أزمرة البيوتين. يمكن معالجة أكسيد المغنسيوم مسبقًا من خلال التكليس في فرن تكليس. إن أكسيد المغنسيوم له طبيعة قاعدية بصفة عامة ويمكن أن تتأثر قاعدية أكسيد المغنسيوم بدرجة حرارة وعملية التكليس calcination، على وجه التحديد، يمكن أن تؤثر ظروف التكليس في قوة مواقع التفاعل القاعدي وكميتها في محفز أكسيد المغنسيوم. يمكن أن يحسن اختيار درجة حرارة التكليس المناسبة عدد المواقع القاعدية وقوتها في أكسيد المغنسيوم، بالتالي، يحسن أداء أزمرة محفز أكسيد المغنسيوم. يمكن أن تؤثر درجة حرارة التكليس ومعدل ازدياد عملية التكليس في أداء المحفز أكسيد المغنسيوم، وهو الأمر الذي قد يؤثر في انتقائية نظام المحفز متعدد المراحل. إن "درجة حرارة التكليس" هي متوسط درجة حرارة مستهدفة التي يتم تسخين أكسيد المغنسيوم إليها والتي يتم تكليس أكسيد المغنسيوم عندها على مدى فترة من الزمن خلال عملية التكليس. إن "معدل الازدياد"، على نحو استخدامه في هذا الكشف، هو المعدل الذي تزيد عنده درجة حرارة أكسيد المغنسيوم من درجة حرارة بدء إلى درجة حرارة التكليس. يمكن وضع أكسيد المغنسيوم في فرن التكليس calcination oven ويمكن زيادة درجة حرارة فرن التكليس عند معدل الازدياد إلى درجة حرارة التكليس. بعد ذلك، يمكن الحفاظ على أكسيد المغنسيوم عند درجة حرارة التكليس لفترة زمنية محددة مسبقًا. عند نهاية الفترة الزمنية المحددة مسبقًا، يمكن السماح لأكسيد المغنسيوم المتكلس بأن يبرد ببطء إلى درجة الحرارة المحيطة. يتم وصف تكليس أكسيد المغنسيوم لاحقًا في الكشف الحالي عن الاختراع في المثال رقم (1).

يمكن تكليس أكسيد المغنسيوم عند درجة حرارة تكليس تتراوح من 300 درجة مئوية إلى 800 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 650 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 800 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 650 درجة

مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 500 درجة مئوية إلى 800 درجة مئوية، أو من 500 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية، أو من 500 درجة مئوية إلى 650 درجة مئوية، أو من 500 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية. في واحد أو أكثر من النماذج، يتم تكليس أكسيد المغنسيوم عند درجة حرارة تكليس تعادل 500 درجة مئوية على الأقل. في واحد أو أكثر من النماذج، يتم تكليس أكسيد المغنسيوم عند درجة حرارة تكليس تتراوح من 300 درجة مئوية إلى 800 درجة مئوية. في واحد أو أكثر من النماذج، يتم تكليس أكسيد المغنسيوم عند درجة حرارة تكليس تتراوح من 400 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية. يمكن أن يتراوح معدل ازدياد عملية التكليس من 1 درجة مئوية (سلسيوس) لكل دقيقة (درجة مئوية/دقيقة) إلى 4 درجة مئوية دقيقة، أو من 1 درجة مئوية/دقيقة إلى 3 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1 درجة مئوية/دقيقة إلى 3 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1 درجة مئوية/دقيقة إلى 2.5 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1 درجة مئوية/دقيقة إلى 2 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1.5 درجة مئوية/دقيقة إلى 4 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1.5 درجة مئوية/دقيقة إلى 3 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1.5 درجة مئوية/دقيقة إلى 2.5 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1.75 درجة مئوية/دقيقة إلى 4 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1.75 درجة مئوية/دقيقة إلى 3 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1.75 درجة مئوية/دقيقة إلى 2.5 درجة مئوية/دقيقة، أو من 1.75 درجة مئوية/دقيقة إلى 2.25 درجة مئوية/دقيقة. يمكن تكليس أكسيد المغنسيوم في فرن التكليس لمدة زمنية محددة مسبقًا تتراوح من 1.5 ساعة إلى 5 ساعات، أو من 1.5 ساعة إلى 4 ساعات، أو من 1.5 ساعة إلى 3.5 ساعة، أو من 1.5 ساعة إلى 3 ساعات، أو من 1.5 ساعة إلى ساعتين، أو من ساعتين إلى 5 ساعات، أو من ساعتين إلى 4.5 ساعة، أو من ساعتين إلى 4 ساعات، أو من ساعتين إلى 3.5 ساعة، أو من 2.5 ساعة إلى 5 ساعات، أو من 2.5 ساعة إلى 4 ساعات، أو من 2.5 ساعة إلى 3.5 ساعة، أو من 2.5 ساعة إلى 3 ساعات، أو من 2.25 ساعة إلى 2.75 ساعة، أو من 2.25 ساعة إلى 3 ساعات. يمكن أن يتم تعريض محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم أيضًا إلى واحدة أو أكثر من عمليات المعالجة المسبقة الإضافية لتحسين نشاط المحفز. على سبيل المثال، بعد التكليس، يمكن تعريض أكسيد المغنسيومإلى غاز ثان أكسيد الكربون carbon dioxide (CO)، أو غاز الهيدروجين hydrogen (H_2)، أو كلٍ من غاز ثان أكسيد الكربون وغاز الهيدروجين لمدرة تتراوح من 10 دقائق إلى 20 دقيقة، أو لحوالي 15 دقيقة قبل بدء تدفق نواتج التفاعل إلى أكسيد المغنسيوم.

كما وصف مسبقًا في هذا الكشف، يمكن أن يكون محفز التبادل المزدوج هو مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز. تراعى مواد عديدة من أجل المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة mesoporous silica catalyst support، على سبيل المثال، واحد أو أكثر من المناجل الجزيئية molecular sieves أو الزيوليتات zeolites. على النحو المستخدم في الكشف الحالي، تشير عبارة "بمسام متوسطة" إلى مادة لها متوسط حجم مسام أكثر من 2 نانومتر وأقل من 50 نانومتر. يمكن الحصول على متوسط حجم المسام من متوسط مساحة السطح وتوزيع حجم المسام، واللذين يتم تحديدهما باستخدام طريقة بروناور-ايميت-تيلر Brunauer–Emmett–Teller (BET) التي سيتم وصفها لاحقًا في هذا الكشف. يتم تحديد متوسط حجم المسام – بصفة عامة – كقطر مسام أو نصف قطر مسام بناءً على افتراض المسام ذات الشكل الأسطواني. مع ذلك، يكون من المفهوم أنه يمكن أن يكون للمحفزات الموصوفة في هذا الكشف أشكال فعالية تكون أسطوانية أو أشكال أخرى، مثل، ولكن لا تقتصر على، أن تكون مخروطية، أو مربعة، او على شكل شق، أو مسام ذات شكل غير منتظم أخرى أو توليفات من هذه. في هذا الوصف، يتم الإبلاغ عن متوسط حجم المسام بوصفه متوسط قطر المسام. يمكن أن يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز حجم مسامي نسبي لوزن المادة يعادل 0.6 سنتيمتر مكعب على الأقل لكل جرام (سم^3/جرام). دون التقيد بالنظرية، يمكن ضبط توزيع حجم المسام والحجم المسامي الحاليين للمادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز لتحقيق نشاط حفزي أفضل وخفض انسداد المسام بواسطة أكاسيد الفلز metal oxides، حيث يمكن أن تكون أنظمة المحفز ذات الحجم المسامي pore size catalyst systems وحجم المسام الأصغر عرضة لانسداد المسام وبالتالي انخفاض النشاط الحفزي.

في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتراوح متوسط حجم مسام المادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة mesoporous silica–alumina catalyst support المشبعة بأكسيد الفلز من 2 نانومتر إلى 50 نانومتر، أو من 2.5 نانومتر إلى 40 نانومتر، أو من 2.5 نانومتر إلى 30 نانومتر، أو من 2.5 نانومتر إلى 20 نانومتر، أو من 2.5 نانومتر إلى 18 نانومتر، أو من 2.5 نانومتر إلى 12 نانومتر، أو من 2.5 نانومتر إلى 4.5 نانومتر، أو من 2.5 نانومتر إلى 3.5 نانومتر، أو من 8 نانومتر إلى 12 نانومتر، أو من 8 نانومتر إلى 18 نانومتر، أو من 8 نانومتر

إلى 20 نانومتر، أو من 8 نانومتر إلى 40 نانومتر، أو من 12 نانومتر إلى 18 نانومتر، أو من 12 نانومتر إلى 40 نانومتر.

في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتراوح الحجم المسامي النسبي لوزن المادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز من 0.6 سنتيمتر مكعب للجرام (سم^3/جرام) إلى 2.5 سم^3/جرام، أو من 0.6 سم^3/جرام إلى 1.5 سم^3/جرام، أو من 0.6 سم^3/جرام إلى 1.3 سم^3/جرام، أو من 0.6 سم^3/جرام إلى 1.1 سم^3/جرام، أو من 0.6 سم^3/جرام إلى 0.9 سم^3/جرام، أو من 0.7 سم^3/جرام إلى 0.9 سم^3/جرام، أو من 0.7 سم^3/جرام إلى 1.1 سم^3/جرام، أو من 0.7 سم^3/جرام إلى 1.3 سم^3/جرام، أو من 0.7 سم^3/جرام إلى 1.5 سم^3/جرام، أو من 0.7 سم^3/جرام إلى 2.5 سم^3/جرام، أو من 0.8 سم^3/جرام إلى 1.3 سم^3/جرام، أو من 0.8 سم^3/جرام إلى 1.5 سم^3/جرام، أو من 0.8 سم^3/جرام إلى 2.5سم^3/جرام. في بعض النماذج، يمكن أن يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز حجم مسامي نسبي لوزن المادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز يعادل 0.6 سم^3/جرام على الأقل.

علاوةً على ذلك، في حين تراعى نطاقات أوسع، يمكن أن تتضمن المادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز، في واحد أو أكثر من النماذج، مساحة سطح لوزن المادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز تتراوح من 200 متر مربع لكل جرام (متر^2/جرام) إلى 600 متر^2/جرام. في نماذج أخرى، يمكن أن يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز مساحة سطح تتراوح من 200 متر^2/جرام إلى 350 متر^2/جرام، أو من 200 متر^2/جرام إلى 325 متر^2/جرام، أو من 200 متر^2/جرام إلى 300 متر^2/جرام، أو من 225 متر^2/جرام إلى 600 متر^2/جرام، أو من 225 متر^2/جرام إلى 350 متر^2/جرام، أو من 225 متر^2/جرام إلى 325 متر^2/جرام، أو من 225 متر^2/جرام إلى 300 متر^2/جرام، أو من 250 متر^2/جرام إلى 600 متر^2/جرام، أو من 250 متر^2/جرام إلى 350 متر^2/جرام، أو من 250 متر^2/جرام إلى 325 متر^2/جرام، أو من 250 متر^2/جرام إلى 300 متر^2/جرام، أو من 300 متر^2/جرام إلى 325 متر^2/جرام، أو من 300 متر^2/جرام إلى 350 متر^2/جرام.

يمكن أن يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز متوسط حجم جسيمات يتراوح من 20 نانومتر إلى 200 نانومتر، أو من 20 نانومتر إلى 150 نانومتر، أو من 20 نانومتر إلى 100 نانومتر، أو من 20 نانومتر إلى 75 نانومتر، أو من 50 نانومتر إلى 200 نانومتر، أو من 50 نانومتر إلى 150 نانومتر، أو من 50 نانومتر إلى 125 نانومتر، أو من 50 نانومتر إلى 75 نانومتر، أو من 75 نانومتر إلى 200 نانومتر، أو من 75 نانومتر إلى 150 نانومتر، أو من 75 نانومتر إلى 125 نانومتر. يمكن أن يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز متوسط توزيع حجم جسيمات يتراوح من 100 أنجستروم angstroms (A) إلى 300 أنجستروم، أو من 100 أنجستروم إلى 250 أنجستروم، أو من 100 أنجستروم إلى 200 أنجستروم، أو من 120 أنجستروم إلى 300 أنجستروم، أو من 120 أنجستروم إلى 250 أنجستروم، أو من 120 أنجستروم إلى 200 أنجستروم. يمكن قياس متوسط حجم الجسيمات ومتوسط توزيع حجم الجسيمات باستخدام محلل حجم جسيمات، مثل محلل حجم الجسيمات المتسلسل (NanoparticaTM) من شركة (Horiba Scientific)، والذي يقيس حجم الجسيمات المفردة المشتتة في الماء باستخدام ضوء الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet (UV).

علاوةً على ذلك، يمكن أن يكون يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا-ألومينا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز إجمالي حمضية يتراوح من 0.001 ملي مول/جرام إلى 0.5 ملي مول/جرام، أو من 0.01 ملي مول/جرام إلى 0.5 ملي مول/جرام، أو من 0.1 ملي مول/جرام إلى 0.5 ملي مول/جرام، أو من 0.3 ملي مول/جرام إلى 0.5 ملي مول/جرام، أو من 0.4 ملي مول/جرام إلى 0.5 ملي مول/جرام، أو من 0.001 ملي مول/جرام إلى 4 ملي مول/جرام، أو من 0.001 ملي مول/جرام إلى 0.3 ملي مول/جرام. يمكن الحفاظ على الحمضية – بصفة عامة – عند أو أقل من 0.5 ملي مول/جرام لإنتاج انتقائية البروبين المرادة لنظام المحفز متعدد المراحل ولخفض إنتاج المنتجات الثانوية غير المرغوب فيها، مثل المواد العطرية. يمكن أن تزيد زيادة الحمضية تحويل البيوتين الكلي؛ مع ذلك، يمكن أن تؤدي زيادة التحويل هذه إلى انخفاض انتقائية البروبين وزيادة إنتاج المنتجات الثانوية العطرية، وهو الأمر الذي قد يؤدي إلى تكويك المحفز وتثبيطه.

فيما يتعلق بالمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز، يمكن أن يتضمن أكسيد الفلز واحد أو أكثر من أكاسيد الفلز من المجموعات 6-10 من الجدول الدوري للاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

في بعض النماذج، يمكن أن يتضمن أكسيد الفلز واحد أو أكثر من أكاسيد الموليبدينيوم molybdenum، أو الرينيوم rhenium، أو التنجستن tungsten، أو أي توليفات من هذه. في واحد أو أكثر من النماذج، يكون أكسيد الفلز للمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز هو أكسيد التنجستن tungsten oxide (WO_3). يراعى أنه يمكن تشبيع المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة بكميات متنوعة من أكسيد الفلز. على سبيل المثال وليس الحصر، تتراوح النسبة المئوية بالوزن (.wt٪) من أكسيد الفلز، على سبيل المثال، أكسيد التنجستن، في محفز السيليكا بمسام متوسطة من 1٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن، أو من 1٪ بالوزن إلى 25٪ بالوزن، أو من 1٪ بالوزن إلى 20٪ بالوزن، أو من 1٪ بالوزن إلى 15٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 25٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 20٪ بالوزن، أو من 5٪ بالوزن إلى 15٪ بالوزن، أو من 8٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن، أو من 8٪ بالوزن إلى 25٪ بالوزن، أو من 8٪ بالوزن إلى 20٪ بالوزن، أو من 8٪ بالوزن إلى 15٪ بالوزن، أو من 8٪ بالوزن إلى 12٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن، أو من 10٪ بالوزن إلى 20٪ بالوزن. في واحد أو أكثر من النماذج، تتضمن المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز ما يتراوح من 1٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن من أكسيد التنجستن. في واحد أو أكثر من النماذج، تتضمن المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز ما يتراوح من 8٪ بالوزن إلى 12٪ بالوزن من أكسيد التنجستن. يمكن التحقق من كمية أكسيد التنجستن التي يتم تشبيع المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة بها باستخدام مقياس الطيف الكتلي mass spectrometer البلازمي بالتقارن الحثي inductively coupled plasma (ICP) أو مقياس طيف كتلي الفلوري للأشعة السينية x-ray fluorescence (XRF) لتحديد كمية التنجستن في عينة من المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد التنجستن.

تراعى بنى سيليكا متعددة لمحفز التكسير. يمكن أن يكون محفز التكسير زيوليت. في بعض النماذج، يمكن أن يكون محفز التكسير زيوليت مهيكل، مثل زيوليت مهيكل له إطار موردينايت معكوس أو بيتا (BEA)، على سبيل المثال. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون محفز التكسير هو محفز إم سي إم-41 MCM-41 أو محفز إس بي ايه-15 SBA-15. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن لمحفز التكسير أن يكون محفز سيليكا مهيكل له إطار موردينايت معكوس. على سبيل المثال، يمكن أن يتضمن المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار الموردينايت

المعكوس محفزات زيوليت ألومينوسيليكات مهيكلة ذات إطار موردينايت معكوس أو محفزات سيليكا مهيكلة ذات إطار موردينايت معكوس لا تحتوي على الألومينا أو خالية إلى حدٍ كبير من الألومينا. في واحد أو أكثر من النماذج، يتضمن المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس ألومينا alumina. في نماذج أخرى، يكون المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس خاليًا إلى حدٍ كبير من الألومينا، له أقل من 1٪ بالوزن من الألومينا. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون للمحفزات التي تحتوي على السيليكا المهيكلة structured silica ذات إطار موردينايت معكوس أقل من 0.01٪ بالوزن من الألومينا.

