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 :

سوليديا تكنولوجيز، إنك.
Solidia Technologies, Inc.

**براءة اختراع رقم :** SA 12705

**بتاريخ :** 1444/08/27 هـ
**الموافق :** 2023/03/19 م

## عن الإختراع المسمى :

معدات تصلب متقدمة وطرق استخدامها

Advanced Curing Equipment and Methods of Using Same

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 12705 B1

[12] **براءة اختراع**

[45] **تاريخ المنح:** 1444/08/27 هـ
**الموافق:** 2023/03/19 م

[21] رقم الطلب: 519401419
[22] تاريخ دخول المرحلة الوطنية: 1440/07/17 هـ
الموافق: 2019/03/24 م
[30] بيانات الأسبقية:
2016/09/26 US 62/399.949 م
[72] اسم المخترع: شون كامرون كوين ، كينيث مايكل سميث، ديفين ام. باتين، زودونج هو، جورج بيري ، فاهيت اتاكان ، جيتيندرا جاين ، انوج سيث ، أهميت كونيت تاس ، آلان توماس بلاكلوك ، توماس شولر ، كريستوفر جيه. جروتينبوير ، دان كاستورو
[73] مالك البراءة: سوليديا تكنولوجيز، إنك
عنوانه: 11 كولونيال درايف، بيسكاتاواي، 08854 نيوجيرسي، الولايات المتحدة الامريكية
جنسيته: امريكية
[74] الوكيل: مكتب المحامي سليمان ابراهيم العمار

[86] رقم الطلب الدولي: PCT/US2017/053539
تاريخ إيداع الطلب الدولي: 2017/09/26 م
[87] رقم النشر الدولي: WO 2018/058139
تاريخ النشر الدولي: 2018/03/29 م
[51] التصنيف الدولي(IPC®):
B01J 19/024, B28B 011/024, C04B 012/000, C04B 022/010
[56] المراجع:
JP H02137782, US 2015225295

الفاحص: عبدالله بن حسين الغامدي

[54] اسم الاختراع: معدات تصلب متقدمة وطرق استخدامها

Advanced Curing Equipment and Methods of Using Same

[57] الملخص: يتعلق الاختراع الحالي بوصف جهاز وطرق لتحسين عملية تصلب curing للمواد التي تتصلب عند التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) والتي لا تتصلب not cure في وجود الماء بمفرده، وتم تقديم أمثلة على ذلك.

عدد عناصر الحماية (22)، عدد الأشكال (12)

معدات تصلب متقدمة وطرق استخدامها

**Advanced Curing Equipment and Methods of Using Same**

## الوصف الكامل

### خلفية الاختراع

يتعلق الاختراع بمعدات تصلب بشكل عام ومحدد بمعدات تصلب curing equipment يتم استخدامها مع المواد التي تتصلب بواسطة التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون Carbon (CO2) Dioxide.

تعد أنظمة وطرق لتصلب المواد باستخدام ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide في صورة مادة كاشفة معروفة في الفن السابق.

ورد أن J. M. Bukowski and R. L. Berger, Cement and Concrete Research, Vol. 9, pp. 57-68, January 1979 يصف كربنة γ-Ca2SiO4 و CaSiO3، غير الهيدرولكي، الملاط والمساحيق المعرضة لبيئات 100% من RH وبيئات 100% من ثاني أكسيد الكربون. كان معدل التفاعل وتطور المقاومة أسرع في سيليكات الكالسيوم Calcium silicate ( γ-Ca2SiO4 ) عنها في سيليكات الكالسيوم Calcium silicate (CaSiO3). ترفع زيادة ضغط ثاني أكسيد الكربون من الضغط الجوي إلى 5.62 ميجا باسكال [55.5 ضغط جوي، أو 5.26 ميجا باسكال] من درجة التفاعل في كل من Ca2SiO4 و CaSiO3. تزداد المقاومة كدالة لدرجة التفاعل ووحدات ضغط ثاني أكسيد الكربون الأعلى من 2.00 ميجا باسكال. تمت مناقشة الاستخدام المحتمل للمواد غير الهيدروليكية non-hydraulic materials لأنواع الأسمنت المنشطة بثاني أكسيد الكربون.

كذلك من المعروف أن منشور الطلب الدولي رقم 2017/041188 أ1 من قبل Al-Ghouleh et al.، المنشور في 16 مارس 2017، تناول وصف عملية لإنتاج منتجات مسبقة الصب في غالق محكم ضد الهواء، والتي تنطوي على خطوات كربنة وحدات مسبقة الصب من الخرسانة المجففة مسبقًا بالتغذية بغاز ثاني أكسيد الكربون داخل غالق محكم ضد الهواء بالقرب من الضغط

الجوي المحيط ( بين 0 و2) و/أو حالات الضغط المنخفض (بين 2 و15 psig)، حيث فقدت وحدات الخرسانة المجففة مسبقًا ما بين 25 إلى 60% من محتواها المائي الأولي.