علاوةً على ذلك، يراعى أنه يمكن أن يتضمن المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس أكاسيد فلز أخرى يتم التشبيع بها إضافةً إلى أو كبديل للألومينا. مثل محفز السيليكا بمسام متوسطة، يمكن أن يكون للمحفزات التي تحتوي على السيليكا المهيكلة ذات إطار موردينايت معكوس ألومينا، أو أكاسيد فلز، أو تشبيع المادة الحاملة من السيليكا بكلٍ منهما. إضافةً إلى أو كبديل للألومينا، يراعى أن المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس يتضمن واحد أو أكثر من أكاسيد الفلز الوارد ذكرها مسبقًا في هذا الكشف، على وجه التحديد، واحد أو أكثر من أكاسيد الفلز من المجموعات 6-10 من الجدول الدوري للاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية، على وجه أكثر تحديدًا، أكاسيد فلز من الموليبدينيوم، أو الرينيوم rhenium، أو التنجستن، أو التيتانيوم titanium، أو توليفات من هذه. ينبغي فهم أنه يمكن أن يتضمن محفز التكسير توليفة من زيوليتات zeolites متعددة، مثل جسيمات الزيوليتات التي تتضمن أنواعًا متعددة من الزيوليتات، أو خليط من جسيمات الزيوليت zeolite particles حيث تتضمن الجسيمات زيوليتات مختلفة.

فيما يتعلق بمحفزات زيوليت ألومينوسيليكات aluminosilicate zeolite catalysts المهيكلة ذات إطار موردينايت معكوس، تراعى كميات متنوعة من الألومينا. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون لمحفزات زيوليت ألومينوسيليكات المهيكلة ذات إطار موردينايت معكوس نسبة مولارية للسيليكا إلى الألومينا تتراوح من 5 إلى 5000، أو من 5 إلى 4000، أو من 5 إلى 3000، أو من 5 إلى 2500، أو من 100 إلى 5000، أو من 100 إلى 4000، أو من 100 إلى 3000، أو من 100 إلى 2500، أو من 200 إلى 5000، أو من 200 إلى 4000، أو من 200 إلى 3000، أو من 200 إلى 2500، أو من 1000 إلى 5000، أو من 1000 إلى 4000، أو من 1000 إلى

3000، أو من 1000 إلى 2500، أو من 1500 إلى 5000، أو من 1500 إلى 4000، أو من 1500 إلى 3000، أو من 1500 إلى 2500. تراعى نماذج تجارية ملائمة متعددة من محفزات زيوليت ألومينوسيليكات المهيكلة ذات إطار موردينايت معكوس، على سبيل المثال، زيوليتات زيد إس إم-5 ZSM-5 مثل إطار موردينايت معكوس-280 الذي تنتجه شركة (Zeolyst International) أو إطار موردينايت معكوس-2000 الذي تنتجه شركة أرامكو السعودية (Saudi Aramco). يتم وصف تحضير محفز التكسير إطار موردينايت معكوس-2000لاحقًا في هذا الكشف في المثال رقم (5).

يتم أيضًا مراعاة نماذج تجارية ملائمة متعددة للمحفزات التي تحتوي على السيليكا المهيكلة ذات إطار موردينايت معكوس الخالية من الألومينا. إن أحد تلك الأمثلة هو سيليكاليت-1 Silicalite-1 الذي تنتجه شركة أرامكو السعودية (Saudi Aramco). يتم وصف تحضير سيليكاليت-1 لاحقًا في هذا الكشف في المثال رقم (4).

يمكن أن يتضمن المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس متوسط حجم مسام يتراوح من 1.5 نانومتر إلى 3 نانومتر، أو من 1.5 نانومتر إلى 2.5 نانومتر. علاوةً على ذلك، يمكن أن يكون للمحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس متوسط حجم مسامي نسبي لوزن المادة يتراوح من 0.1 سم^3/جرام إلى 0.3 سم^3/جرام، أو من 0.15 سم^3/جرام إلى 0.25 سم^3/جرام. يمكن أن يكون للمحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس متوسط مساحة سطح يتراوح من 300 متر^2/جرام إلى 425 متر^2/جرام، أو من 340 متر^2/جرام إلى 410 متر^2/جرام. إضافةً إلى ذلك، يمكن أن يكون للمحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس إجمالي حمضية يتراوح من 0.001 ملي مول/جرام إلى 0.1 ملي مول/جرام، أو من 0.01 ملي مول/جرام إلى 0.08 ملي مول/جرام. يمكن الحفاظ على الحمضية عند أو أقل من 0.1 ملي مول/جرام لخفض إنتاج المنتجات الثانوية غير المرغوب فيها، مثل المواد العطرية aromatics. يمكن أن تزيد زيادة الحمضية من كمية التكسير؛ مع ذلك، يمكن أن يؤدي التكسير الزائد هذا إلى انتقائية أقل وزيادة إنتاج المنتجات الثانوية العطرية، وهو الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى تكويك المحفز وتثبيطه.

في بعض الحالات، يمكن أن يتم تعديل المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس بمعدل حمضية لتعديل مستوى الحموضة في المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له

إطار موردينايت معكوس. على سبيل المثال، يمكن أن تتضمن مُعَدِّلات الحمضية هذه مُعَدِّلات أرضية نادرة، أو مُعَدِّلات فوسفور phosphorus، أو مُعَدِّلات بوتاسيوم potassium، أو توليفات من كلٍ منها. مع ذلك، في حين تركز النماذج الحالية على خفض الحمضية إلى مستوى عند أو أقل من 0.1 ملي مول/جرام، يمكن أن تكون محفزات السيليكا المهيكلة الحالية خالية من مُعَدِّلات الحمضية، مثل تلك التي يتم اختيارها من مُعَدِّلات أرضية نادرة، أو مُعَدِّلات فوسفور، أو مُعَدِّلات بوتاسيوم، أو توليفات من كلٍ منها. على النحو المستخدم في الكشف الحالي، تعني "خالية من مُعَدِّلات الحمضية" أقل من 0.01٪ بالوزن من مُعَدِّل الحمضية في المحفز الذي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس.

إضافةً إلى ذلك، في بعض النماذج، يمكن أن يكون للمحفز الذي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس حجم بلوري فردي يتراوح من 10 ميكرون إلى 40 ميكرون، أو من 15 ميكرون إلى 40 ميكرون، أو من 20 ميكرون إلى 30 ميكرون. في نموذج آخر، يمكن أن يكون للمحفز الذي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس حجم بلوري فردي يتراوح من 1 ميكرون إلى 5 ميكرون.

علاوةً على ذلك، تراعى كميات متعددة لكل محفز لنظام المحفز متعدد المراحل الحالي. على سبيل المثال، يراعى أنه يمكن أن تتراوح النسبة بالحجم من محفز الأزمرة إلى محفز التبادل المزدوج يمكن أن تتراوح من 5:1:1 إلى 1:5:1 إلى 1:1:5، أو من 2:1:1 إلى 1:2:1 إلى 1:1:2، أو 1:1:1. يمكن أن تتراوح النسبة الحجمية لأكسيد المغنسيوم في حيز تفاعل الأزمرة إلى المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز في حيز تفاعل التبادل المزدوج من 1:2 إلى 5:1، أو من 1:2 إلى 4:1، أو من 1:2 إلى 3:1، أو من 1:2 إلى 2:1، أو من 1:2 إلى 1:1، أو من 1:1 إلى 5:1، أو من 1:1 إلى 4:1، أو من 1:1 إلى 3:1، أو من 1:1 إلى 2:1، أو من 2:1 إلى 4:1، أو من 2:1 إلى 3:1. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن تكون النسبة الحجمية لأكسيد المغنسيوم في حيز تفاعل الأزمرة إلى المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز في حيز تفاعل التبادل المزدوج هي 1:2 على الأقل. في نماذج أخرى، يمكن أن تكون النسبة الحجمية لأكسيد المغنسيوم في حيز تفاعل الأزمرة إلى المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز في حيز تفاعل التبادل المزدوج هي 1:1 على الأقل.

تراعى طرق عديدة لصنع محفزات التبادل المزدوج والتحفيز المستخدمة في نظام المحفز متعدد المراحل. على وجه التحديد، يمكن استخدام عمليات التشبع الرطب أو التخليق الحراري المائي؛ مع ذلك، تراعى أيضًا عمليات تخليق محفزات أخرى.

يراعى أنه يمكن وضع محفز الأزمرة، ومحفز التبادل المزدوج، ومحفز التكسير في مفاعل واحد أو مفاعلات متعددة. على سبيل المثال، يمكن أن يكون استخدام مفاعلات منفصلة لواحد أو أكثر من محفز الأزمرة، أو محفز التبادل المزدوج، أو محفز التكسير أمرًا مرغوب فيه عندما تعمل في ظروف بيئية مختلفة، بما في ذلك درجة الحرارة والضغط. بغض النظر عما إذا كان المفاعل الواحد أو المفاعلات المتعددة تحتوي على المحفزات المتعددة، يمكن أن يكون لنظام المحفز متعدد المراحل حيز محفز أزمرة، وحيز محفز تبادل مزدوج بعد حيز الأزمرة، وحيز محفز التكسير بعد حيز التبادل المزدوج.

بالإشارة مرة أخرى إلى الشكل رقم (1)، في مثال غير حصري لمفاعل تدفق إلى الأسفل down flow reactor 112 حيث يدخل تيار المدخل inlet stream 114 الذي يحتوي على البيوتين butene من الجزء العلوي من من المفاعل 112، يمكن أن يوجد محفز الأزمرة 124 بشكل مجاور إلى أو في الجزء العلوي للمفاعل 112، ويمكن أن يوجد محفز التبادل المزدوج 126 في الجزء الأوسط من المفاعل 112، ويمكن وضع محفز التكسير 128 في الجزء السفلي من المفاعل 112. في مثال آخر غير حصري، يمكن وضع كل محفز كطبقات محفز منفصلة داخل المفاعل 112. علاوةً على ذلك، يراعى أنه يمكن أن تلامس المحفزات المتعددة لنظام المحفز متعدد المراحل 110 واحد أو أكثر من المحفزات الأخرى أو يمكن أن يتم فصلها بواسطة فاصل 130 على النحو الموصوف مسبقًا في هذا الكشف. مع ذلك، إذا كانت المحفزات المتعددة متلامسة، فمن المستحسن أن يظل محفز الأزمرة 124 موضوعًا قبل محفز التبادل المزدوج 126 وأن يظل محفز التبادل المزدوج 126 موضوعًا قبل محفز التكسير 128.

يمكن استخدام المحفزات في المفاعل نفسه أو في مفاعلات مختلفة مرتبة في سلسلة. بشكل بديل، يراعى أنه يتم وضع محفز الأزمرة في مفاعل أول، ويتم وضع محفز التبادل المزدوج في مفاعل ثان منفصل بعد المفاعل الأول، ويتم وضع محفز التكسير في مفاعل ثالث منفصل بعد المفاعل الثاني. إضافةً إلى ذلك، يراعى أنه يتم وضع محفز الأزمرة في مفاعل أول، ويتم وضع محفز التكسير في

مفاعل ثان منفصل بعد المفاعل الأول، ويتم وضع محفز التبادل المزدوج في المفاعل الأول بعد محفز الأزمرة أو في المفاعل الثاني قبل محفز التكسير.

بالإشارة مرة أخرى إلى الشكل رقم (1)، يتم مراعاة ظروف تشغيل متعددة لملامسة التيار الذي يحتوي على البيوتين مع نظام المحفز متعدد المراحل. على سبيل المثال، يمكن أن يلامس التيار الذي يحتوي على البيوتين (على سبيل المثال، تيار المدخل 114) نظام المحفز متعدد المراحل 110 عند سرعة فراغية مقدرة بالساعة تتراوح من 10 في الساعةإلى 10.000 في الساعة، أو من 10 في الساعة إلى 5000 في الساعة، أو من 10 في الساعة إلى 2500 في الساعة، أو من 10 في الساعة إلى 1200 في الساعة، أو من 100 في الساعة إلى 10000 في الساعة، أو من 100 في الساعة إلى 5000 في الساعة، أو من 100 في الساعة إلى 2500 في الساعة، أو من 100 في الساعة إلى 1200 في الساعة، أو من 300 في الساعة إلى 10000 في الساعة، أو من 300 في الساعة إلى 5000 في الساعة، أو من 300 في الساعة إلى 2500 في الساعة، أو من 300 في الساعة إلى 1200 في الساعة، أو من 500 في الساعة إلى 10.000 في الساعة، أو من 500 في الساعة إلى 5000 في الساعة، أو من 500 في الساعة إلى 2500 في الساعة، أو من 500 في الساعة إلى 1200 في الساعة.

يمكن أن يلامس التيار الذي يحتوي على البيوتين (على سبيل المثال، تيار المدخل 114) نظام المحفز متعدد المراحل 110 عند درجة حرارة تتراوح من 200 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 200 درجة مئوية إلى 550 درجة مئوية، أو من 200 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية، أو من 200 درجة مئوية إلى 450 درجة مئوية، أو من 200 درجة مئوية إلى 400 درجة مئوية، أو من 200 درجة مئوية إلى 350 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 550 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 450 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 400 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 350 درجة مئوية، أو من 350 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 350 درجة مئوية إلى 550 درجة مئوية، أو من 350 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية، أو من 350 درجة مئوية إلى 450 درجة مئوية، أو من 350 درجة مئوية إلى 400 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 550 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 450درجة مئوية.

في واحد أو أكثر من النماذج، يتم تنفيذ تفاعلات الأزمرة، والتبادل المزدوج، والتكسير عند درجة حرارة تتراوح من 400 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية. علاوةً على ذلك، يمكن أن يلامس تيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين نظام المحفز متعدد المراحل 110 عند ضغط يتراوح من 100 كيلو باسكال إلى 3000 كيلو باسكال (1 بار إلى 30 بار)، أو من 100 كيلو باسكال إلى 2000 كيلو باسكال (1 بار إلى 20 بار)، من 100 كيلو باسكال إلى 1000 كيلو باسكال (1 بار إلى 10 بار)، أو من 200 كيلو باسكال إلى 3000 كيلو باسكال (2 بار إلى 30 بار)، أو من 200 كيلو باسكال إلى 2000 كيلو باسكال (2 بار إلى 20 بار)، أو من 200 كيلو باسكال إلى 1000 كيلو باسكال (2 بار إلى 10 بار). في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن ان يلامس تيار المدخل 114 الذي يحتوي على البيوتين نظام المحفز متعدد المراحل 110 عند ضغط جوي.

اختياريًا، يمكن معالجة محفزات الأزمرة، والتبادل المزدوج، والتكسير مسبقًا قبل الأزمرة، والتبادل المزدوج، والتكسير. على سبيل المثال، يمكن معالجة المحفزات في نظام المحفز متعدد المراحل مسبقًا من خلال تمرير تيار غاز تم تسخينه من خلال نظام محفز متعدد المراحل لمدة المعالجة المسبقة. يمكن أن يتضمن تيار الغاز واحد أو أكثر من غاز يحتوي على الأكسجين، أو غاز النتروجين nitrogen gas (N_2)، أو أول أكسيد الكربون، أو غاز الهيدروجين، أو غاز هيدروكربون hydrocarbon gas، أو هواء، أو غاز خامل inert gas آخر، أو توليفات من هذه الغازات. يمكن أن تتراوح درجة حرارة تيار الغاز المسخن من 250 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية، أو من 250 درجة مئوية إلى 650 درجة مئوية، أو من 250 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 250 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 650 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 300 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 700 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 650 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية، أو من 400 درجة مئوية إلى 500 درجة مئوية. يمكن أن تتراوح مدة المعالجة المسبقة من 1 دقيقة إلى 30 ساعة، أو من 1 دقيقة إلى 20 ساعة، أو من 1 دقيقة إلى 10 ساعات، أو من 0.5 ساعة إلى 30 ساعة، أو من 0.5 ساعة إلى 20 ساعة، أو من 0.5 ساعة إلى 10 ساعات، أو من 0.5 ساعة إلى 5 ساعات، أو من 1 ساعة إلى 30 ساعة، أو من 1 ساعة إلى 20 ساعة، أو من 1 ساعة إلى 10 ساعات، أو من 1 ساعة إلى 5 ساعات، أو من 5ساعات إلى 30 ساعة، أو من 5ساعات

إلى 20 ساعة، أو من 5ساعات إلى 10 ساعات. في واحد أو أكثر من النماذج، على سبيل المثال، يمكن معالجة نظام المحفز متعدد المراحل مسبقًا بغاز النتروجين لمدة معالجة مسبقة تتراوح من 1 ساعة إلى 5 ساعات قبل بدء الأزمرة، والتبادل المزدوج، والتكسير، وعند درجة حرارة معالجة مسبقة تعادل 400 درجة مئوية على الأقل، أو عند 500 درجة مئوية على الأقل. في نموذج آخر، يمكن معالجة نظام المحفز متعدد المراحل مسبقًا بالهواء لمدة تتراوح من 10 ساعات إلى 15 ساعة قبل بدء الأزمرة، والتبادل المزدوج، والتكسير، مع كون الهواء عند درجة حرارة تعادل 400 درجة مئوية على الأقل.

تتضمن عملية لإنتاج البروبين أزمرة البيوتين جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل الأزمرة الذي يتضمن محفز أزمرة لتكوين منتج تفاعل أزمرة. على النحو الذي يتم وصفه مسبقًا في هذا الكشف، يمكن أن يكون محفز الأزمرة هو أكسيد المغنسيوم. تتضمن العملية أيضًا التبادل المزدوج لمنتج تفاعل الأزمرة جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل التبادل المزدوج الذي يتضمن محفز تبادل مزدوج لتكوين منتج تفاعل تبادل مزدوج، بما أن التبادل المزدوج المتصالب يحدث عند معدل أسرع لإنتاج البروبين. على النحو الموصوف مسبقًا في هذا الكشف، يمكن أن يكون محفز التبادل المزدوج مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز. تتضمن العملية أيضًا تكسير منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل التكسير الذي يتضمن محفز تكسير لتكوين منتج تفاعل تكسير. يمكن أن يكون حيز تفاعل التبادل المزدوج بعد حيز تفاعل الأزمرة، ويمكن أن يكون حيز تفاعل التكسير بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج. في واحد أو أكثر من نماذج العملية، يمكن وضع حيز تفاعل الأزمرة، وحيز تفاعل التبادل المزدوج، وحيز تفاعل التكسير داخل مفاعل. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتضمن منتج تفاعل الأزمرة 1-بيوتين و2-بيوتين. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتضمن منتج تفاعل التبادل المزدوج البروبين والبنتين. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتضمن منتج تفاعل التكسير البروبين.