تتعلق البراءة اليابانية رقم 2137782 بتقصير وقت التصلب مع منع توليد عيوب مثل الطفو عن طريق التصلب المبدئي لجزء من الخرسانة في وسط مكربن في ظل ظروف محددة وإخضاع المنتج المتصلب مسبقًا للتصلب الرئيسي main curing.

تكشف البراءة الأمريكية رقم 2015225295 عن جهاز وطرق لتصلب تركيبات مركبة والتي تتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون. يتضمن الجهاز بشكل عام هيكل تصلب سهل النقل وسهل التجميع، مثل غلاف من الألواح البلاستيكية مدعوم بضغط الغاز و/أو بواسطة دعامات ميكانيكية. جهاز لتوفير كاشف ثاني أكسيد الكربون ، لقياس محتوى الماء ولإزالة الماء، وللتحكم في درجة الحرارة، معدلات التدفق واتجاهات التدفق من خلال هيكل التصلب. يتم وصف أمثلة لإجراءات التصلب وأمثلة للمواد المتصلبة بالأشكال المطلوبة.

هناك حاجة إلى معدات وطرق التصلب التي توفر تصلبًا محسّنًا للمواد التي يتم تصلبها عن طريق التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون.

**<u>الوصف العام للاختراع</u>**

وفقًا لأحد الجوانب، يصف الاختراع جهاز لتصلب المواد التي تتصلب عند التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide ($CO_2$) ، يشتمل على: غرفة تصلب مصممة لتحتوي على مادة والتي تستهلك $CO_2$ في صورة مادة كاشفة، لا تتصلب المادة في غياب ثاني أكسيد الكربون أثناء التصلب، لا تتصلب المادة في وجود الماء بمفرده، ولا تستهلك المادة الماء أثناء التصلب، يكون لغرفة التصلب curing chamber منفذ واحد على الأقل مصمم للسماح بأن يتم إدخال المادة في غرفة التصلب وإزالتها من غرفة التصلب، ولها غالق واحد على الأقل للمنفذ، تتم تهيئة الغالق لتوفير مانع تسرب للهواء الجوي عند غلقه بحيث يتم منع تلوث غاز موجود في غرفة التصلب بواسطة الغاز خارج غرفة التصلب؛ مصدر ثاني أكسيد الكربون أو الهواء مصمم لتوفير ثاني أكسيد كربون غازي gaseous carbon dioxide أو هواء إلى غرفة التصلب بواسطة منفذ دخول غاز في غرفة التصلب، يكون لمصدر ثاني أكسيد الكربون أو الهواء وسيلة تنظيم تدفق

واحدة على الأقل مصممة للتحكم في معدل تدفق ثاني أكسيد كربون غازي gaseous carbon dioxide أو هواء في غرفة التصلب؛ نظام فرعي لتدفق الغاز مصمم لتدوير ثاني أكسيد الكربون الغازي أو الهواء من خلال غرفة التصلب؛ نظام فرعي للتحكم في درجة الحرارة مصمم للتحكم في درجة حرارة الغاز داخل الغرفة؛ نظام فرعي للتحكم في الرطوبة مصمم للتحكم في رطوبة في الغاز داخل الغرفة؛ وأداة تحكم واحدة على الأقل في اتصال مع واحد على الأقل من مصدر ثاني أكسيد الكربون، النظام الفرعي لتدفق الغاز، النظام الفرعي للتحكم في درجة الحرارة، والنظام الفرعي للتحكم في الرطوبة، يتم تصميم أداة التحكم controller الواحدة على الأقل للتحكم بشكل مستقل في واحد على الأقل محدد من معدل تدفق الغاز داخل الغرفة، تدوير الغاز من خلال غرفة التصلب، درجة حرارة الغاز، والرطوبة في الغاز، يتم تصميم أداة التحكم الواحدة على الأقل لتوفير زمن احتجاز في طور تجفيف drying phase أول (الطور 1)، حيث يتم تصميم زمن احتجاز في طور التجفيف الأول ليتم تقليصه، ويتم تصميم أداة التحكم الواحدة على الأقل للانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور كربنة ثانٍ (الطور 2) في نهاية طور التجفيف الأول (الطور 1).