يمكن أن تتضمن العملية لإنتاج البروبين إدخال تيار يشتمل على البيوتين إلى حيز تفاعل الأزمرة الذي يتضمن محفز الأزمرة، وأزمة التيار الذي يشتمل على البيوتين وتنشيطه جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل الأزمرة لتكوين تيار منتج تفاعل أزمرة، وتمرير تيار منتج تفاعل الأزمرة إلى حيز تفاعل التبادل المزدوج الذي يتضمن محفز التبادل المزدوج، وتبادل تيار منتج تفاعل الأزمرة بشكل مزدوج جزئيًا على الأقل بمحفز التبادل المزدوج لتكوين تيار منتج تفاعل تبادل مزدوج، وتمرير تيار منتج

تفاعل التبادل المزدوج إلى حيز تفاعل تكسير يتضمن محفز تكسير، وتكسير تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل بمحفز التكسير لتكوين تيار منتج تفاعل تكسير يتضمن البروبين. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن تتضمن عملية إنتاج البروبين من تيار يحتوي على البيوتين تكليس محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم.

في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يتضمن تيار منتج تفاعل الأزمرة 1-بيوتين و2-بيوتين. في بعض النماذج، يمكن أن يتضمن 2-بيوتين في تيار منتج تفاعل الأزمرة سيس-2-بيوتين cis-2-butene، أو ترانس-2-بيوتين trans-2-butene، أو كليهما. في بعض النماذج، يمكن أن يتضمن تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج البروبين والبنتين. في بعض النماذج، يمكن أن يتضمن منتج تفاعل التبادل المزدوج كذلك واحد أو أكثر من 2- بيوتين غير متفاعل، و1-بيوتين غير متفاعل، وأولفينات C_6+ olefins C_6+.

في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن يكون لتيار منتج تفاعل التكسير الذي يتم إنتاجه بواسطة نظام المحفز متعدد المراحل 80٪ بالمول على الأقل من تحويل البيوتين وناتج بروبين بالـ ٪ بالمول يعادل 3-٪ على الأقل. في بعض النماذج، يمكن أن يكون لتيار منتج تفاعل التكسير 85٪ بالمول على الأقل من تحويل البيوتين وناتج بروبين بالـ٪ بالمول يعادل 40٪ على الأقل. في بعض النماذج، يمكن أن يكون لتيار المنتج 10٪ بالمول على الأقل من ناتج الإثيلين ethylene، أو 15٪ بالمول على الأقل من ناتج الإثيلين، أو 20٪ بالمول على الأقل من ناتج الإثيلين. في نماذج أخرى، يمكن أن يكون لتيار المنتج 45٪ بالمول على الأقل من ناتج البروبين، أو 50٪ بالمول على الأقل من ناتج البروبين. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن ينتج كلٍ من نظام المحفز متعدد المراحل وعمليات البروبين الواردين في الكشف الحالي البروبين من البيوتين دون إدخال إيثيلين مضاف من الخارج إلى التيار الذي يحتوي على البيوتين أو إلى المفاعل بوصفه تيار تغذية تكميلي. في واحد أو أكثر من النماذج، يمكن أن ينتج كلٍ من نظام المحفز متعدد المراحل وعمليات البروبين الواردين في الكشف الحالي البروبين من تيار يحتوي على البيوتين والذي له أقل من 5٪ بالوزن من الإثيلين، أو أقل من 1٪ بالوزن من الإثيلين.

علاوةً على ذلك، يمكن أن يتضمن تيار منتج تفاعل التكسير أقل من 1٪ بالوزن من المواد العطرية. يمكن أن يكون لتيار منتج تفاعل التكسير أيضًا أقل من 5٪ بالوزن من الألكانات والمواد العطرية. دون التقيد بالنظرية، في بعض النماذج قد يكون من المستحسن أن يكون ناتج الألكانات والمواد

العطرية منخفضًا حيث أنه يدل على تكوين فحم الكوك coke، وهو الأمر الذي يمكنه أن يؤدي إلى تثبيط المحفز.

الأمثلة

تبين الأمثلة التالية تحضير المحفزات المتنوعة التي يتم استخدامها في توليفة كما هو الحال في أنظمة المحفز متعددة المراحل multiple-stage catalyst systems التي يتم الكشف عنها حاليًا.

المثال رقم (1): تحضير محفز أكسيد المغنسيوم من أكسيد المغنسيوم المتح تجاريًا

من أجل تحضير محفز أكسيد المغنسيوم بتدبر، تم الحصول على أكسيد المغنسيوم المتاح تجاريًا من شركة (Sigma Aldrich) (رقم المنتج 342793، > 99٪ أساس فلزات ضئيلة الكمية، رقم المجموعة MKBQ2256V). تم تكليس 4 جرامات من أكسيد المغنسيوم المتاح تجاريًا في فرن تكليس تحت الهواء عند معدل ازدياد 2 درجة مئوية لكل دقيقة حتى وصل أكسيد المغنسيوم إلى درجة حرارة تعادل 550 درجة مئوية. تم الحفاظ على أكسيد المغنسيوم بعدئذ في فرن التكليس عند درجة حرارة تعادل 550 درجة مئوية لمدة 150 دقيقة. بعد التكليس، تم إبقاء أكسيد المغنسيوم في فرن التكليس والسماح له بأن يبرد ببطء لكي يصل إلى درجة حرارة الغرفة. يشار إلى محفز أكسيد المغنسيوم الذي تم تحضيره من أكسيد المغنسيوم المتاح تجاريًا وفقًا للطريقة الموصوفة أعلاه لاحقًا بوصفه المحفز الوارد في المثال رقم (1) أو أكسيد المغنسيوم الوارد في المثال رقم (1).

يبين الشكل رقم (2) القطاع الجانبي لحيود الأشعة السينية لمحفز أكسيد المغنسيوم الوارد في المثال رقم (1). يمكن ملاحظة ذروات الحيود المناظرة لأكسيد المغنسيوم المتبلور الوارد في المثال رقم (1) في الشكل رقم (2) عند 2 ثيتا (2θ)=37.0° (الرقم المرجعي 202)، و43° (الرقم المرجعي 204)، و62.4° (الرقم المرجعي 206)، و74.8° (الرقم المرجعي 208)، و78.7° (الرقم المرجعي 210). انظر، J. Puriwat et al.، Catalysis Communications، 12 (2010) 80-85.

المثال رقم (2): تحضير محفز أكسيد المغنسيوم باستخدام طريقة الترسيب المشارك

تم تحصير محفز أكسيد المغنسيوم أيضًا باستخدام تقنية ترسيب مشارك. تم خلط 25.64 من سداسي هيدرات نترات المغنسيوم magnesium nitrate hexahydrate [$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$] مع 100 ملي لتر (مل) من الماء منزوع الأيونات deionized water (ماء DI) في دورق أول لتكوين محلول نترات المغنسيوم magnesium nitrate ($Mg(NO_3)_2$) أول. في دوق ثان، تم إضافة 100 مل من الماء

منزوع الأيونات. تم إضافة محلول نترات المغنسيوم الأول في الدورق الأول من خلال التقطير، باستخدام أنبوبة ماصة pipette مدرجة، إلى الدورق الثاني الذي يحتوي على الماء منزوع الأيونات فحسب لتكوين محلول نترات المغنسيوم ثان. تم وضع أداة تقليب مغناطيسية magnetic stirrer داخل الدورق الثاني وتم ضبط أداة التقليب لكي تقلب محلول نترات المغنسيوم الثاني عند معدل يعادل 600 دورة في الدقيقة. في حين تقليب محلول نترات المغنسيوم الثاني بقوة عند 600 دورة في الدقيقة، تم إضافة هيدروكسيد الأمونيوم ammonium hydroxide (NaOH) من خلال التقطير إلى محلول نترات المغنسيوم الثاني. تم الحفاظ على الرقم الهيدروجيني للمحلول الناتج في نطاق من 11 إلى 12. بعد إضافة هيدروكسيد الأمونيوم، تم تقليب المحلول بقود عند 600 دورة في الدقيقة لمدة 60 دقيقة، وخلال تلك الفترة، ترسب أكسيد المغنسيوم خارج المحلول كمادة صلبة بيضاء. تم تعريض الملاط الناتج بعد ذلك للطرد المركزي وتم صفق السوائل. تم غسل أكسيد المغنسيوم الصلب الأبيض 4-5 مرات بماء منزوع الأيونات ثم تجفيفه في فرن تجفيف طول الليل عند 80 درجة مئوية. تم تكليس محفز أكسيد المغنسيوم بعد ذلك وفقًا للإجراء نفسه الذي تم وصفه مسبقًا في المثال رقم (1).

المثال رقم (3): تحضير أكسيد المغنسيوم، التجاري المميه

محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم، تم إنتاج أكسيد المغنسيوم باستخدام طريقة تميؤ حيث تم تحويل أكسيد المغنسيوم إلى هيدروكسيد المغنسيوم Magnesium hydroxide ($Mg(OH)_2$) ثم تكليسه لتحويل هيدروكسيد المغنسيوم مرة أخرى إلى أكسيد المغنسيوم. يمكن استخدام طريقة التميؤ هذه لتحسين خواص محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم. تم الحصول على أكسيد المغنسيوم من شركة (Sigma Aldrich) (رقم المجموعة MKBQ2256V#، ≤ 99٪ أساس فلزات ضئيلة الكمية). تم وزن 24.00 جرام من أكسيد المغنسيوم وإضافتهم إلى قارورة ذات قاع كروي تبلغ سعتها 500 مل. تم إضافة 300 مل من الماء إلى أكسيد المغنسيوم وتم رج المحلول بقوة لمدة 5 دقائق من أجل تميؤ أكسيد المغنسيوم إلى هيدروكسيد المغنسيوم. تم وضع القارورة ذات القاع الكروي في مغطس ماء تم الحفاظ عليه عند درجة حرارة تتراوح من 80 درجة مئوية إلى 95 درجة مئوية ومتصل بجهاز مبخر دوار. تم تشغيل المبخر الدوار عند 171 دورة في الدقيقة، في ظل تفريغ يبلغ 29.5 كيلو باسكال (295 ملي بار)، وفي حين الحفاظ على مبرد عند -14.44 درجة مئوية (6 فهرنهايت). تم تشغيل المبخر الدوار لمدة 3 ساعات لتبخير جميع الماء. تم وضع القارورة في فرن تجفيف، والذي عمل بين 80 درجة مئوية و100 درجة مئوية، طوال الليل. تم تكليس المادة الصلبة الناتجة بعد ذلك

باستخدام إجراء التكليس نفسه الموصوف في المثال رقم (1) لإنتاج محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم من هيدروكسيد المغنسيوم.

المثال رقم (4): تحضير محفز التبادل المزدوج (مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد التنجستن)

في تحضير نموذجي، تم تحضير المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة أولًا من خلال وضع كمية من سيليكا بمسام متوسطة متاحة تجاريًا، مثل Q-10 من شركة (Fuji Sylysia) (ذات متوسط قطر مسام يعادل 10 نانومتر، ومتوسط حجم مسامي نسبي يعادل 1.00 مل/جرام، ومتوسط مساحة سطح يعادل 300 متر^2/جرام)، في طبق من الخزف وتكليس السيليكا ذات المسام المتوسطة عند 200 درجة مئوية لمدة ثلاث ساعات وثم عند 575 درجة مئوية لمدة 5 ساعات إضافية، بمعدل ازدياد يعادل 3 درجات مئوية في الدقيقة للحصول على مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة. تم عرض القطاع الجانبي لحيود الأشعة السينية للمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة الواردة في المثال رقم (4)، قبل تشبيع المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة بأكسيد التنجستن، في الشكل رقم (3). تمثل الذروة العريضة 302 الممتدة من 2 ثيتا (θ) = 15° إلى 2θ =30° المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة.

من أجل تشبيع المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة بأكسيد التنجستن لتخليق محفز التبادل المزدوج، تم وضع 2 جرام من المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة في دورق تبلغ سعته 80 مل. تم خلط 0.235 من هيدرات ميتاتنجستات الأمونيوم ammonium metatungatate hydrate [$(NH_4)6H_2W_{12}O_{40}\bullet xH_2O$] (99٪ أساس فلزات ضئيلة الكمية) مع 2 مل من الماء منزوع الأيونات. تم إضافة محلول هيدرات ميتاتنجستات الأمونيوم بعد ذلك من خلال التقطير إلى 2 جرام من المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة. بشكل نموذجي، تم وضع 5 قطرات على المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة. تم استخدام قضيب زجاجي لخلط المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة ومحلول هيدرات ميتاتنجستات الأمونيوم تمامًا. بعد ذلك، تم وضع المادة الحاملة لمحفز السيليكا المخلوطة بمحلول هيدرات ميتاتنجستات الأمونيوم في فرن تجفيف طوال الليل عند 80 درجة مئوية. تم تكليس المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المجففة المخلوطة بهيدرات ميتاتنجستات الأمونيوم في فرن تكليس calcination oven عند 250 درجة مئوية لمدة ساعتين، بمعدل ازدياد يبلغ 1 درجة مئوية في الدقيقة، ثم تم تكليسها عند 550 درجة مئوية لمدة 8

ساعات، بمعدل ازدياد يبلغ 3 درجات مئوية في الدقيقة حتى تم الوصول إلى 550 درجة مئوية. يشكل هذا المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد التنجستن (أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون Silicon dioxide (SiO_2)).

يبين الشكل رقم (4) نمط حيود الأشعة السينية 402 لمحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون الوارد في المثال رقم (4). من أجل المقارنة، يتضمن الشكل رقم (4) أيضًا نمط حيود الأشعة السينية 404 لهيدرات ميتاتنجستات الأمونيوم بعد تكليس هيدرات ميتاتنجستات الأمونيوم عند 550 درجة مئوية لتكوين أكسيد التنجستن. يظهر نمط حيود الأشعة السينية 404 لأكسيد التنجستن في حد ذاته ذروة كبيرة 406 بين $\theta 2$ = 22° و$\theta 2$ = 25°، وذروة أصغر 408 عند $\theta 2$ = 34°، وعدة ذروات أصغر 410 بين $\theta 2$ = 40 و$\theta 2$ = 65. توجد هذه الذروات في نمط حيود الأشعة السينية 402 لمحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون الوارد في المثال رقم (4) بوصفها الذروات 412 و414 ومجموعة الذروات 416 بين $\theta 2$ = 40° و$\theta 2$ = 65°، بالتالي، تؤكد تشبع المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة بأكسيد التنجستن لتكوين المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون.

المثال رقم (5): تحضير محفز التكسير 1-سيليكاليت

في تخليق نموذجي، تم إذابة 4.26 جرام من بروميد رباعي بروبيل الأمونيوم tetrapropylammonium bromide (TPABr) و0.7407 جرام من فلوريد الأمونيوم ammonium fluoride (NH_4F) في 72 مل من الماء منزوع الأيونات وتقليبهما جيدًا لمدة 15 دقيقة. ثم، تم إضافة 12 جرام من سيليكا مدخنة fumed silica (ثنائي أكسيد السيليكون) وتم تقليبها جيدًا حتى تجانست. تم تعقيم الهلام الذي تم الحصول عليه بالبخار المضغوط وإبقاءه عند 200 درجة مئوية لمدة يومين. كانت التركيبة المولارية للهلام هي 1 ثنائي أكسيد السيليكون: 0.08 بروميد رباعي بروبيل الأمونيوم: 0.10 فلوريد الأمونيوم: 20 H_2O. تم غسل المنتجات الصلبة التي تم الحصول عليها بالماء وتجفيفها عند 80 درجة مئوية طوال الليل. تم إزالة القالب من خلال التكليس في الهواء عند 750 درجة مئوية لمدة 5 ساعات عند معدل ازدياد يبلغ 3 درجة مئوية في الدقيقة.

المثال رقم (6): تحضير محفز التكسير إطار موردينايت معكوس-2000

في تخليق نموذجي، تم إذابة 8.52 جرام من بروميد رباعي بروبيل الأمونيوم و1.48 جرام من فلوريد الأمونيوم في 150 مل من ماء منزوع الأيونات، وتم تقليب محلول بروميد رباعي بروبيل

الأمونيوم الناتج جيدًا لمدة 20 دقيقة. تم إضافة 24 جرام من السيليكا المدخنة و0.15 جرام من نترات الألومنيوم تدريجيًا بالتزامن إلى محلول بروميد رباعي بروبيل الأمونيوم في حين التقليب بقوة. بمجرد تهلم المحلول، تم خلط الهلام بقوة بملوق لمدة 10 دقائق تقريبًا حتى تجانس. تم تعقيم الهلام الذي تم الحصول عليه بالبخار المضغوط وإبقاءه عند 200 درجة مئوية لمدة يومين. بعد اليومين، تم إزالة جهاز التعقيم بالبخار المضغوط من الفرن وإخماده في ماء بارد لمدة 30 دقيقة. كانت التركيبة المولارية للهلام هي 1 ثنائي أكسيد السيليكون: 0.0005 Al_2O_3: 0.08 بروميد رباعي بروبيل الأمونيوم: 0.10 فلوريد الأمونيوم: 20 H_2O. تم إزالة المنتجات الصلبة التي تم الحصول عليها من جهاز التعقيم بالبخار المضغوط، وتصفيتها، وغسلها بـ 1 لتر من الماء منزوع الأيونات، وتجفيفها عند 80 درجة مئوية طوال الليل. تم إزالة المنتجات الصلبة من فرن التجفيف وتم تكليسها عند 750 درجة مئوية لمدة 6 ساعات بمعدل ازدياد يبلغ 4 درجات مئوية في الدقيقة، مما أدى إلى إنتاج محفز التكسير إطار موردينايت معكوس-2000.

خواص المحفز

يتضمن الجدول رقم (1) الخواص الميكانيكية للمحفزات التي تم تحضيرها في المثالين رقم (1) ورقم (4). على النحو المشار إليه في الجدول رقم (1)، تنخفض مساحة السطح والحجم المسامي النسبي للمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة عندما يتم تشبيع المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة بأكسيد التنجستن.