يحدث الضغط المطلق لعملية التصلب التي تم تنفيذها في الغرفة المذكورة عند ضغوط في النطاق من 0.1 جوي إلى أقل من 5 جوي من الضغط المطلق من أجل تجنب استخدام مكونات معقدة، مصنفة الضغط. بشكل مفضل، تحدث العملية بين 0.68 – 1.36 جوي (0.07 – 0.14 ميجا باسكال ) الضغط المطلق. بشكل مفضل أكثر، تحدث العملية بين 0.98 – 1.02 جوي (0.1– 0.1 ميجا باسكال ) الضغط المطلق.

في أحد النماذج، يتم تصميم الجهاز لتعريض أولي للمادة إلى طور التجفيف الأول (الطور 1) في غياب مضاف بشكل عمدي ثاني أكسيد الكربون .

في نموذج آخر، يتم تصميم الجهاز لتعريض أولي للمادة إلى طور التجفيف الأول (الطور 1) في وجود ثاني أكسيد الكربون .

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم الجهاز للكشف عن انتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في خواص كهربائية واحدة أو أكثر للمادة على السطح أو في كتلتها.

في نموذج آخر أيضًا، تتضمن الخاصية الكهربائية الواحدة أو الخواص الكهربائية المتعددة للمادة واحدة على الأقل من مقاومية سطح، surface resistivity مقاومية حجمية volume resistivity ، موصلية conductivity ، معاوقة impedance ، مهايئة capacitance ، ثابت عزل كهربائي dielectric constant ، شدة عزل كهربائي dielectric strength ، سماحية permittivity ، ثابت كهرومغناطيسي piezoelectric constant ، ومعامل Seebeck.

في نموذج إضافي، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في الكمية من الماء التي تمت إزالتها من المادة.

في نموذج إضافي آخر، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في معدل الماء المزال من المادة.

في نموذج إضافي، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في معدل الماء الذي تم تجميعه من الغاز الدوار في الغرفة.

في نموذج واحد أو أكثر، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في واحد على الأقل من تركيز ثاني أكسيد الكربون وتركيز اكسجين oxygen في الغاز الدوار في الغرفة.

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في الرطوبة النسبية للغاز الدوار في الغرفة.

في أحد النماذج، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في درجة حرارة الغاز الدوار في الغرفة.

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في درجة حرارة المادة.

في نموذج آخر أيضًا، يتم تصميم الجهاز لمراقبة التغير في درجة حرارة المادة باستخدام كاميرا أشعة تحت الحمراء.

في نموذج إضافي، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في الضغط داخل الغرفة.

في نموذج إضافي آخر، يتم تصميم الجهاز لقياس، تتبع والتحكم في الضغط داخل الغرفة طوال العملية في أي من طور التجفيف الأول (الطور 1) وطور التصلب الثاني (الطور 2).

في نموذج إضافي، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في الرقم الهيدروجيني للمادة.

في نموذج واحد أو أكثر، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في الرقم الهيدروجيني للماء الذي تم تجميعه أثناء تصلب المادة.

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في التركيبة العنصرية للمادة.

في أحد النماذج، يتم تصميم الجهاز لقياس، تتبع والتحكم في التركيبة العنصرية للمادة طوال العملية في أي من طور التجفيف الأول (الطور 1) وطور الكربنة الثاني (الطور 2).

في نموذج آخر، يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في استجابة المادة إلى الاستثارة بالموجات فوق الصوتية.

في نموذج آخر كذلك، يشتمل النظام الفرعي للتحكم في درجة الحرارة كذلك على الأقل على مصدر طاقة واحد مهيأ لتسخين واحد على الأقل من الغاز والمادة.

في نموذج آخر أيضًا، يتم تصميم النظام الفرعي للتحكم في درجة الحرارة للتحكم في درجة حرارة المادة، معدل إزالة الماء في طور التجفيف الأول (الطور 1) ومعدل التفاعل في طور الكربنة الثاني (الطور 2).

في نموذج إضافي، يتم تصميم مصدر الطاقة energy source للتحكم في زمن الاحتجاز في واحد على الأقل من طور التجفيف الأول (الطور 1) وطور الكربنة الثاني (الطور 2).

في نموذج إضافي آخر، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم احتراق وقود حفري fossil fuel.

في نموذج إضافي، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم تسخين مقاومة كهربائية.

في نموذج واحد أو أكثر، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم مصدر حراري من الأشعة تحت الحمراء.

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم ليزر.

في أحد النماذج، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم تسخين بعزل كهربائي.

في نموذج آخر، يستخدم مصدر طاقة مهيأ ليستخدم تسخين بعزل كهربائي موجات تردد موجة دقيقة أو موجات تردد راديوي.