الجدول رقم (1): مساحات سطح بروناور-ايميت-تيلر والأحجام المسامية النسبية لمحفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1)، ومحفزات التبادل المزدوج الواردة في المثال رقم (4)، ومحفز التكسير الوارد في المثال رقم (6)

المحفزات/المواد الحاملة	مساحة سطح بروناور-ايميت-تيلر (متر^2/جرام)	الحجم المسامي النسبي (سم^3/جرام)
أكسيد المغنسيوم(المثال رقم (1))	81.94	1.786

المحفزات/المواد الحاملة	مساحة سطح برونـاور-ايميـت-تيلـر (متر^2/جرام)	الحجم المسامي النسبي (سم^3/جرام)
المادة الحاملة لمحفز 100٪ من ثنائي أكسيد السيليكون (المثال رقم (4))	304	1.13
المادة الحاملة لمحفز ثنائي أكسيد السيليكون بمسام متوسطة مع أكسيد التنجستن (المثال رقم (4))	274	0.81
محفز التكسير إطار موردينايت معكوس-2000(المثال رقم (6))	367	0.19

تقييم المحفزات

تم اختبار المحفزات التي تم تحضيرها من الأمثلة رقم (1)-(6)، بشكل فردي وفي توليفات وتهيئات متعددة، من أجل نشاطها وانتقائيتها لتحويل 2-بيوتين إلى بروبين في مفاعل تدفق مستمر له طبقة ثابتة (القطر الداخلي 0.635 سنتيمتر (0.25 بوصة) (إلى الداخل)، شركة (Autoclave Engineers Ltd.)) عند ضغط جوي. تم ملء أنبوب المفاعل بكميات ثابتة من كل محفز – محفز الأزمرة (أكسيد المغنسيوم من المثال رقم (1)، ومحفز التبادل المزدوج (محفز السيليكا بمسام متوسطة المشبع بأكسيد التنجستن من المثال رقم (4))، ومحفز التكسير (إطار موردينايت معكوس-2000 من المثال رقم (6)) – مع كربيد سليكون silicon carbide من الدرجة 20 عند الجزء السفلي من المفاعل. يكون كربيد السليكون من الدرجة 20 خامل كيميائيًا ولا يساهم في كيمياء التفاعل. تم فصل

كل نوع محفز عن كل محفز مجاور له بواسطة صوف مرو. تم وضع طبقات إضافية من صوف المرو بين المحفز وكربيد السليكون وعند أطراف مدخل ومخرج المفاعل.

تم معالجة المحفزات مسبقًا وتنشيطها تحت غاز النتروجين عند 550 درجة مئوية وتدفق يعادل 25 سنتيمتر مكعب قياسي في الدقيقة لمدة 1 ساعة. تم إجراء كل التفاعلات عند ثلاث درجات حرارة: 500 درجة مئوية، و525 درجة مئوية، و550 درجة مئوية. تم إجراء كل التفاعلات عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة gas hourly space velocity (GHSV) تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2-بيوتين (5 ملي لتر/الدقيقة (مل/الدقيقة)) مع النتروجين كمخفف diluent (25 مل/الدقيقة). من أجل كل تفاعل عند كل درجة حرارة تفاعل، تم إبقاء المفاعل عند درجة حرارة التفاعل لمدة 3.5 ساعة.

الأمثلة رقم (7)-(9): محفز تبادل مزدوج في نظام محفز مفرد

تم اختبار المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد التنجستن (أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون) الواردة في المثال رقم (4) (محفز التبادل المزدوج) من أجل نشاطها وانتقائيتها لتحويل 2-بيوتين إلى بروبين في مفاعل تدفق مستمر له طبقة ثابتة (القطر الداخلي 0.25 بوصة، شركة (Autoclave Engineers Ltd.)) عند ضغط جوي. تم اختبار نشاط المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون وانتقائيته في نظام محفز مفرد. تم ملء أنبوب المفاعل بكمية ثابتة تبلغ 2 مل من المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون مع كربيد سليكون من الدرجة 20 موضوع بعد المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون وصوف مرو موضوع بين المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون وكربيد السليكون وعند أطراف مدخل المفاعل ومخرجه.

تم معالجة المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون مسبقًا في نظام المفاعل وتنشيطه تحت النتروجين عند 550 درجة مئوية وتدفق يبلغ 25 سنتيمتر مكعب قياسي في الدقيقة لمدة 1 ساعة. تم إجراء كل التفاعلات عند ثلاث درجات حرارة: 500 درجة مئوية، و525 درجة مئوية، و550 درجة مئوية. تم إجراء كل التفاعلات عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2-بيوتين (5 مل/الدقيقة) مع النتروجين كمخفف (25 مل/الدقيقة). من أجل كل درجة حرارة، تم إبقاء المفاعل عند درجة حرارة التفاعل لمدة 3.5 ساعة.

تم تنفيذ تحليل كمي لمنتجات التفاعل لكل تجربة باستخدام جهاز كروماتوجراف الغاز (Agilent) مع

كاشف تأين اللهبflame ionization detector (FID) (Agilent GC-7890B)، مجهز بعمود اتش بي-ايه إل/كيه سي إل HP-Al/KCL (50 متر x 0.53 ملي متر x 15 ميكرون).

يلخص الجدول رقم (2) النواتج والتحويلات التي تم الحصول عليها بواسطة المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون في نظام المحفز المفرد عند كلٍ من درجات حرارة التفاعل. في الجدول رقم (2)، تم حساب قيم نواتج وتحويلات تغذية 2-بيوتين بناءً على متوسط القيم التي تم الحصول عليها من 5 مرات حقن في جهاز كروماتوجراف الغاز عند كل درجة حرارة بمجرد كون تشغيل المفاعل مستقرًا. على النحو المبين في الجدول رقم (2)، أدت زيادة درجة حرارة التفاعل إلى زيادة ناتج البروبين. تم تحقيق أقصى ناتج من البروبين عند 550 درجة مئوية.

الجدول رقم (2): أداء محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون في نظام المحفز المفرد الوارد في الأمثلة رقم (7)-(9)

درجة الحرارة	إثيلين (٪ بالمول)	بروبين (٪ بالمول)	ترانس-بيوتين (٪ بالمول)	1-بيوتين (٪ بالمول)	أيزوبيوتين (٪ بالمول)	سيس-بيوتين (٪ بالمول)	C5 (٪ بالمول)	C6+ (٪ بالمول)	التحويل (٪)
العينة = محفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون									
500 درجة مئوية	1.60	18.81	22.73	13.90	0.42	16.77	20.21	5.56	60.50
525 درجة مئوية	2.58	23.53	17.88	10.48	0.29	13.25	22.28	9.70	68.86

550 درجـــــة مئوية	3.41	25.48	16.02	10.71	0.38	12.01	21.59	10.12	71.97

يشرح الجدول رقم (2) الاتجاه المتزايد في ناتج تكوين البروبين المراد مع الزيادات في درجة الحرارة. على العكس من ذلك، يلاحظ أيضًا اتجاه متزايد في ناتج هيدروكربونات C_6+ hydrocarbons C_6+ المرادة بشكل أقل مع زيادات درجة الحرارة. على هذا النحو، يمكن أن يوفر تشغيل المفاعل عند 550 درجة مئوية إنتاج بروبين زائد مع إنتاج C_6+ مقبول نظرًا لزيادة مخرجات البروبين. يمكن أن يوفر تشغيل المفاعل عند 500 درجة مئوية بشكل محتمل فائدة عمر زائد لطبقة المحفز المرتبطة بدرجة حرارة تشغيل أقل.

الأمثلة رقم (10)-(11): محفز تكسير في نظام محفز مفرد

تم اختبار محفز التكسير الوارد في المثال رقم (6) من أجل نشاطه وانتقائيته لتحويل 2-بيوتين إلى بروبين في مفاعل تدفق مستمر له طبقة ثابتة (القطر الداخلي 0.25 بوصة، شركة (Autoclave Engineers Ltd.)) عند ضغط جوي. تم اختبار نشاط محفز التكسير الوارد في المثال رقم (6) وانتقائيته في نظام محفز مفرد. تم ملء أنبوب المفاعل بكمية ثابتة تبلغ 2 مل من محفز التكسير الوارد في المثال رقم (6) مع كربيد سليكون من الدرجة 20 موضوع بعد المحفز وصوف مرو موضوع بين المحفز وكربيد السليكون وعند أطراف مدخل المفاعل ومخرجه.

تم معالجة محفز التكسير في نظام المفاعل مسبقًا وتنشيطه تحت النتروجين عند 550 درجة مئوية وتدفق يبلغ 25 سنتيمتر مكعب قياسي في الدقيقة لمدة 1 ساعة. تم إجراء كل التفاعلات عند اثنين من درجات الحرارة: 500 درجة مئوية، و550 درجة مئوية. تم إجراء كل التفاعلات عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2-بيوتين (5 مل/الدقيقة) مع النتروجين كمخفف (25 مل/الدقيقة). من أجل كل درجة حرارة تفاعل، تم إبقاء المفاعل عند درجة حرارة التفاعل لمدة 3.5 ساعة. تم تنفيذ تحليل كمي لمنتجات التفاعل لكل تجربة باستخدام جهاز كروماتوجراف الغاز (Agilent) الموصوف مسبقًا في هذا الكشف في الأمثلة رقم (7)-(9).

يلخص الجدول رقم (3) النواتج والتحويلات التي تم الحصول عليها بواسطة محفز التكسير الوارد في المثال رقم (6) في نظام المحفز المفرد عند كلٍ من درجات حرارة التفاعل. تم فحص محفز التكسير الوارد في المثال رقم (6) من أجل نشاط التكسير وكذلك لأي مساهمة في إنتاج البروبين. في الجدول رقم (3)، تم حساب قيم نواتج وتحويلات تغذية 2-بيوتين بناءً على متوسط القيم التي تم الحصول عليها من 5 مرات حقن في جهاز كروماتوجراف الغاز عند كل درجة حرارة بمجرد كون تشغيل المفاعل مستقرًا.

الجدول رقم (3): أداء محفز التكسير في نظام المحفز المفرد الوارد في الأمثلة رقم (10)-(11)

درجة الحرارة	إثيلين (٪ بالمول)	بروبين (٪ بالمول)	ترانس-بيوتين (٪ بالمول)	1-بيوتين (٪ بالمول)	أيزوبيوتين (٪ بالمول)	سيس-بيوتين (٪ بالمول)	C5 (٪ بالمول)	C6+ (٪ بالمول)	التحويل (٪)
العينة = ZSM-5									
500 درجة مئوية	14.343	37.773	5.865	3.925	9.867	4.284	6.946	7.401	89.852
550 درجة مئوية	17.534	41.771	5.563	4.135	8.945	4.137	4.023	6.746	90.300

على النحو المبين في الجدول رقم (3)، تؤدي زيادة درجة حرارة التفاعل من 500 درجة مئوية إلى 550 درجة مئوية إلى تكوين بروبين أكثر وتكسير مركبات C_5 وC_6+ أكثر. إن أقصى ناتج بروبين هو 41.77 في المئة (٪)، وهو الذي تم الحصول عليه عند درجة حرارة تفاعل تبلغ 550 درجة مئوية. يشرح الجدول رقم (3) الاتجاه المتزايد في ناتج تكوين البروبين المراد مع زيادات درجة الحرارة. على نحو مماثل، يلاحظ أيضًا اتجاه منخفض في ناتج هيدروكربونات C_6+ المرادة بشكل أقل مع زيادات درجة الحرارة. على هذا النحو، يمكن أن يوفر تشغيل المفاعل عند 550 درجة مئوية الفائدة المرادة المتمثلة في إنتاج بروبين زائد. دون التقيد بالنظرية، يعتقد أنه تؤدي زيادة درجة الحرارة من

500 درجة مئوية إلى 550 درجة مئوية إلى زيادة معدل تفاعل التكسير، وهو الأمر الذي يزيد بدوره كمية مركبات C_5 وC_6+ التي يتم تكسيرها بواسطة محفز التكسير إلى إثيلين وبروبين عند درجة الحرارة الأعلى التي تبلغ 550 درجة مئوية.

الأمثلة رقم (12)-(14): محفز أزمرة في نظام محفز مفرد

تم اختبار محفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1) من أجل نشاطه وانتقائيته لتحويل 2-بيوتين إلى 1-بيوتين وبروبين في مفاعل تدفق مستمر له طبقة ثابتة (القطر الداخلي 0.25 بوصة، شركة (Autoclave Engineers Ltd.)) عند ضغط جوي. تم اختبار نشاط محفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1) وانتقائيته في نظام محفز مفرد. تم ملء أنبوب المفاعل بكمية ثابتة تبلغ 2 مل من محفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1) مع كربيد سليكون من الدرجة 20 موضوع بعد محفز الأزمرة وصوف مرو موضوع بين محفز الأزمرة وكربيد السليكون وعند أطراف مدخل المفاعل ومخرجه.

تم معالجة محفز الأزمرة في نظام المفاعل مسبقًا وتنشيطه تحت النتروجين عند 550 درجة مئوية وتدفق يبلغ 25 سنتيمتر مكعب قياسي في الدقيقة لمدة 1 ساعة. تم إجراء كل التفاعلات عند ثلاث درجات حرارة: 450 درجة مئوية، و500 درجة مئوية، و550 درجة مئوية. تم إجراء كل التفاعلات عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2-بيوتين (5 مل/الدقيقة) مع النتروجين كمخفف (25 مل/الدقيقة). من أجل كل درجة حرارة تفاعل، تم إبقاء المفاعل عند درجة حرارة التفاعل لمدة 4 ساعات. تم تنفيذ تحليل كمي لمنتجات التفاعل لكل تجربة باستخدام جهاز كروماتوجراف الغاز (Agilent) الموصوف مسبقًا في هذا الكشف في الأمثلة رقم (7)-(9).

يلخص الجدول رقم (4) النواتج التي تم الحصول عليها بواسطة محفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1) في نظام المحفز المفرد عند كلٍ من درجات حرارة التفاعل. تم فحص محفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1) من أجل أي مساهمة في إنتاج البروبين. في الجدول رقم (4)، تم حساب قيم النواتج بناءً على متوسط القيم التي تم الحصول عليها من 4 إلى 5 مرات حقن في جهاز كروماتوجراف الغاز عند كل درجة حرارة بمجرد كون تشغيل المفاعل مستقرًا.

الجدول رقم (4): أداء محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم في نظام المحفز المفرد الوارد في الأمثلة رقم (12)-(14)

درجة الحرارة (درجة مئوية)	ترانس-2-بيوتين (٪ بالمول)	سيس-2-بيوتين (٪ بالمول)	1-بيوتين (٪ بالمول)	بروبين (٪ بالمول)	بنتين (٪ بالمول)
450	42.24	31.79	28.55	-	-
500	41.35	30.11	26.74	1	0.56
550	40.23	30.25	27.95	1	1

من أجل المقارنة، تم تشغيل نظام المفاعل فارغًا دون وجود محفز في المفاعل. بدلًا من ذلك، تم ملء المفاعل بكربيد السليكون. تم تشغيل المفاعل عند ثلاث درجات حرارة: 450 درجة مئوية، و500 درجة مئوية، و550 درجة مئوية. تم تشغيل المفاعل الفارغ عند كل درجة حرارة عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2-بيوتين (5 مل/الدقيقة) مع النتروجين كمخفف (25 مل/الدقيقة). تم إبقاء المفاعل عند كل درجة حرارة لمدة 4 ساعات. تم تنفيذ تحليل كمي لمنتجات التفاعل لكل تجربة باستخدام جهاز كروماتوجراف الغاز (Agilent) الموصوف مسبقًا في هذا الكشف في الأمثلة رقم (7)-(9). يلخص الجدول رقم (5) نتائج مرات التشغيل الفارغة عند كلٍ من درجات حرارة التفاعل. في الجدول رقم (5)، تم حساب قيم النواتج بناءً على متوسط القيم التي تم الحصول عليها من 4 إلى 5 مرات حقن في جهاز كروماتوجراف الغاز عند كل درجة حرارة بمجرد كون نظام المفاعل مستقرًا.

الجدول رقم (5): تركيبة المخرج الواردة في المثال المقارن لتشغيل مفاعل فارغ بدون وجود محفز في المفاعل

درجة الحرارة (درجة مئوية)	ترانس-2-بيوتين (٪ بالمول)	سيس-2-بيوتين (٪ بالمول)	1-بيوتين (٪ بالمول)	بروبين (٪ بالمول)	بنتين (٪ بالمول)

–	–	2.79	50.00	47.21	450
–	–	2.20	50.00	47.80	500
–	–	3.00	50.00	47.00	550

على النحو المبين في الجدول رقم (4)، حول محفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1) ما يقرب من ثلث إجمالي 2–بيوتينات إلى 1–بيوتين. إضافةً إلى ذلك، حول محفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1) كمية أكبر من سيس–2–بيوتين إلى 1–بيوتين مقارنةً بكمية ترانس–2–بيوتين التي تم تحويلها إلى 1–بيوتين. يبين الجدول رقم (5) تركيبة تيار المخرج للمفاعل الذي تم تشغيله دون محفز الأزمرة أو أي محفز آخر. تشير مقارنة النتائج الواردة في الجدول رقم (4) مع النتائج الواردة في الجدول رقم (5) إلى أنه يمكن لمحفز الأزمرة الوارد في المثال رقم (1) أن يكون فعالًا في تحويل 2–بيوتينات في تيار تغذية إلى 1–بيوتين للحفاظ على نسبة مواتية من 2–بيوتينات إلى 1–بيوتين في تيار منتج تفاعل الأزمرة، وهو الأمر الذي يمكنه أن يحسن التحويل السفلي للبيوتينات إلى بروبين وإثيلين.

توفر الجداول رقم (2)–(4) الناتج والتحويل لكلٍ من محفزات التبادل المزدوج، والتكسير، والأزمرة التي تم تقييمها بشكل منفصل بوصفها أنظمة محفز مفردة في الأمثلة رقم (7)–(14). على وجه التحديد، تم اختبار محفزات التبادل المزدوج، والتكسير، والأزمرة بشكل منفرد دون دمجها مع واحد أو أكثر من أنواع المحفزات الأخرى. وفر هذا مثالًا لمقارنة الأداء الفردي لمحفزات التبادل المزدوج والتكسير.