في نموذج آخر كذلك، يستخدم مصدر طاقة مهيأ ليستخدم تسخين بعزل كهربائي ترددات راديوية في النطاق الصناعي، العلمي، والطبي Industrial, Science and Medical band (ISM).

في نموذج آخر أيضًا، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم تسخين البلازما.

في نموذج إضافي، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم تسخين البخار.

في نموذج إضافي آخر، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم بخار ماء فائق التسخين.

في نموذج إضافي، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم التوصيل.

في نموذج واحد أو أكثر، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم جهاز إشعاعي.

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم مصدر حراري إشعاعي.

في أحد النماذج، يتم تصميم مصدر الطاقة ليستخدم منشأة توليد مشترك.

في نموذج آخر، يتم تصميم النظام الفرعي subsystem للتحكم في الرطوبة humidity control للتحكم في استخلاص الماء من المادة.

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم النظام الفرعي للتحكم في الرطوبة للتحكم في استخلاص الماء من الغاز في الغرفة أثناء واحد على الأقل من طور التجفيف الأول (الطور 1) وطور الكربنة الثاني (الطور 2).

في نموذج آخر أيضًا، يتم تصميم النظام الفرعي للتحكم في الرطوبة للتحكم في استخلاص الماء باستخدام الحمل الحراري الطبيعي.

في نموذج إضافي، يتم تصميم النظام الفرعي للتحكم في الرطوبة للتحكم في استخلاص الماء باستخدام الحمل الحراري القسري.

في نموذج إضافي آخر، يتم تصميم النظام الفرعي للتحكم في الرطوبة للتحكم في استخلاص الماء باستخدام ضاغط.

في نموذج إضافي، يتم تصميم النظام الفرعي للتحكم في الرطوبة للتحكم في استخلاص الماء باستخدام مجفف.

في نموذج واحد أو أكثر، يتم تصميم النظام الفرعي للتحكم في الرطوبة للتحكم في استخلاص الماء باستخدام واحد من مبادل حراري heat exchanger ومبرد chiller.

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم النظام الفرعي للتحكم في الرطوبة للتحكم في استخلاص الماء باستخدام ضغط أقل من الضغط الجوي.

في أحد النماذج، يتم تصميم النظام الفرعي لتدفق الغاز للتحكم في تدوير الغاز في الغرفة للتحكم في إزالة الماء في طور التجفيف الأول (الطور 1).

في نموذج آخر، يتم تصميم النظام الفرعي لتدفق الغاز للتحكم في تدفق الغاز المجاور للمادة وسرعته.

في نموذج آخر كذلك، يتم تصميم النظام الفرعي لتدفق الغاز للتحكم في تدوير الغاز في الغرفة للتحكم في معدل التفاعل في طور الكربنة الثاني (الطور 2).

في نموذج آخر أيضًا، يتم تصميم النظام الفرعي لتدفق الغاز للتحكم في تدفق الغاز وسرعته باستخدام جهاز تهوية نفاخ.

في نموذج إضافي، يتم تصميم النظام الفرعي لتدفق الغاز للتحكم في تدفق الغاز وسرعته باستخدام نظام تدوير داخلي.

في نموذج إضافي آخر، يشتمل نظام التدوير الداخلي على مروحة.

في نموذج إضافي، يتم تصميم النظام الفرعي لتدفق الغاز للتحكم في تدفق الغاز وسرعته باستخدام نظام تدوير خارجي.

في نموذج واحد أو أكثر، يشتمل نظام التدوير الخارجي على مروحة.

في نموذج آخر كذلك، يشتمل الجهاز على نظام تدوير داخلي، نظام تدوير خارجي external circulation system وممر جانبي مهيأة لتوزيع حصة من تدفق غاز بين نظام التدوير الداخلي ونظام التدوير الخارجي.

في أحد النماذج، يشتمل الجهاز على أنظمة تدوير داخلية متعددة، أنظمة تدوير خارجية متعددة، سخانات متعددة، وأنظمة نزع رطوبة متعددة بحيث تشتمل على مناطق تحكم مستقلة متعددة داخل غرفة التصلب curing chamber.

في نموذج آخر، يتم تصميم وسيلة تنظيم تدفق الغاز لتغيير تركيز CO2 أثناء طور التجفيف الأول (الطور 1) وطور الكربنة الثاني (الطور 2) لتضخيم فعالية استهلاك CO2 أثناء عملية التصلب.

في نموذج آخر كذلك، يتم تقليل تركيز CO2 أثناء طور الكربنة الثاني (الطور 2).

وفقًا لجانب آخر، يتعلق الاختراع بطريقة تصلب مادة والتي تستهلك CO2 في صورة مادة كاشفة، لا تتصلب المادة في غياب CO2 أثناء التصلب، لا تتصلب المادة في وجود الماء بمفرده، ولا تستهلك المادة الماء أثناء التصلب، تشتمل على خطوات: توفير جهاز يشتمل على: غرفة تصلب مصممة لتحتوي على مادة والتي تستهلك CO2 في صورة مادة كاشفة، لا تتصلب المادة في غياب CO2 أثناء التصلب، لا تتصلب المادة في وجود الماء بمفرده، ولا تستهلك المادة الماء أثناء التصلب، يكون لغرفة التصلب منفذ واحد على الأقل مصمم للسماح بأن يتم إدخال المادة في غرفة التصلب وإزالتها من غرفة التصلب، ولها غالق واحد على الأقل للمنفذ، تتم تهيئة الغالق لتوفير مانع تسرب للهواء الجوي عند غلقه بحيث يتم منع تلوث غاز موجود في غرفة التصلب بواسطة الغاز خارج غرفة التصلب؛ مصدر ثاني أكسيد الكربون أو الهواء مصمم لتوفير ثاني أكسيد كربون غازي gaseous carbon dioxide أو هواء إلى غرفة التصلب بواسطة منفذ دخول غاز في غرفة التصلب، يكون لمصدر ثاني أكسيد الكربون أو الهواء وسيلة تنظيم تدفق واحدة على الأقل مصممة للتحكم في معدل تدفق ثاني أكسيد كربون غازي أو هواء في غرفة التصلب؛ نظام فرعي لتدفق الغاز مصمم لتدوير ثاني أكسيد الكربون الغازي أو الهواء من خلال غرفة التصلب؛ نظام فرعي للتحكم في درجة الحرارة مصمم للتحكم في درجة حرارة الغاز داخل الغرفة؛ نظام فرعي للتحكم في الرطوبة مصمم للتحكم في رطوبة في الغاز داخل الغرفة؛ وأداة تحكم واحدة على الأقل في اتصال مع واحد على الأقل من مصدر ثاني أكسيد الكربون، النظام الفرعي لتدفق الغاز، النظام الفرعي للتحكم في درجة الحرارة، والنظام الفرعي للتحكم في الرطوبة، يتم تصميم أداة التحكم controller الواحدة على الأقل للتحكم بشكل مستقل في واحد على الأقل محدد من معدل تدفق الغاز داخل الغرفة، تدوير الغاز من خلال غرفة التصلب، درجة حرارة الغاز، والرطوبة في الغاز، يتم تصميم أداة التحكم الواحدة على الأقل لتوفير زمن احتجاز في طور تجفيف drying phase أول (الطور 1)، حيث يتم تصميم زمن احتجاز في طور التجفيف الأول ليتم تقليصه، ويتم تصميم

أداة التحكم الواحدة على الأقل للانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور كربنة ثانٍ (الطور 2) في نهاية طور التجفيف الأول (الطور 1)، إجراء طور تجفيف أول له زمن احتجاز أول في طور التجفيف الأول، وإجراء طور تصلب ثانٍ في نهاية طور التصلب الأول.

في جانب، يتعلق الاختراع بجهاز لتصلب مواد والتي تتصلد في التفاعل مع $CO_2$ ولا تتصلد في وجود الماء بمفرده، يشتمل على: غرفة تصلب مصممة لتحتوي على مادة والتي تستهلك $CO_2$ في صورة مادة كاشفة والتي تتصلد بشكل ملحوظ في غياب $CO_2$، يكون بغرفة التصلب المذكورة منفذ واحد على الأقل مصمم للسماح بإدخال المادة المذكورة في غرفة التصلب المذكورة وإزالتها من غرفة التصلب المذكورة، ولها غالق واحد على الأقل للمنفذ المذكور، يتم تصميم الغالق المذكور لتوفير مانع تسرب للهواء الجوي عند غلقه بحيث يتم منع تلوث غاز موجود في غرفة التصلب المذكورة بواسطة الغاز خارج غرفة التصلب المذكورة؛ مصدر ثاني أكسيد الكربون أو الهواء مصمم لتوفير ثاني أكسيد كربون غازي gaseous carbon dioxide أو هواء إلى غرفة التصلب المذكورة بواسطة منفذ دخول غاز في غرفة التصلب المذكورة، يكون للمصدر المذكور لثاني أكسيد الكربون أو الهواء وسيلة تنظيم تدفق واحدة على الأقل مصممة للتحكم في معدل تدفق لثاني أكسيد الكربون الغازي المذكور أو الهواء المذكور في غرفة التصلب المذكورة؛ نظام فرعي لتدوير الغاز مصمم لتدوير الغاز المذكور من خلال غرفة التصلب المذكورة بمعدل تدفق وسرعة متحكم فيهما؛ نظام فرعي للتحكم في درجة الحرارة مصمم للتحكم في درجة حرارة الغاز المذكور داخل الغرفة المذكورة؛ نظام فرعي للتحكم في الرطوبة مصمم للتحكم في رطوبة في الغاز المذكور داخل الغرفة المذكورة؛ وأداة تحكم واحدة على الأقل في اتصال مع واحد على الأقل من المصدر المذكور لثاني أكسيد الكربون، النظام الفرعي لتدوير الغاز المذكور، النظام الفرعي للتحكم في درجة الحرارة المذكور، والنظام الفرعي subsystem للتحكم في الرطوبة humidity control المذكور، حيث، يتم تصميم أداة التحكم الواحدة على الأقل المذكورة للتحكم بشكل مستقل في واحد على الأقل محدد من معدل التدفق المذكور للغاز المذكور داخل الغرفة، الدوران المذكور للغاز المذكور من خلال غرفة التصلب المذكورة، درجة الحرارة المذكورة للغاز المذكور، والرطوبة المذكورة في الغاز المذكور، لتقليل زمن الاحتجاز في طور تجفيف drying phase أول (الطور 1)، ومهيأ فجراء طور كربنة ثانٍ (الطور 2) في نهاية طور التجفيف الأول المذكور (الطور 1).