الأمثلة رقم (15)–(19): أمثلة مقارنة لمحفزات أكسيد المغنسيوم و أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون في أنظمة مفاعل محفز مزدوجة

تم إجراء أمثلة مقارنة لأنظمة المحفز المزدوجة ذات محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم الوارد في المثال رقم (1) ومحفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون الوارد في المثال رقم (4) وتم تحليل تيار المنتج لتحديد تحويل أنظمة المحفز المزدوجة، وناتجها، وانتقائيتها.

في الأمثلة رقم (15)–(17)، تم تحضير نظام مزدوج المحفزات له طبقة أولى من محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (1مل)، وطبقة من محفز أكسيد المغنسيوم (1 مل) موضوعة بعد الطبقة الأولى من المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون، وطبقة ثانية من المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون(1مل) موضوعة بعد محفز أكسيد المغنسيوم. تم وضع طبقة من كربيد السليكون في الجزء السفلي من المفاعل، بعد الطبقة الثانية من محفز التبادل

المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون. تم وضع صوف مرو قبل الطبقة الأولي من محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون، بين الطبقة الثانية من محفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون وكربيد السليكون، وبعد كربيد السليكون. تم تشغيل نظام المفاعل مزدوج المحفزات أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون – أكسيد المغنسيوم –أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون عند ثلاث درجات حرارة تفاعل هي 450 درجة مئوية، و500 درجة مئوية، و550 درجة مئوية.

في المثال رقم (18)، تم تحضير نظام مزدوج المحفزات له طبقة من أكسيد المغنسيوم (1 مل) وطبقة من محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (2 مل) موضوعة بعد محفز أكسيد المغنسيوم. تم وضع طبقة من كربيد السليكون في الجزء السفلي من المفاعل، بعد محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون. تم وضع صوف مرو قبل محفز أكسيد المغنسيوم، بين المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون وكربيد السليكون، وبعد كربيد السليكون. تم تشغيل نظام المفاعل مزدوج المحفزات أكسيد المغنسيوم (1 مل) – أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (2 مل)، الذي تم تحضيره بالتالي، عند درجة حرارة تفاعل مفردة تبلغ 550 درجة مئوية.

في المثال رقم (19)، تم تحضير نظام مزدوج المحفزات له طبقة من محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (2 مل) وطبقة من أكسيد المغنسيوم (1 مل) موضوعة بعد محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون. تم وضع طبقة من كربيد السليكون في الجزء السفلي من المفاعل، بعد محفز أكسيد المغنسيوم. تم وضع صوف مرو قبل محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون ، بين محفز أكسيد المغنسيوم وكربيد السليكون، وبعد كربيد السليكون. تم تشغيل نظام مفاعل مزدوج المحفزات أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (2 مل) – أكسيد المغنسيوم (1 مل)، الذي تم تحضيره بالتالي، عند درجة حرارة تفاعل تبلغ 550 درجة مئوية.

تم معالجة محفزات أنظمة المحفز المزدوجة الواردة في الأمثلة رقم (15)–(19) مسبقًا تنشيطها تحت النتروجين عند 550 درجة مئوية وتدفق يبلغ 25 سنتيمتر مكعب قياسي في الدقيقة لمدة 1 ساعة. تم إجراء كل التفاعلات عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2–بيوتين (5 مل/الدقيقة) مع النتروجين كمخفف (25 مل/الدقيقة). من أجل كل نظام تفاعل عند كل درجة حرارة تفاعل، تم إبقاء المفاعل عند درجة حرارة التفاعل لمدة

3.5 ساعة. تم تنفيذ تحليل كمي لمنتجات التفاعل لكل تجربة باستخدام جهاز كروماتوجراف الغاز (Agilent) الموصوف مسبقًا في هذا الكشف في الأمثلة رقم (7)-(9).

يلخص الجدول رقم (6) النواتج، والتحويلات والانتقائية التي يتم الحصول عليها لكلٍ من أنظمة تفاعل المحفز المزدوجة الواردة في الأمثلة المقارنة رقم (15)-(19).

الجدول رقم (6): أداء نظام مزدوج المحفزات المرحلة الوارد في الأمثلة المقارنة رقم (15)-(19) له أكسيد المغنسيوم بوصفه محفز الأزمرة و أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون بوصفه محفز التبادل المزدوج

	الأمثلة المقارنة لمحفز مزدوج				
المثال	15	16	17	18	19
درجة الحرارة بالدرجة المئوية	450	500	550	550	500
الناتج (٪ بالمول)					
ميثان Methane	0.082	0.163	1.658	2.843	0.230
إيثان Ethane	0.000	0.085	0.856	1.081	0.085
إثيلين	2.955	4.752	7.551	9.169	1.314
بروبان Propane	0.000	0.000	0.877	0.766	0.000
بروبين	23.405	27.108	31.974	33.808	18.888
أيزو-بوتان Iso-Butane	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N-بيوتان N-Butane	0.228	0.000	0.707	0.457	0.000
ترانس-بيوتين Trans-Butene	15.844	12.606	11.275	9.928	21.039
1-بيوتين	10.781	9.388	9.315	9.180	16.994

أيزوبيوتين Iso-Butene	2.322	3.180	2.037	1.084	0.518
سيس-بيوتين Cis-Butene	11.771	9.506	8.594	7.674	15.772
C_5	19.177	18.466	12.061	11.774	20.457
C_6+	13.643	14.745	13.096	12.226	4.703
إجمالي الأولفينات Olefins (C_3= وC_2=)	26.360	31.861	39.524	42.977	20.202
التحويل (٪بالمول)					
التحويل	72.386	77.888	80.131	82.398	63.189
تحويل C_4	59.283	65.320	68.779	72.125	45.677
الانتقائية					
انتقائية البروبين	32.322	34.804	39.904	41.030	29.881
انتقائية الإثيلين	4.072	6.101	9.422	11.128	2.078
انتقائية الأيزوبيوتين	3.207	4.083	2.542	1.315	0.820

على النحو المبين في الجدول رقم (6)، كان ناتج البروبين الأقصى هو 33.808٪ بالمول، والذي تم الحصول عليه باستخدام تهيئة المفاعل أكسيد المغنسيوم (1 مل) - أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (2 مل) الواردة في المثال رقم (18) عند درجة حرارة تفاعل تبلغ 550 درجة مئوية. بالتالي، تم تحقيق أقصى ناتج في نظام المفاعل مزدوج المحفزات عندما تم وضع أكسيد المغنسيوم في الطبقة الأولى وتم وضع محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون في الطبقة الثانية، بعد محفز أكسيد المغنسيوم. أدت هذه التهيئة إلى أكبر كمية من البروبين والإثيلين الذي تم

إنتاجه. كما توضح نتائج المثال رقم (15)، عندما يتم وضع محفز أكسيد المغنسيوم بعد محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون، يمكن أن يتم خفض نشاط التبادل المزدوج إلى حدٍ كبير.

الأمثلة رقم (20)-(22): أمثلة مقارنة لـ أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون ومحفزات التكسير في أنظمة مفاعل المحفز المزدوجة

تم إجراء الأمثلة المقارنة لأنظمة المحفز المزدوجة ذات محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون الوارد في المثال رقم (4) ومحفز التكسير الوارد في المثال رقم (6) وتم تحليل تيار المنتج لتحديد تحويل أنظمة المحفز المزدوجة، وناتجها، وانتقائيتها. تمثل هذه التهيئة نظام المحفز متعدد المراحل الوارد في الكشف الحالي في غياب محفز الأزمرة.

فيما يتعلق بالأمثلة رقم (20)-(22)، تم تحضير نظام مزدوج المحفزات له طبقة من محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون الوارد في المثال رقم (4) (1 مل) وطبقة من محفز التكسير الوارد في المثال رقم (6) (1 مل) موضوعة بعد محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون. تم وضع طبقة من كربيد السليكون في الجزء السفلي من المفاعل، بعد محفز التكسير. تم وضع صوف مرو قبل محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون، وبين محفز التكسير وكربيد السليكون، وبعد كربيد السليكون. تم تشغيل نظام مفاعل المحفز المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون – محفز التكسير عند ثلاث درجات حرارة تفاعل: 450 درجة مئوية، و500 درجة مئوية، و550 درجة مئوية.

تم معالجة المحفزات في النظام مزدوج المحفزات مسبقًا وتنشيطها تحت النتروجين عند 550 درجة مئوية وتدفق يبلغ 25 سنتيمتر مكعب قياسي في الدقيقة لمدة 1 ساعة. تم إجراء كل التفاعلات عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2-بيوتين (5 مل/الدقيقة) مع النتروجين كمخفف (25 مل/الدقيقة). من أجل كل نظام تفاعل عند كل درجة حرارة تفاعل، تم إبقاء المفاعل عند درجة حرارة التفاعل لمدة 3.5 ساعة. تم تنفيذ تحليل كمي لمنتجات التفاعل لكل تجربة باستخدام جهاز كروماتوجراف الغاز (Agilent) الموصوف مسبقًا في هذا الكشف في الأمثلة رقم (7)-(9).

يلخص الجدول رقم (7)، الذي تم مناقشته لاحقًا فيما يتعلق بالأمثلة رقم (23)-(25)، النواتج، والتحويلات، والانتقائيات التي تم الحصول عليها لكلٍ من أنظمة تفاعل المحفز المزدوجة الواردة في

الأمثلة المقارنة رقم (20)-(22). على النحو المشار إليه في الجدول رقم (7)، كان الناتج الأقصى للبروبين لنظام مفاعل مزدوج المحفزات أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون - إطار موردينايت معكوس-2000الوارد في الأمثلة رقم (20)-(22) هو 43.360٪ بالمول، وهو الذي قد تم تحقيقه عند درجة حرارة تفاعل تبلغ 550 درجة مئوية.

الأمثلة رقم (23)-(25): أكسيد المغنسيوم، وأكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون، ومحفز التكسير في نظام ثلاثي المحفزات

دلت أمثلة مفاعل المحفز المزدوج رقم (15)-(19) على أنه تم تحقيق أعلى نواتج بروبين عندما تم وضع محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم قبل محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون. وفقًا لذلك، تم تنفيذ تجارب باستخدام نظام مفاعل ثلاثي المحفزات يتضمن محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم الواردة في المثال رقم (1)، ومحفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون الوارد في المثال رقم (4)، ومحفز التكسير الوارد في المثال رقم (6).

فيما يتعلق بالأمثلة رقم (23)-(25)، تم تحضير نظام ثلاثي المحفزات له طبقة من محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم (1 مل)، وطبقة من محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (1 مل) موضوعة بعد طبقة محفز أكسيد المغنسيوم، وطبقة من محفز التكسير الوارد في المثال رقم (6) (1 مل) موضوعة بعد المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون. تم وضع طبقة من كربيد السليكون في الجزء السفلي من المفاعل، بعد محفز التكسير. تم وضع صوف مرو قبل محفز أكسيد المغنسيوم، بين كل طبقة محفز، وبين محفز التكسير وكربيد السليكون، وبعد كربيد السليكون. تم تشغيل نظام مفاعل ثلاثي المحفزات أكسيد المغنسيوم - أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون - محفز التكسير عند ثلاث درجات حرارة تفاعل هي 450 درجة مئوية، و500 درجة مئوية، و550 درجة مئوية.

تم معالجة المحفزات مسبقًا وتنشيطها تحت النتروجين عند 550 درجة مئوية وتدفق يبلغ 25 سنتيمتر مكعب قياسي في الدقيقة لمدة 1 ساعة. تم إجراء كل التفاعلات عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2-بيوتين (5 مل/الدقيقة) مع النتروجين كمخفف (25 مل/الدقيقة). من أجل كل نظام تفاعل عند كل درجة حرارة تفاعل، تم إبقاء المفاعل عند درجة حرارة التفاعل لمدة 3.5 ساعة. تم تنفيذ تحليل كمي لمنتجات التفاعل لكل تجربة

باستخدام جهاز كروماتوجراف الغاز (Agilent) الموصوف مسبقًا في هذا الكشف في الأمثلة رقم (7)-(9).

يلخص الجدول رقم (7) النواتج، والتحويلات، والانتقائية التي تم الحصول عليها لكلٍ من أنظمة مفاعل المحفز الثلاثية الواردة في الأمثلة المقارنة رقم (23)-(25) عند كل درجة حرارة تفاعل ويقارن هذه البيانات إلى بيانات الناتج، والتحويل، والانتقائية التي تم الحصول عليها من أجل نظام المفاعل مزدوج المحفزات الوارد في الأمثلة رقم (20)-(22).

الجدول رقم (7): أداء النظام المحفز ثلاثي المراحل الوارد في الأمثلة رقم (23)-(25) له محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم مقارنةً بأداء نظام المحفز مزدوج المرحلة الوارد في الأمثلة رقم (20)-(22) الذي له محفز التبادل المزدوج ومحفز التكسير فحسب

	نظام المحفز ثلاثي المرحلة			نظام المحفز مزدوج المرحلة			الفرق في الناتج	الفرق بالـ ٪
	أكسيد المغنسيوم 550 – أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون – إطار موردينايت معكوس-2000			أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون – إطار موردينايت معكوس-2000			الثلاثي مقابل المزدوج	
المثال	23	24	25	20	21	22		
درجة الحرارة بالدرجة المئوية	450	500	550	450	500	550	550	
الناتج (٪بالمول)								
ميثان	0.000	0.119	0.322	0.000	0.101	0.238		0.08
إيثان	0.000	0.124	0.194	0.074	0.102	0.151		0.04

1.60	11%	14.489	10.391	7.107	16.090	12.298	7.515	إثيلين
-0.12		1.727	2.232	2.801	1.607	2.193	2.740	بروبان
1.10	2.5%	43.360	38.897	33.409	44.457	40.659	33.362	بروبين
-0.34		1.131	2.324	4.101	0.792	1.765	3.746	أيزو-بيوتان
-0.26		1.039	1.710	2.430	0.777	1.283	2.199	N-بيوتان
-0.89		7.073	7.340	7.670	6.186	6.850	7.294	ترانس-بيوتين
0.27		4.579	4.402	4.117	4.851	4.815	4.541	1-بيوتين
-0.81	-0.7%	10.960	12.013	13.202	10.153	11.753	13.14	أيزوبيوتين
-0.49		5.119	5.250	5.371	4.632	5.040	5.220	سيس-بيوتين

C_5	10.910	7.461	5.623	13.100	10.132	6.718		-1.10
C_6+	9.326	5.640	4.315	6.637	5.126	3.418		0.90
إجمـــــــالي الأولفينات (C_3=) و(C_2=)	40.877	52.957	60.547	40.516	49.288	57.849	2.7 %	2.70
التحويل (٪بالمول)								
التحويل	87.486	88.110	89.182	86.959	87.410	87.808		1.37
تحويل C_4	69.799	71.542	74.178	69.622	70.994	72.270		1.91
الانتقائية								
انتقائيـــــــة البروبين	38.134	46.146	49.849	38.420	44.301	49.279	1.2 %	0.57
انتقائية الإثيلين	8.590	13.958	18.042	8.172	11.888	16.499	9.4 %	1.54
انتقائيـــــــة الأيزوبيوتين	15.027	13.339	11.385	15.203	13.744	12.481	-8.8 %	-1.10

يوضح الجدول رقم (7) الأداء المتفوق لنظام المحفز ثلاثي الطبقات وفقًا للكشف الحالي عن نظام محفز مزدوج مقارن. تضمن نظام المحفز ثلاثي الطبقات نظام المحفز المزدوج (الأمثلة رقم (20)-(22)) مع محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم المضاف الوارد في المثال رقم (1) في حيز تفاعل أزمرة

موضوع قبل محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون. مقارنةً بنظام المحفز المزدوج الوارد في الأمثلة رقم (20)-(22)، أدى إدخال طبقة محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم في النظام ثلاثي المحفزات قبل طبقتي التبادل المزدوج والتكسير، كما هو الحال في الأمثلة رقم (23)-(25)، إلى نواتج مرتفعة بشكل غير متوقع من البروبين والإثيلين، مما أدى إلى زيادة بنسبة 2.5٪ و11٪، على التوالي، عن النظام مزدوج المحفزات الذي له محفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون ومحفز التكسير فحسب. أيضًا، انخفض ناتج المنتج الثانوي الأيزوبيوتين غير المراد بنسبة 0.7٪ عندما تم استخدام أكسيد المغنسيوم بوصفه محفز الأزمرة. ازداد إجمالي ناتج الأولفينات لنظام المحفز الثلاثي أكسيد المغنسيوم - أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون - التكسير الوارد في المثال رقم (25) بنسبة 4.7٪ عن نظام المحفز المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون - التكسير الوارد في المثال المقارن رقم (22). بالتالي، توضح البيانات الواردة في الجدول رقم (7) أن نظام ثلاثي المحفزات الوارد في الأمثلة رقم (23)-(25)، الذي تضمن أكسيد المغنسيوم الوارد في المثال رقم (1) بوصفه محفز الأزمرة، قدم أداء أفضل فيما يتعلق بناتج الأولفين وخفض المنتجات الثانوية غير المرادة من أنظمة المحفز المزدوجة الواردة في الأمثلة رقم (20)-(22). أدى إدخال طبقة محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم - على نحو غير متوقع- إلى زيادة نواتج الأولفينات وخفض إنتاج المنتجات الثانوية غير المرادة مثل الأيزوبيوتين.