في جانب آخر، يتعلق الاختراع بطريقة تصلب مواد والتي تتصلد في التفاعل مع CO2 ولا تتصلد في وجود الماء بمفرده، تشتمل على خطوات: إجراء طور تجفيف أول (الطور 1) له زمن احتجاز منخفض في طور التجفيف الأول المذكور (الطور 1)، وإجراء طور كربنة ثانٍ (الطور 2) في نهاية طور التجفيف الأول المذكور (الطور 2).

في جانب آخر، يتعلق الاختراع بطريقة تصلب مواد والتي تتصلد في التفاعل مع CO2 ولا تتصلد في وجود الماء بمفرده، تشتمل على خطوات: إجراء طور تجفيف أول (الطور 1) له زمن احتجاز منخفض في طور التجفيف الأول المذكور (الطور 1)، إجراء طور كربنة ثانٍ (الطور 2) في نهاية طور التجفيف الأول المذكور (الطور 2)، وتكرار طور التجفيف الأول المذكور (الطور 1) وطور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) مرة واحدة على الأقل.

في نموذج، يتعلق الاختراع بطريقة تصلب مواد والتي تتصلد في التفاعل مع CO2 ولا تتصلد في وجود الماء بمفرده، تشتمل على خطوات: إجراء طور تجفيف أول (الطور 1) له زمن احتجاز منخفض في طور التجفيف الأول المذكور (الطور 1)، إجراء طور كربنة ثانٍ (الطور 2) في نهاية طور التجفيف الأول المذكور (الطور 1)، وتكرار طور التجفيف الأول المذكور (الطور 1) وطور الكربنة الثاني (الطور 2) أكثر من مرة واحدة.

في نموذج، يتعلق الاختراع بطريقة تصلب مواد والتي تتصلد في التفاعل مع CO2 ولا تتصلد في وجود الماء بمفرده، يتكون من إزالة الرطوبة المتبقية في المنتج كجزء من أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2). في بعض النماذج تتكون إزالة الرطوبة المتبقية في المنتج من أي من طور التجفيف الأول (الطور 1).

في النماذج المختلفة، من المتوقع أن تتيح الأنظمة والطرق للاختراع السمات التالية والقدرات التالية بشكل منفرد أو في توليفة:

التحكم في درجة حرارة المنتج المراد تصلبه بواسطة أي من الطرق المنفردة أو التوليفة من الطرق والمكونات الصلبة كما هو مشار إليه في الشكل 1أ أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أي من أطوار الكربنة (الطور 2).

التحكم في سرعة الغاز الموضعي بالنسبة إلى المنتجات كما سرعة التدوير وحجمه طوال نظام التصلب بواسطة أي من الطرق المنفردة أو التوليفة من الطرق والمكونات الصلبة كما هو مشار إليه في الشكل 1د أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أي من أطوار الكربنة (الطور 2).

التحكم في الرطوبة النسبية للغاز الموضعي بالنسبة إلى المنتجات كما داخل غاز التدوير طوال نظام التصلب بواسطة أي من الطرق المنفردة أو التوليفة من الطرق والمكونات الصلبة كما هو مشار إليه في الشكل 1د أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أي من أطوار الكربنة (الطور 2).

تسهيل إزالة الرطوبة المفرطة من غاز التدوير (نزع الرطوبة) أو زيادة محتوى الرطوبة من غاز التدوير (الترطيب) بواسطة أي من الطرق المنفردة أو التوليفة من الطرق والمكونات الصلبة كما هو مشار إليه في الشكل 1د أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أي من أطوار الكربنة (الطور 2).

التحكم في تركيز $CO_2$ للغاز الموضعي بالنسبة إلى المنتجات كما داخل غاز التدوير طوال نظام التصلب بواسطة أي من الطرق المنفردة أو التوليفة من الطرق والمكونات الصلبة كما هو مشار إليه في الشكل 1هـ أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أي من أطوار الكربنة (الطور 2).

تسهيل إزالة الماء من المنتجات (التبخير) المراد تصلبها بواسطة التحكم في السرعة، درجة الحرارة، والرطوبة لتيار الغاز الموضعي للمنتجات.

يقتصر التحكم في السرعة، درجة حرارة، ورطوبة تيار الغاز على المنتجات بطريقة يتم بها إحداث معدل تبخير مرغوب فيه وتوزيع لاحق للرطوبة في البنية المسامية للمنتج والحفاظ عليه أثناء أي طور من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أي من أطوار الكربنة (الطور 2).

تضمين مخرجات المستشعر من المنتج و/أو نظام التصلب كما أدرج في الشكل 1ج ليتم تحليله بواسطة نظام التصلب للتحكم في السرعة، درجة الحرارة، ورطوبة تيار الغاز الموضعي بالنسبة للمنتجات، ومن ثم معدل التبخير، لإزالة الكمية المحددة من الماء وإحداث توزيع للرطوبة في البنية

المسامية للمنتج والحفاظ عليه كما هو محدد أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أي من أطوار الكربنة (الطور 2).

التأكد من أن محتوى الماء من المنتجات الفردية وتجانس محتوى الماء في كل منتج على حدة يكون متجانسًا في جميع المنتجات داخل نظام التصلب.

تضييق نطاق توزيع محتوى الماء من المنتجات الفردية في جميع المنتجات داخل نظام التصلب بالتحكم في السرعة في نظام التصلب، درجة الحرارة، ورطوبة تيار الغاز الموضعي بالنسبة إلى المنتجات بحيث يتم حث معدلات التبخير المتجانسة من خلال جميع مناطق غرفة التصلب curing chamber.

تضمين مخرجات المستشعر من المنتج و/أو نظام التصلب كما أدرج في الشكل 1ج ليتم تحليله بواسطة نظام التصلب للتحكم في السرعة، درجة الحرارة، ورطوبة تيار الغاز الموضعي بالنسبة إلى المنتجات في مناطق مثبتة خلال الحجرة أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أطوار الكربنة(الطور 2) وفقًا لحالة المنتجات والنظام من أجل توحيد مستوى التجفيف خلال الحجرة.

تضمين مخرجات المستشعر من المنتج و/أو نظام التصلب كما أدرج في الشكل 1ج ليتم تحليله بواسطة نظام التصلب للتحكم في السرعة، درجة الحرارة، ورطوبة تيار الغاز الموضعي بالنسبة إلى المنتجات في الغرفة بأكملها أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أطوار الكربنة (الطور 2) وفقًا لحالة المنتجات والنظام.

تضمين مخرجات المستشعر من المنتج و/أو نظام التصلب كما أدرج في الشكل 1ج ليتم تحليله بواسطة نظام التصلب للتحكم في تركيز غاز $CO_2$ الدوار من أثناء أي من أطوار التجفيف (الطور 1) و/أو أطوار الكربنة (الطور 2) وفقًا لحالة المنتجات والنظام.

ستتضح العناصر السابقة والأهداف، السمات، الجوانب، والمميزات الأخرى للاختراع أكثر وضوحًا من خلال الوصف التالي ومن خلال عناصر الحماية.

**<u>شرح مختصر للرسومات</u>**

يمكن استيعاب أهداف وسمات الاختراع بشكل أفضل بالإشارة إلى الرسومات الموصوفة أدناه، وكذلك عناصر الحماية. ليس من الضروري أن تكون قابلة للقياس، بدلاً من ذلك يتم التركيز عمومًا على توضيح مبادئ الاختراع. في الرسومات، يتم استخدام الأرقام المتشابهة للإشارة إلى الأجزاء المتشابهة خلال المساقط المختلفة.