بالإشارة إلى الشكل رقم (5)، يوضح نظام المحفز متعدد المراحل تحويل وانتقائية مستقرين عند درجات حرارة متعددة على مدى فترة من الزمن. تم استخدام النظام ثلاثي المحفزات الوارد في الأمثلة رقم (23)-(25) من أجل تفاعل 2-بيوتين إلى بروبين عند درجات حرارة التفاعل 450 درجة مئوية، و500 درجة مئوية، و550 درجة مئوية عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة. تم عرض بيانات الشكل رقم (5) لاحقًا أيضًا في الجدول رقم (8). يوضح الشكل رقم (5) درجة حرارة التفاعل 502 (درجة مئوية)، وإجمالي التحويل 504 (٪)، وانتقائية البروبين 506، وانتقائية الإثيلين 508، وانتقائية الأيزوبيوتين 510 كدالة على الزمن عمل التيار لنظام المحفز متعدد المراحل. كانت منحدرات إجمالي التحويل 504، وانتقائية البروبين 506، وانتقائية الإثيلين 508 كلها ثابتة أو متزايدة طوال وقت تشغيل 12 ساعة لنظام التفاعل، مما يدل على أنه يمكن لنظام المحفز متعدد المراحل أن يكون مستقرًا وقد لا يحدث تثبيط للمحفزات السفلية.

الجدول رقم (8): درجة الحرارة، والتحويل، والانتقائية مقابل زمن عمل التيار لنظام المحفز ثلاثي المراحل الوارد في الأمثلة رقم (23)-(25)

الأمثلة رقم (23)-(25): درجة الحرارة، والتحويل، والانتقائية مقابل زمن عمل التيار					
زمن عمل التيار (ساعة: دقيقة: ثانية)	درجة الحرارة (بالدرجة المئوية)	إجمالي تحويل (٪ بالمول)	انتقائية البروبين (٪)	انتقائية الإثيلين (٪)	انتقائية الأيزوبيوتين (٪)
0:57:29	450	88.566	36.637	10.794	13.633
1:44:35	450	88.209	37.254	9.448	14.114
2:31:41	450	88.038	37.677	9.170	14.355
3:18:46	450	87.858	37.929	8.923	14.555
4:05:49	500	88.636	41.944	12.077	12.955
4:52:48	500	88.789	45.038	14.366	12.562
5:39:49	500	88.916	44.430	14.163	12.393
6:26:50	500	88.723	45.179	13.998	12.546
7:13:48	500	88.403	46.005	14.089	13.043
8:00:53	550	88.871	48.919	16.621	12.086
8:47:59	550	89.495	48.964	18.373	11.054
9:35:02	550	89.476	49.501	18.353	11.129
10:22:10	550	89.397	49.834	18.126	11.185
11:09:18	550	89.342	49.955	18.007	11.248

11:56:27	550	89.252	49.893	17.927	11.363
12:43:36	550	88.767	52.067	19.160	11.938

الأمثلة رقم (26)-(28): أكسيد المغنسيوم، وأكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون، ومحفز التكسير في نظام ثلاثي المحفزات

في الأمثلة التالية رقم (26)-(28)، تم مضاعفة حجم محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم في نظام مفاعل ثلاثي المحفزات أكسيد المغنسيوم – أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون – التكسير للتحقيق في تأثير تغيير النسبة الحجمية لأكسيد المغنسيوم على محفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون على أداء نظام المفاعل ثلاثي المحفزات.

فيما يتعلق بالأمثلة رقم (26)-(28)، تم تحضير نظام ثلاثي المحفزات له طبقة من محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم (2 مل) من المثال رقم (1)، وطبقة من محفز التبادل المزدوج أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (1 مل) من المثال رقم (4) موضوعة بعد طبقة أكسيد المغنسيوم، وطبقة من محفز التكسير (1 مل) من المثال رقم (6) موضوعة بعد المحفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون. تم زيادة حجم محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم إلى 2 مل مقارنةً بالحجم 1 مل من أكسيد المغنسيوم المستخدم في الأمثلة رقم (23)-(25). تم وضع طبقة من كربيد السليكون في الجزء السفلي من المفاعل، بعد طبقة محفز التكسير. تم وضع صوف مرو قبل أكسيد المغنسيوم، وبين كل طبقة محفز، وبين محفز التكسير وكربيد السليكون، وبعد كربيد السليكون. تم تشغيل المفاعل ثلاثي المحفزات أكسيد المغنسيوم (2 مل) – أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون (1 مل) – محفز التكسير (1 مل) عند ثلاث درجات حرارة تفاعل: 450 درجة مئوية، و500 درجة مئوية، و550 درجة مئوية.

تم معالجة محفزات نظام المفاعل ثلاثي المحفزات الوارد في الأمثلة رقم (26)-(28) مسبقًا وتنشيطها تحت النتروجين عند 550 درجة مئوية وتدفق يبلغ 25 سنتيمتر مكعب قياسي في الدقيقة لمدة 1 ساعة. تم إجراء كل التفاعلات عند ضغط جوي بسرعة فراغية للغاز في الساعة تعادل 900 في الساعة وباستخدام تيار تغذية تضمن 2-بيوتين (5 مل/الدقيقة) مع النتروجين كمخفف (25 مل/الدقيقة). من أجل كل نظام تفاعل عند كل درجة حرارة تفاعل، تم إبقاء المفاعل عند درجة حرارة

التفاعل لمدة 3.5 ساعة. تم تنفيذ تحليل كمي لمنتجات التفاعل لكل تجربة باستخدام جهاز كروماتوجراف الغاز (Agilent) الموصوف مسبقًا في هذا الكشف في الأمثلة رقم (7)-(9).

يلخص الجدول رقم (9) النواتج، والتحويلات، والانتقائية التي تم الحصول عليها من أجل أنظمة المفاعل ثلاثية المحفزات الواردة في الأمثلة رقم (26)-(28) التي لها حمولة محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم الزائدة التي تبلغ 2 مل. من أجل المقارنة، يتضمن الجدول رقم (9) بيانات الناتج، والتحويل، والانتقائية لأنظمة المفاعل ثلاثية المحفزات الواردة في الأمثلة رقم (23)-(25)، والتي لها حمل محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم الذي يبلغ 1 مل.

الجدول رقم (9): أداء نظام المحفز ثلاثي المراحل الوارد في الأمثلة رقم (26)-(28) الذي له الحمولة الزائدة من محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم مقارنةً بأداء نظام المحفز ثلاثي المراحل الوارد في الأمثلة رقم (23)-(25)

	1 مل من محفز أكسيد المغنسيوم + 1 مل من محفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون + 1 مل من محفز التكسير			2 مل من محفز أكسيد المغنسيوم + 1 مل من محفز أكسيد التنجستن/ثنائي أكسيد السيليكون + 1 مل من محفز التكسير		
المثال	23	24	25	26	27	28
درجة الحرارة بالدرجة المئوية	450	500	550	450	500	550
الناتج (٪بالمول)						
ميثان	0.000	0.119	0.322	0.000	0.128	0.313
إيثان	0.000	0.124	0.194	0.084	0.137	0.190

إثيلين	7.515	12.298	16.090	7.840	12.420	17.007
بروبان	2.740	2.193	1.607	2.961	2.531	1.743
بروبين	33.362	40.659	44.457	33.324	40.084	46.218
أيـــــزو-بيوتان	3.746	1.765	0.792	4.094	2.096	0.931
N-بيوتان	2.199	1.283	0.777	2.414	1.514	0.909
تـــرانس-بيوتين	7.294	6.850	6.186	7.058	6.477	6.085
1-بيوتين	4.541	4.815	4.851	4.532	4.688	4.916
أيزوبيـــوتين	13.146	11.753	10.153	12.787	11.131	10.049
ســـــيس-بيوتين	5.220	5.040	4.632	5.084	4.800	4.573
C_5	10.910	7.461	5.623	13.433	9.113	5.309
C_6+	9.326	5.640	4.315	6.388	4.882	4.226
إجمـــــالي الأولفينـــات	40.877	52.957	60.547	41.164	52.504	63.225

كانت نواتج

(C_3=) و(C_2=)						
التحويل (٪بالمول)						
التحويل	87.486	88.110	89.182	87.858	88.723	89.342
تحويل C_4	69.799	71.542	74.178	70.538	72.904	74.377
الانتقائية						
انتقائية البروبين	38.134	46.146	49.849	37.929	45.179	51.731
انتقائية الإثيلين	8.590	13.958	18.042	8.923	13.998	22.867
انتقائية الأيزوبيوتين	15.027	13.339	11.385	14.555	12.546	11.248

البروبين والإثيلين أعلى بشكل غير متوقع عندما تم مضاعفة كمية محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم التي تم تحميلها في المفاعل 1 مل إلى 2 مل. على النحو المبين في الجدول رقم (7)، ازداد ناتج البروبين عند 550 درجة مئوية بنسبة 4٪ من 44.457٪ بالمول إلى 46.218 ٪ بالمول عندما ازدادت النسبة الحجمية لمحفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم إلى محفز التبادل المزدوج إلى محفز التكسير من 1:1:1 إلى 2:1:1. وفقًا لذلك، أدت مضاعفة نسبة محفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم إلى محفز التبادل المزدوج ومحفز التكسير أيضًا إلى زيادة إجمالي التحويل وانتقائية البروبين وخفض ناتج الأيزوبيوتين للنظام ثلاثي المحفزات. بالتالي، توضح البيانات الواردة في الجدول رقم (9) أنه يمكن لزيادة النسبة الحجمية لمحفز الأزمرة أكسيد المغنسيوم إلى محفز التبادل المزدوج وإلى محفز التكسر أن تحسن أداء ناتج، وتحويل، وانتقائية النظام ثلاثي المحفزات.

منهجيات الحساب

تم حساب تحديد "التحويل" وفقًا للصيغة 1، حيث n_i هو عدد مولات المكون "i" (2-بيوتينات) الذي يدخل المفاعل أو يخرج منه.

$$\text{التحويل} = \frac{n_{i,in} - n_{i,out}}{n_{i,in}} \times 100 \quad (1)$$

على نحو مماثل، تم حساب تحديد "تحويل C_4" وفقًا للصيغة 2.

C_4 تحويل

= 100

- (ناتج سيس بيوتين + ناتج ترانس بيوتين + ناتج الأيزوبيوتين + ناتج 1-بيوتين) (2)

تم حساب تحديد "الانتقائية" وفقًا للصيغة 3.

$$\text{الانتقائية} = \frac{\text{ناتج المنتج}}{\text{التحويل}} \times 100$$

تم قياس مساحة سطح العينات من خلال امتزاز النتروجين عند 77 كلفن (K) باستخدام جهاز AUTOSORB-1 من شركة (Quanta Chrome). قبل قياسات الامتزاز، تم تسخين العينات (حوالي 0.1 جرام) عند 220 درجة مئوية لمدة ساعتين تحت تدفق نتروجين. تم قياس خطوط تساوي درجة الحرارة لامتزاز النتروجين للمحفزات عند درجة حرارة نتروجين سائل (77 كلفن). تم حساب مساحات السطح من خلال طريقة بروناور-ايميت-تيلر . تم تقدير إجمالي الحجم المسامي النسبي من كمية النتروجين التي تم امتزازها عند ضغط الغاز النسبي (P/P0) = 0.99. Barret EP, Joyner LJ, Halenda PH, J. Am. Chem. Soc. 73 (1951) 373-380. يعادل التحسين في النسبة المئوية، مثل التغير في النسبة المئوية المعروض في الجدول رقم (7)، الفرق بين القيمة المحسنة والقيمة الأولية مقسومًا على القيمة الأولية. يتم ضرب الحاصل بعد ذلك في 100 لتحويل التحسن إلى تحسن بالنسبة المئوية. يمكن أن تكون القيمة الأولية قيمة مرجعية أيضًا.

يمكن توجيه جانب أول من الاختراع الحالي إلى عملية لإنتاج البروبين، تشتمل العملية على أزمرة البيوتين جزئيًا على الأقل بمحفز أزمرة لتكوين منتج تفاعل أزمرة، يشتمل محفز الأزمرة على أكسيد المغنسيوم. تشتمل العملية كذلك على التبادل المزدوج لمنتج تفاعل الأزمرة بمحفز تبادل مزدوج لتكوين منتج تفاعل تبادل مزدوج، يشتمل محفز التبادل المزدوج على مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز. تشتمل العملية كذلك على تكسير منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل بمحفز تكسير لتكوين منتج تفاعل تكسير، يشتمل منتج تفاعل التكسير على البروبين.

يمكن أن يتضمن جانب ثان من الكشف الحالي الجانب الأول حيث يتم أزمرة البيوتين جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل أزمرة لتكوين منتج تفاعل أزمرة، يشتمل حيز تفاعل الأزمرة على أكسيد المغنسيوم.

يمكن أن يتضمن جانب ثالث من الكشف الحالي الجانب الأول أو الثاني حيث يتم تبادل منتج تفاعل الأزمرة بشكل مزدوج جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل تبادل مزدوج لتكوين منتج تفاعل تبادل مزدوج، يشتمل حيز تفاعل التبادل المزدوج على المادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز.

يمكن أن يتضمن جانب رابع من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الثالث حيث يتم تكسير منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل تكسير لتكوين منتج تفاعل تكسير، يشتمل حيز تفاعل التكسير على محفز تكسير.

يمكن أن يتضمن جانب خامس من الكشف الحالي الجانب الأول حيث يتم أزمرة البيوتين جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل أزمرة لتكوين منتج تفاعل الأزمرة، يشتمل حيز تفاعل الأزمرة على أكسيد المغنسيوم؛ يتم تبادل منتج تفاعل الأزمرة بشكل مزدوج جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل تبادل مزدوج لتكوين منتج تفاعل التبادل المزدوج، يشتمل حيز تفاعل التبادل المزدوج على المادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز؛ ويتم تكسير منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل تكسير لتكوين منتج تفاعل تكسير، يشتمل حيز تفاعل التكسير على محفز التكسير.

يمكن أن يتضمن جانب سادس من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الخامس حيث حيث يكون حيز تفاعل التبادل المزدوج بعد حيز تفاعل الأزمرة، ويكون حيز تفاعل التكسير بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج.

يمكن أن يتضمن جانب سابع من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى السادس حيث يتم وضع حيز تفاعل الأزمرة، وحيز تفاعل التبادل المزدوج، وحيز تفاعل التكسير داخل مفاعل.

يمكن أن يتضمن جانب ثامن من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى السابع حيث تكون النسبة الحجمية لأكسيد المغنسيوم في حيز تفاعل الأزمرة إلى المادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز في حيز تفاعل التبادل المزدوج هي 1:2 على الأقل.

يمكن أن يتضمن جانب تاسع من الكشف الحالي الجانب الأول حيث يتم أزمرة البيوتين جزئيًا على الأقل وتبادله بشكل مزدوج جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل أزمرة وتبادل مزدوج مختلط لتكوين منتج تفاعل تبادل مزدوج، يشتمل حيز تفاعل الأزمرة والتبادل المزدوج المختلط على أكسيد المغنسيوم والمادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز، ويتم تكسير منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل تكسير بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج، يشتمل حيز تفاعل التكسير على محفز التكسير.

يمكن أن يتضمن جانب عاشر من الكشف الحالي الجانب الأول حيث يتم أزمرة البيوتين جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل أزمرة لتكوين منتج تفاعل أزمرة، يشتمل حيز تفاعل الأزمرة على أكسيد المغنسيوم؛ ويتم تبادل منتج تفاعل الأزمرة بشكل مزدوج جزئيًا على الأقل وتكسيره جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل تبادل مزدوج وتكسير مختلط بعد حيز تفاعل الأزمرة، يشتمل حيز تفاعل التبادل المزدوج والتكسير المختلط على المادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز ومحفز التكسير.

يمكن أن يتضمن جانب حادي عشر من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى العاشر حيث يشتمل كذلك على إدخال تيار مدخل إلى حيز تفاعل يشتمل على محفز الأزمرة، يشتمل تيار المدخل على من 20 في المئة بالوزن إلى 60 في المئة بالوزن من سيس- أو ترانس-2-بيوتين، ومن 10 في المئة بالوزن إلى 15 في المئة بالوزن من 1-بيوتين، ومن 15 في المئة بالوزن إلى 25 في المئة بالوزن من n-بيوتان.

يمكن أن يتضمن جانب ثان عشر من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الحادي عشر حيث يشتمل منتج تفاعل الأزمرة على 1-بيوتين و2-بيوتين.

يمكن أن يتضمن جانب ثالث عشر من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الثاني عشر حيث يشتمل منتج تفاعل التبادل المزدوج على البروبين والبنتين.

يمكن أن يتضمن جانب رابع عشر من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الثالث عشر حيث يشتمل منتج تفاعل التكسير على البروبين.

يمكن أن يتضمن جانب خامس عشر من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الرابع عشر حيث يتم معالجة أكسيد المغنسيوم مسبقًا في عملية تكليس.

يمكن أن يتضمن جانب سادس عشر من الكشف الحالي الجانب الخامس عشر حيث يتم تكليس أكسيد المغنسيوم عند درجة حرارة تكليس تتراوح من 300 درجة مئوية إلى800 درجة مئوية.

يمكن أن يتضمن جانب سابع عشر من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى السادس عشر حيث يشتمل أكسيد فلز المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز على واحد أو أكثر من أكاسيد الموليبدينيوم، وأكاسيد الرينيوم، وأكاسيد التنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب ثامن عشر من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى السابع عشر حيث يكون أكسيد فلز المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز هو أكسيد تنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب تاسع عشر من الكشف الحالي الجانب الثامن عشر حيث تشتمل المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز على ما يتراوح من 1 في المئة بالوزن إلى 30 في المئة بالوزن من أكسيد التنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب عشرون من الكشف الحالي الجانب الثامن عشر حيث تشتمل المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد الفلز على ما يتراوح من 7 في المئة بالوزن إلى 15 في المئة بالوزن من أكسيد التنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب حادي وعشرون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى العشرين حيث يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز مساحة سطح تتراوح من 200 متر^2/جرام إلى600 متر^2/جرام.

يمكن أن يتضمن جانب ثاني وعشرون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الحادي وعشرين حيث يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز حجم مسامي نسبي يعادل 0.6 سم^3/جرام على الأقل.

يمكن أن يتضمن جانب ثالث وعشرون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الثاني وعشرين حيث يكون محفز التكسير هو محفز زيوليت.

يمكن أن يتضمن جانب رابع وعشرون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الأول إلى الثاني وعشرين حيث يكون محفز التكسير هو محفز يحتوي على السيليكا مهيكل له إطار موردينايت معكوس.

يمكن أن يتضمن جانب خامس وعشرون من الكشف الحالي الجانب الرابع وعشرين حيث يكون للمحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس إجمالي حمضية يتراوح من 0.001 ملي مول/جرام إلى 0.5 ملي مول/جرام.

يمكن أن يتضمن جانب سادس وعشرون من الكشف الحالي الجانب الرابع وعشرين حيث يشتمل المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس على الألومينا.

يمكن أن يتضمن جانب سابع وعشرون من الكشف الحالي الجانب الرابع والعشرين حيث يكون المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس خاليًا من الألومينا إلى حد كبير.

يمكن أن يكون جانب ثامن وعشرون من الكشف الحالي موجه إلى عملية لإنتاج البروبين، تشتمل العملية على إدخال تيار يشتمل على البيوتين إلى حيز تفاعل أزمرة يشتمل على محفز أزمرة، يشتمل محفز الأزمرة على أكسيد المغنسيوم؛ أزمرة التيار الذي يشتمل على البيوتين جزئيًا على الأقل في حيز تفاعل الأزمرة لتكوين تيار منتج تفاعل أزمرة؛ تمرير تيار منتج تفاعل الأزمرة إلى حيز تفاعل تبادل مزدوج يشتمل على محفز تبادل مزدوج، يشتمل محفز التبادل المزدوج على مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز؛ التبادل المزدوج لتيار منتج تفاعل الأزمرة جزئيًا على الأقل بواسطة محفز التبادل المزدوج لتكوين تيار منتج تفاعل تبادل مزدوج؛ تمرير تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج إلى حيز تفاعل تكسير يشتمل على محفز تكسير؛ وتكسير تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج جزئيًا على الأقل بواسطة محفز التكسير لتكوين تيار منتج تفاعل تكسير يشتمل على البروبين.

يمكن أن يتضمن جانب تاسع وعشرون من الكشف الحالي الجانب الثامن والعشرين حيث يشتمل التيار الذي يشتمل على البيوتين على من 50 في المئة بالوزن إلى 60 في المئة بالوزن من سيس-أو ترانس-2-بيوتين، ومن 10 في المئة بالوزن إلى 15 في المئة بالوزن من 1-بيوتين، ومن 15 في المئة بالوزن إلى 25 في المئة بالوزن من n-بيوتان.

يمكن أن يتضمن جانب ثلاثون الجانب الثامن والعشرين أو التاسع والعشرين حيث يتم وضع حيز تفاعل التبادل المزدوج بعد حيز تفاعل الأزمرة.

يمكن أن يتضمن جانب حادي وثلاثون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والعشرين إلى الثلاثين حيث يتم وضع حيز تفاعل التبادل المزدوج بعد حيز تفاعل الأزمرة، ويتم وضع حيز تفاعل التكسير بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج.

يمكن أن يتضمن جانب ثاني وثلاثون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والعشرين إلى الحادي والثلاثين حيث تكون النسبة الحجمية لأكسيد المغنسيوم إلى المادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز هي 1:2 على الأقل.

يمكن أن يتضمن جانب ثالث وثلاثون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والعشرين إلى الثاني والثلاثين حيث يتم معالجة أكسيد المغنسيوم مسبقًا في عملية تكليس عند درجة حرارة تكليس تتراوح من 400 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية ومعدل ازدياد من 1 درجة مئوية لكل دقيقة إلى 3 درجة مئوية لكل دقيقة.

يمكن أن يتضمن جانب رابع وثلاثون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن وعشرين إلى الثالث وثلاثين حيث يشتمل يكون أكسيد فلز المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز على أكسيد التنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب خامس وثلاثون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والعشرين إلى الرابع والثلاثين حيث يتم تنفيذ تفاعل الأزمرة، وتفاعل التبادل المزدوج، وتفاعل التكسير عند درجة حرارة تتراوح من 400 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية.

يمكن أن يتضمن جانب سادس وثلاثون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والعشرين إلى الخامس والثلاثين حيث يشتمل تيار منتج تفاعل الأزمرة على 1-بيوتين و2-بيوتين.

يمكن أن يتضمن جانب سابع وثلاثون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والعشرين إلى السادس والثلاثين حيث يشتمل تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج على البروبين والبنتين.

يمكن توجيه جانب ثامن وثلاثون من الكشف الحالي إلى نظام محفز متعدد المراحل لإنتاج البروبين، يشتمل نظام المحفز متعدد المراحل على حيز تفاعل أزمرة، وحيز تفاعل تبادل مزدوج بعد حيز تفاعل الأزمرة، وحيز تفاعل تكسير بعد حيز تفاعل التبادل المزدوج. يشتمل حيز تفاعل الأزمرة على أكسيد المغنسيوم، ويشتمل حيز تفاعل التبادل المزدوج على مادة حاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة مشبعة بأكسيد فلز ، ويشتمل حيز تفاعل التكسير على محفز زيوليت، حيث يكسر محفز الزيوليت تيار منتج التبادل المزدوج لتكوين تيار منتج تكسير يشتمل على البروبين.

يمكن أن يتضمن جانب تاسع وثلاثون من الكشف الحالي الجانب الثامن والثلاثين حيث يتم وضع حيز تفاعل الأزمرة، وحيز تفاعل التبادل المزدوج، وحيز تفاعل التكسير في مفاعل واحد.

يمكن أن يتضمن جانب أربعون من الكشف الحالي الجانب الثامن والثلاثين أو الجانب التاسع والثلاثين حيث تكون النسبة الحجمية لأكسيد المغنسيوم في حيز تفاعل الأزمرة إلى المادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز في حيز تفاعل التبادل المزدوج هي 1:2 على الأقل.

يمكن أن يتضمن جانب حادي وأربعون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والثلاثين إلى الأربعين حيث تكون النسبة الحجمية لأكسيد المغنسيوم في حيز تفاعل الأزمرة إلى المادة الحاملة لمحفز سيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز في حيز تفاعل التبادل المزدوج هي 1:1 على الأقل.

يمكن أن يتضمن جانب ثاني وأربعون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن وثلاثين إلى الحادي وأربعين حيث يشتمل أكسيد فلز المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز على واحد أو أكثر من أكاسيد الموليبدينيوم، وأكاسيد الرينيوم، وأكاسيد التنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب ثالث وأربعون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والثلاثين إلى الثاني والأربعين حيث يكون أكسيد فلز المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز هو أكسيد تنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب رابع وأربعون من الكشف الحالي الجانب الثالث والأربعين حيث تشتمل المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز على ما يتراوح من 1 في المئة بالوزن إلى 30 في المئة بالوزن من أكسيد التنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب خامس وأربعون من الكشف الحالي الجانب الثالث والأربعين حيث تشتمل المادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد الفلز على ما يتراوح من 7 في المئة بالوزن إلى 15 في المئة بالوزن من أكسيد التنجستن.

يمكن أن يتضمن جانب سادس وأربعون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والثلاثين إلى الخامس والأربعين حيث يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز مساحة سطح تتراوح من 200 متر^2/جرام إلى600 متر^2/جرام.

يمكن أن يتضمن جانب سابع وأربعون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والثلاثين إلى السادس والأربعين حيث يكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا بمسام متوسطة المشبعة بأكسيد فلز حجم مسامي نسبي يعادل 0.60 سنتيمتر^3/جرام على الأقل.

يمكن أن يتضمن جانب ثامن وأربعون من الكشف الحالي أي من الجوانب من الثامن والثلاثين إلى السابع والأربعين حيث يكون محفز الزيوليت هو محفز يحتوي على السيليكا مهيكل له إطار موردينايت معكوس.

يمكن أن يتضمن جانب تاسع وأربعون من الكشف الحالي الجانب الثامن والأربعين حيث يشتمل المحفز الذي يحتوي على السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس على الألومينا.

يمكن أن يتضمن جانب خمسون من الكشف الحالي الجانب الثامن والأربعين حيث يكون محفز السيليكا المهيكل له إطار موردينايت معكوس خاليًا إلى حدٍ كبير من الألومينا.

يلاحظ أن واحد أو أكثر من عناصر الحماية التالية يستخدم المصطلح "حيث" بوصفه عبارة انتقالية. لأغراض تعريف التقنية الحالية، يلاحظ أنه يتم إدخال هذا المصطلح إلى عناصر الحماية بوصفه عبارة انتقالية غير محددة يتم استخدامها لتقديم سرد لسلسلة من خصائص الهيكل وينبغي أن يتم تفسيرها على نحو مماثل مثل مصطلح التمهيد غير المحدود الأكثر شيوعًا في الاستخدام "يشتمل". ينبغي فهم أنه يمكن أن يشكل أي قيمتين كميتين يتم تخصيصهما لخاصية يمكن أن يشكلان نطاقًا لهذه الخاصية، وتراعى جميع توليفات النطاقات المكونة من كل القيم الكمية الوارد ذكرها لخاصية معينة في هذا الكشف. ينبغي أن يكون موضع تقدير أنه ينبغي تقدير النطاقات التركيبية للمكون الكيميائي في تيار أو في مفاعل تحتوي، في بعض النماذج، على خليط من أيزومرات هذا المكون. على سبيل المثال، يمكن أن يتضمن نطاق تركيبي يحدد البيوتين خليط من أيزومرات متنوعة من البيوتين. ينبغي تقدير أن الأمثلة توفر نطاقات تركيبية لتيارات متنوعة، ويمكن أن تشكل إجمالي كمية الأيزومرات لتركيبة كيميائية معينة نطاقًا.

بعد وصف موضوع الكشف الحالي بالتفصيل وبالإشارة إلى نماذج محددة، يلاحظ أنه ينبغي ألا تؤخذ التفاصيل المتعددة الموصوفة في هذا الكشف على أنها تعني ضمنيًا أن هذه التفاصيل تتعلق بعناصر تعد مكونات أساسية للنماذج المتعددة الموصوفة في هذا الكشف، حتى في الحالات حيث يتم توضيح عنصر محدد في كل من الرسومات الملحقة بالوصف الحالي. بدلًا من ذلك، ينبغي أن تؤخذ عناصر الحماية الملحقة بهذا الكشف على أنها التمثيل الوحيد لاتساع الكشف الحالي والمجال المناظر للنماذج المتعددة الموصوفة في هذا الكشف. علاوةً على ذلك، سيتضح أن التعديلات والتغييرات ممكنة دون الابتعاد عن مجال عناصر الحماية الملحقة.

قائمة التتابع

"أ" الشدة (وحدات تقريبية)

"ب" 2 ثيتا (درجات)

"ج" درجة الحرارة (مئوية).

عناصر الحماية

1. عملية لإنتاج بروبين propene، تشتمل العملية على:

إدخال تيار مدخل لحيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone يحوي محفز أزمرة isomerization catalyst، يشتمل محفز الأزمرة isomerization catalyst على أكسيد المغنيسيوم magnesium oxide (MgO) وتيار المدخل يشتمل على من 10 نسبة وزن مئوية إلى 60 نسبة وزن مئوية من سيس- أو ترانس-2-بيوتين cis- or trans-2-butene ومن 10 نسبة وزن مئوية إلى 60 نسبة وزن مئوية من 1-بيوتين 1-butene؛

أزمرة جزء على الأقل من تيار المدخل في حيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone لتكوين تيار منتج تفاعل أزمرة isomerization reaction product stream؛

تمرير تيار منتج تفاعل الأزمرة isomerization reaction product على حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone الذي يحوي محفز تبادل مزدوج metathesis catalyst، يحتوي محفز التبادل المزدوج metathesis catalyst على مادة حاملة لمحفز سيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support مشبعة بأكسيد فلز metal oxide؛

تبادل مزدوج metathesizing لجزء على الأقل من تيار منتج تفاعل الأزمرة isomerization reaction product بمحفز التبادل المزدوج metathesis catalyst لتكوين تيار منتج تفاعل تبادل مزدوج metathesis reaction product يحوي بروبين propene وبنتين pentene؛

تمرير تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction product، الذي يتضمن بروبين propene وبنتين pentene، إلى حيز تفاعل تكسير cracking reaction zone يحوي محفز تكسير cracking catalyst؛ و

تكسير جزء على الأقل من تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction product الذي يتضمن بروبين propene وبنتين pentene، بمحفز التكسير cracking catalyst لتكوين تيار منتج تفاعل تكسير cracking reaction product يحوي بروبين propene؛

حيث تتم تهيئة حيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone، حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone، وحيز تفاعل التكسير cracking reaction zone داخل مفاعل منفرد reactor؛ و

حيث يتم إجراء تفاعل الأزمرة isomerization reaction، تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction، وتفاعل التكسير cracking reaction في درجة حرارة من 550 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية.

2. العملية وفقا لعنصر الحماية 1، حيث يتم وضع حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone باتجاه المصب من حيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone.

3. العملية وفقا لعنصر الحماية 1، حيث يتم وضع حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone باتجاه المصب من حيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone، ويتم وضع حيز تفاعل التكسير cracking reaction zone باتجاه المصب من حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone.

4. عملية لإنتاج بروبين propene، تشتمل العملية على:

إدخال تيار مدخل لحيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone يحوي محفز أزمرة isomerization catalyst، يشتمل محفز الأزمرة isomerization catalyst على أكسيد المغنيسيوم magnesium oxide (MgO) وتيار المدخل يشتمل على من 10 نسبة وزن مئوية إلى 60 نسبة وزن مئوية من سيس- أو ترانس-2-بيوتين cis- or trans-2-butene ومن 10 نسبة وزن مئوية إلى 60 نسبة وزن مئوية من 1-بيوتين 1-butene؛

أزمرة جزء على الأقل من تيار المدخل في حيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone لتكوين تيار منتج تفاعل أزمرة isomerization reaction product stream؛

تبادل مزدوج لجزء على الأقل من تيار تفاعل الأزمرة isomerization reaction product في منطقة تفاعل تبادل مزدوج metathesis reaction zone لتكوين منتج تفاعل تبادل مزدوج metathesis reaction product، تحتوي منطقة تفاعل التبادل المزدوج metathesis catalyst الذي يتضمن محفز التبادل المزدوج metathesis catalyst على مادة حاملة لمحفز سيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support مشبعة بأكسيد فلز metal oxide؛

تكسير جزء على الأقل من تيار منتج تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction product في حيز تفاعل تكسير cracking reaction zone لتكوين منتج تفاعل تكسير cracking reaction product، حيز تفاعل التكسير cracking reaction zone يتضمن محفز التكسير cracking catalyst ومنتج تفاعل التكسير cracking reaction product يحوي بروبين propene؛

حيث تتم تهيئة حيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone، حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone، وحيز تفاعل التكسير cracking reaction zone داخل مفاعل منفرد reactor؛

حيث يتم وضع حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone باتجاه المصب من حيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone؛ و

حيث يتم إجراء الأزمرة isomerization، التبادل المزدوج metathesis، والتكسير crackingفي درجة حرارة من 550 درجة مئوية إلى 600 درجة مئوية.

5. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث يتم وضع حيز تفاعل التكسير cracking reaction zone باتجاه المصب من حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone.

6. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث تكون النسبة الحجمية لأكسيد المغنيسيوم Mgo magnesium oxide في حيز تفاعل الأزمرة isomerization reaction zone إلى المادة الحاملة لمحفز السيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support المشبعة بأكسيد الفلز metal oxide في حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone هي 1: 2 إلى 3:1.

7. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث:

يتم تضمين حيز تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction zone وحيز تفاعل التكسير cracking reaction zone في حيز تفاعل تكسير cracking reaction zone وتفاعل مزدوج مختلط mixed metathesis؛ و

تشتمل حيز التبادل المزدوج المختلط mixed metathesis وحيز تفاعل التكسير cracking reaction zone على المادة الحاملة لمحفز السيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support المشبعة بأكسيد الفلز metal oxide ومحفز التكسير cracking catalyst.

8. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث يشتمل تيار المدخل على:
من 20 في المائة بالوزن إلى 60 في المائة بالوزن من سيس- أو ترانس-2-بيوتين cis- or trans-2-butene؛
من 10 في المائة بالوزن إلى 15 في المائة بالوزن من 1-بيوتين 1-butene؛ و
من 15 في المائة بالوزن إلى 25 في المائة بالوزن من n-بيوتان n-butane.

9. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث يشتمل منتج تفاعل التبادل المزدوج metathesis reaction product على البروبين propene والبنتين pentene.

10. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث يشتمل منتج تفاعل التكسير cracking reaction product على بروبين propene.

11. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث تتم معالجة أكسيد المغنسيوم magnesium oxide (MgO) مسبقاً في عملية تكليس calcination.

12. العملية وفقا لعنصر الحماية 11، حيث يتم تكليس أكسيد المغنسيوم magnesium oxide (MgO) عند درجة حرارة تكليس calcination من 300 درجة مئوية إلى 800 درجة مئوية.

13. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث يشتمل أكسيد الفلز metal oxide للمادة الحاملة لمحفز السيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support المشبعة بأكسيد الفلز metal oxide على واحد أو أكثر من أكاسيد الموليبدينوم molybdenum وأكاسيد الرينيوم rhenium وأكاسيد التنجستن tungsten.

14. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث يكون أكسيد الفلز metal oxide للمادة الحاملة لمحفز السيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support المشبعة بأكسيد الفلز metal oxide هو أكسيد التنجستن (WO_3).

15. العملية وفقا لعنصر الحماية 14، حيث تشتمل المادة الحاملة لمحفز السيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support المشبعة بأكسيد الفلز metal oxide على من 1٪ بالوزن إلى 30٪ بالوزن من أكسيد تنجستن tungsten oxide.

16. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث تكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support المشبعة بأكسيد الفلز metal oxide مساحة سطح تتراوح من 200 متر مربع/جم إلى 600 متر مربع/جم.

17. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث تكون للمادة الحاملة لمحفز السيليكا متوسطة المسام mesoporous silica catalyst support المشبعة بأكسيد الفلز metal oxide حجم مسام نسبي relative pore volume يبلغ 0.6 سم مكعب/جم على الأقل.

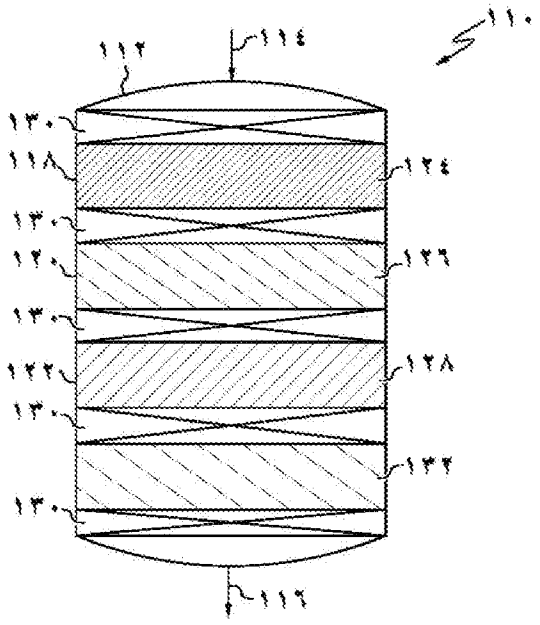
18. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث يكون محفز التكسير cracking catalyst عبارة عن محفز زيوليت zeolite catalyst.

19. العملية وفقا لعنصر الحماية 4، حيث يكون محفز التكسير cracking catalyst عبارة عن محفز يحتوي على السيليكا مركب من نوع إطار موردينايت معكوس mordenite framework inverted (MFI).

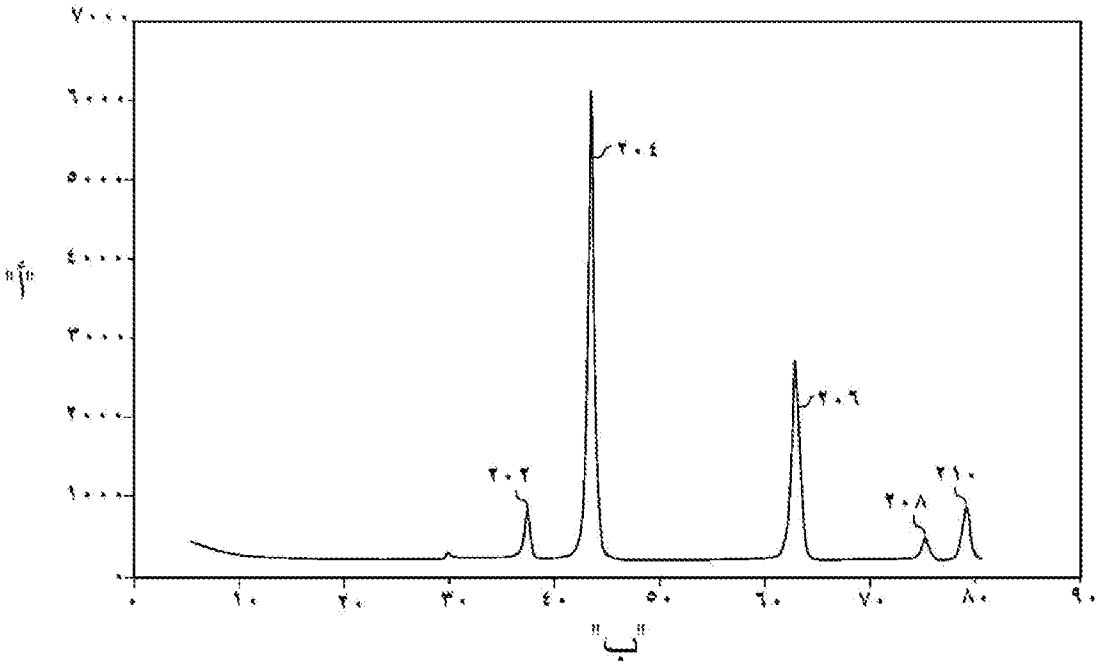
20. العملية وفقا لعنصر الحماية 19، حيث يكون للمحفز الذي يحتوي على السيليكا -silica containing catalyst من نوع إطار موردينايت معكوس، حموضة acidity كلية تتراوح من 0.001 مل مول/جم إلى 0.1 مل مول/جم.

21. العملية وفقا لعنصر الحماية 19، حيث يشتمل المحفز الذي يحتوي على السيليكا -silica containing catalyst المركب من نوع إطار موردينايت معكوس على الألومينا alumina.

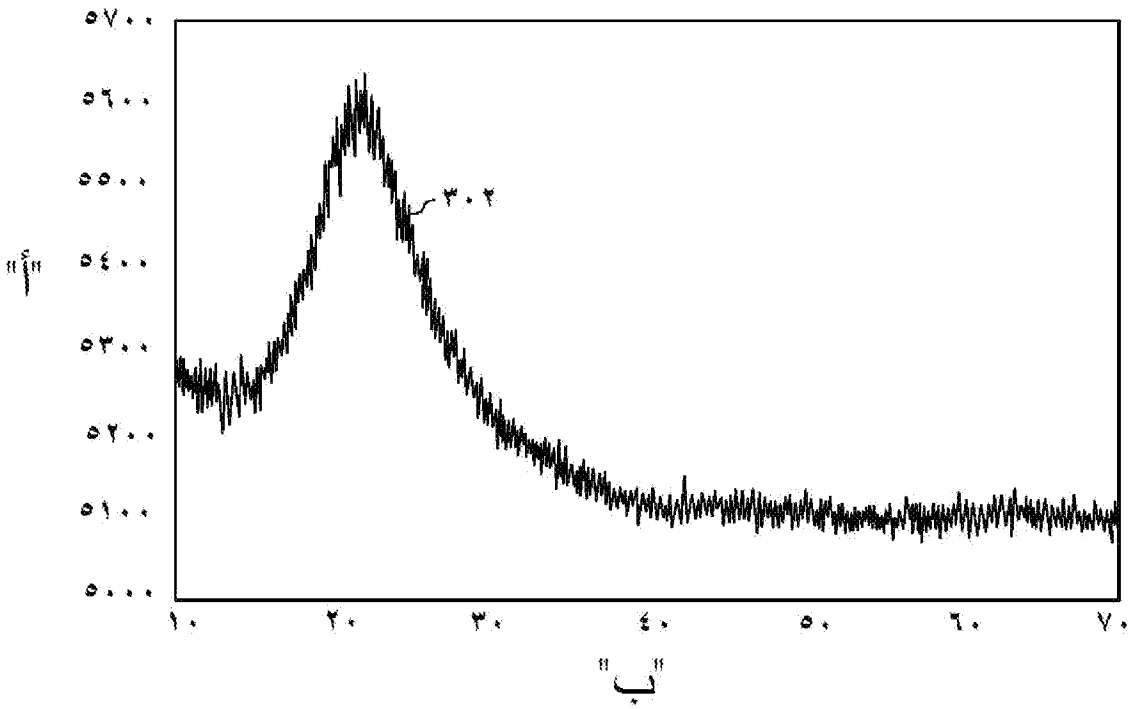
22. العملية وفقا لعنصر الحماية 19، حيث يكون المحفز الذي يحتوي على السيليكا -silica containing catalyst المركب من نوع إطار موردينايت معكوس خالياً إلى حد كبير من الألومينا alumina.



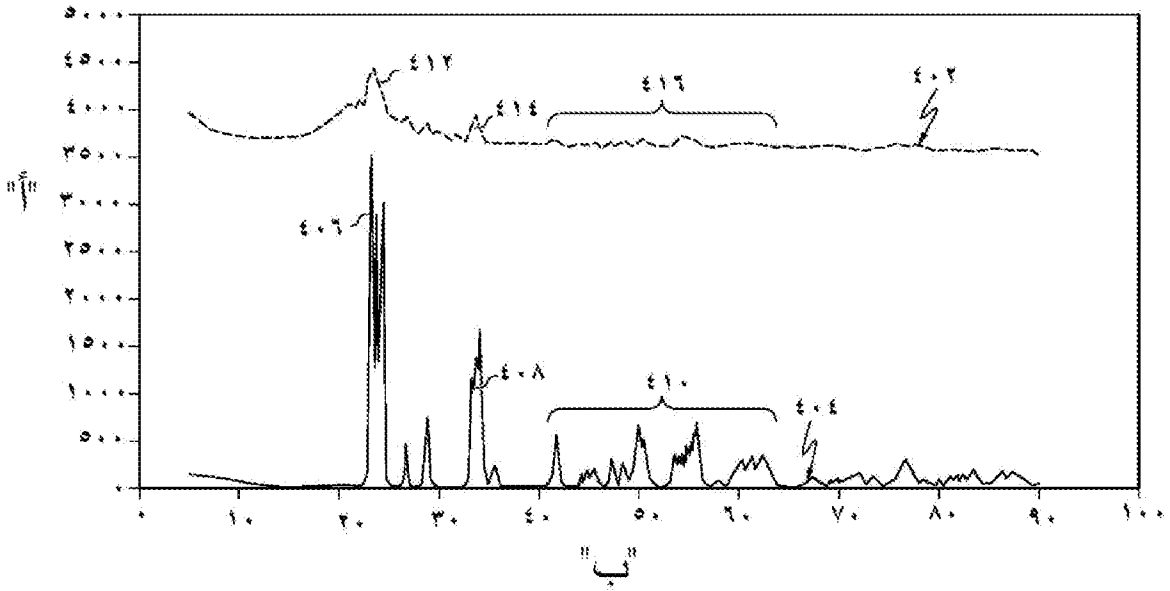
شكل ١


٧٠٠٠
٦٠٠٠
٥٠٠٠
٤٠٠٠
٣٠٠٠
٢٠٠٠
١٠٠٠
٠
"أ"
٢٠٢
٢٠٤
٢٠٦
٢٠٨
٢١٠
٠
١٠
٢٠
٣٠
٤٠
٥٠
٦٠
٧٠
٨٠
٩٠
"ب"

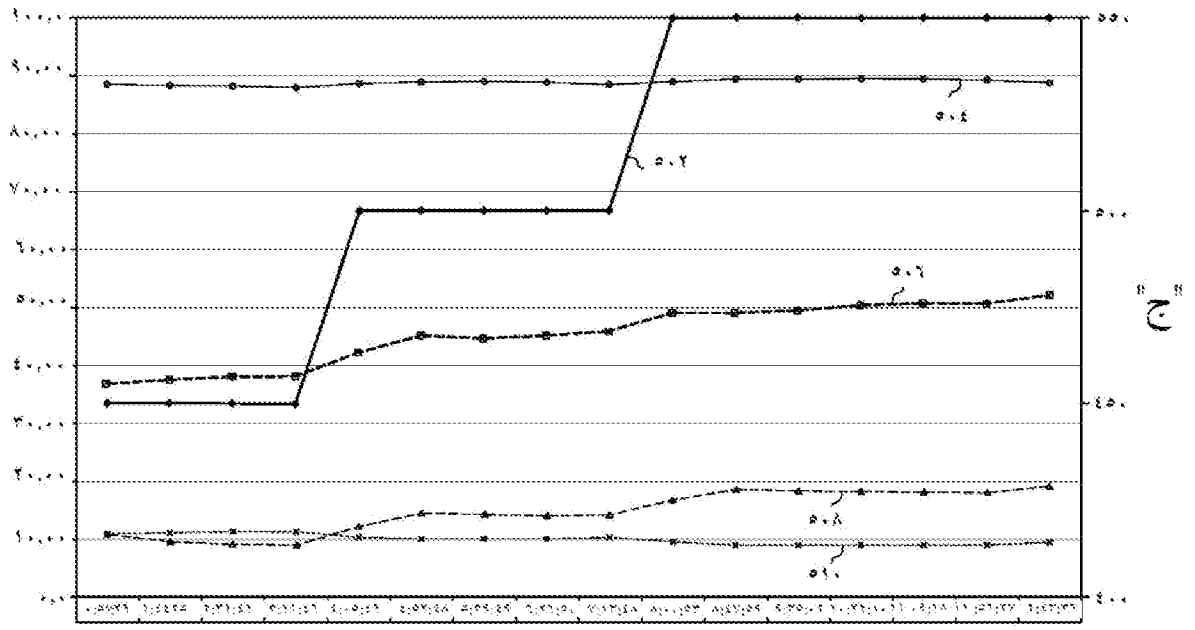
شكل ٢


٥٧٠٠
٥٦٠٠
٥٥٠٠
٥٤٠٠
٥٣٠٠
٥٢٠٠
٥١٠٠
٥٠٠٠
"أ"
٣٠٢
١٠
٢٠
٣٠
٤٠
٥٠
٦٠
٧٠
"ب"

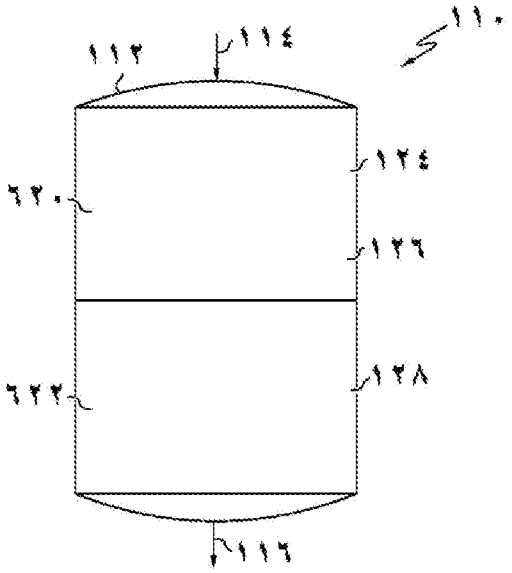
شكل ٣


٥٠٠٠
٤٥٠٠
٤٠٠٠
٣٥٠٠
٣٠٠٠
٢٥٠٠
٢٠٠٠
١٥٠٠
١٠٠٠
٥٠٠
"أ"
٤١٢
٤١٤
٤١٦
٤٠٢
٤٠٦
٤٠٨
٤١٠
٤٠٤
٠
١٠
٢٠
٣٠
٤٠
٥٠
٦٠
٧٠
٨٠
٩٠
١٠٠
"ب"

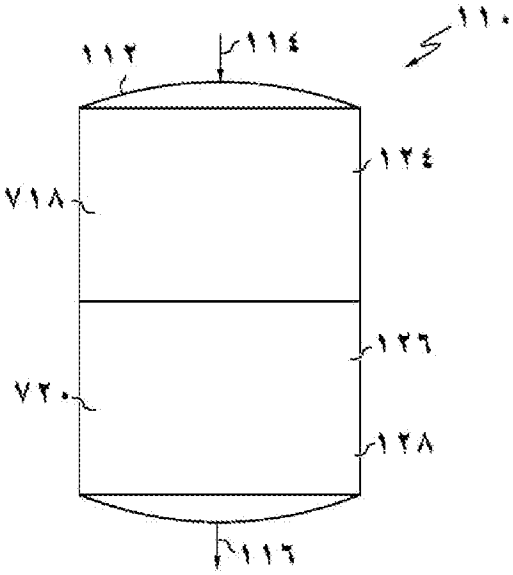
شكل ٤



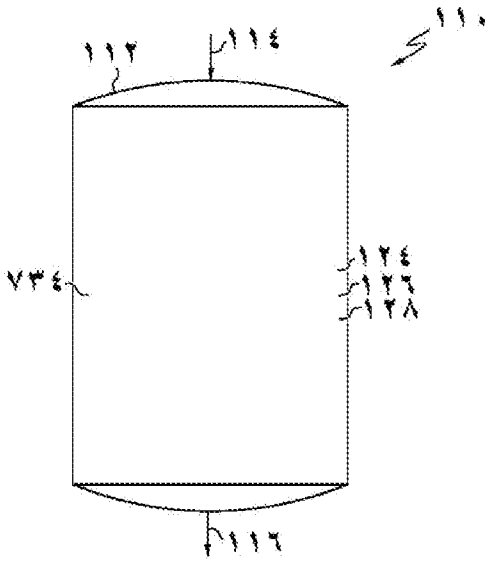
شكل ٥


١١٠
١١٢
١١٤
١٢٤
٦٢٠
١٢٦
١٢٨
٦٢٢
١١٦

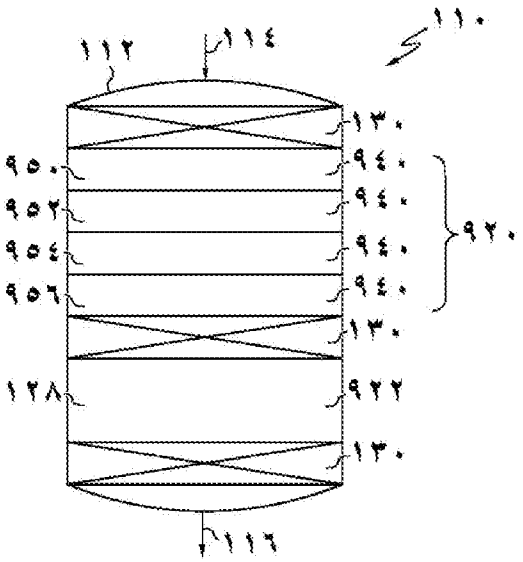
شكل ٦


١١٠
١١٢
١١٤
١٢٤
٧١٨
١٢٦
٧٢٠
١٢٨
١١٦

شكل ٧


١١٠
١١٢
١١٤
١٢٤
١٢٦
١٢٨
٧٣٤
١١٦

شكل ٨


١١٠
١١٢
١١٤
١٣٠
٩٤٠
٩٤٠
٩٤٠
٩٤٠
٩٢٠
٩٥٠
٩٥٢
٩٥٤
٩٥٦
١٣٠
٩٢٢
١٢٨
١٣٠
١١٦

شكل ٩

مدة سريان هذه البراءة عشرون سنة من تاريخ إيداع الطلب

وذلك بشـرط تسـديد المقابل المالي السـنوي للبراءة وعدم بطلانها أو سـقوطها لمخالفتها لأي من أحكام نظام براءات الاختراع والتصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة والأصناف النباتية والنماذج الصناعية أو لائحته التنفيذية.

صادرة عن

الهيئة السعودية للملكية الفكرية

ص ب ٦٥٣١ ، الرياض ١٣٣٢١ ، المملكة العربية السعودية

SAIP@SAIP.GOV.SA