الشكل 1أ عبارة عن شكل تخطيطي يوضح نماذج تمثيلية من معدات التصلب المتقدمة وفقًا لمبادئ الاختراع. في الشكل 1أ يمكن للفرد اختياريًا تكرار الطور I (150) والطور II (160) كما هو موضح بالسهم 180، ويمكن للفرد اختياريًا أن ينتقل من الطور I (150) إلى المنتج (170) في حال الرغبة في ذلك.

الشكل 1ب عبارة عن شكل تخطيطي يوضح نماذج تمثيلية من الغرف المستخدمة في معدات التصلب المتقدمة وفقًا لمبادئ الاختراع.

الشكل 1ج عبارة عن شكل تخطيطي يوضح نماذج تمثيلية من المستشعرات المستخدمة في معدات التصلب المتقدمة وفقًا لمبادئ الاختراع.

الشكل 1د عبارة عن شكل تخطيطي يوضح نماذج تمثيلية من طور تصلب أول تتم ممارسته باستخدام معدات التصلب المتقدمة وفقًا لمبادئ الاختراع.

الشكل 1هـ عبارة عن شكل تخطيطي يوضح نماذج تمثيلية من طور تصلب ثانٍ تتم ممارسته باستخدام معدات التصلب المتقدمة وفقًا لمبادئ الاختراع.

الشكل 1و عبارة عن شكل تخطيطي يوضح نماذج تمثيلية من المتغيرات التي تم قياسها والتي تتعلق بسمات غرفة من الغرف ونماذج تمثيلية من متغيرات المادة التي تمت قياسها أثناء التصلب بمعدات التصلب المتقدمة وفقًا لمبادئ الاختراع.

الشكل 1ز عبارة عن شكل تخطيطي يوضح نماذج تمثيلية من مكونات عملية التحكم في الجهاز وفقًا لمبادئ الاختراع.

الشكل 2 عبارة عن شكل بياني تخطيطي يوضح كتلة مادة مركبة من ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide ($CO_2$) التي يتم تصلبها كدالة زمنية أثناء $CO_2$ تصلب.

الشكل 3 يوضح الكتلة وامتصاص CO2 من العينة أثناء التصلب والذي يوضح الطور المنفصل 1 من التجفيف وطور الكربنة carbonation phase 2.

الشكل 3 عبارة عن مخطط يوضح بيانات مثال التصلب 1.

الشكل 4أ يوضح عينة درجة الحرارة وخاصية relative humidity (RH) أثناء طور التجفيف I في مثال التصلب 2.

الشكل 4ب يوضح عينة درجة الحرارة وخاصية RH أثناء طور الكربنة II carbonation phase في مثال التصلب 2.

الشكل 4ج يوضح عينة درجة الحرارة وخاصية RH أثناء الطور III من الكربنة في مثال التصلب 2.

الشكل 5أ عبارة عن مخطط يوضح خاصية التصلب بالنظام في مثال التصلب 3.

الشكل 5ب عبارة عن مخطط يوضح خاصية التصلب بالنظام في مثال التصلب 3.

الشكل 5ج عبارة عن مخطط يوضح بيانات مقاومة سطح العينة وخواص نظام التصلب بالنسبة لنظام التصلب 3.

الشكل 6 عبارة عن مخطط يوضح التباينات في عمق التفاعل، وتدفق الغاز في القدم المكعب لكل دقيقة وكمية الماء المزال من عينات المادة المركبة من CO2 المتصلب في الأنظمة باستخدام مروحة واحدة وثلاث مراوح.

الشكل 7 عبارة عن مخطط يوضح البيانات الخاصة بمعدل إزالة الماء كدالة معدل تدفق الغازات التي تتسم رطوبة نسبية مختلفة.

الشكل 8 عبارة عن مخطط يوضح سلوك درجة الحرارة المحسوبة بالزمن بالنسبة للتجفيف على حدة والكربنة على حدة، والتي تم الحصول عليها بواسطة إزالة الالتفاف.

تمثل الأشكال 9 إلى 12 جزءًا من وصف الفن السابق الموجود في براءة الاختراع الأمريكية رقم 9/266.147، الصادرة في 23 فبراير، 2016 مثل الأشكال 1-4 في هذا الطلب.

الشكل 9 يمثل مخطط لعملية g-rHLPD. أ-صورة أولية من CaSiO3 مسامي مجفف؛ صورة أولية من CaSiO3 رطب جزئيًا؛ ج- مادة صلبة أحادية الوحدات نهائية كثيفة. تمثل الخطوات من 1 إلى 4 عملية التكثيف-بالكربنة التي تحدث في مسام فردية: الخطوة 1- مسام رطبة جزئيًا مع CO2؛ الخطوة 2- تشتيت، إذابة وفك ارتباط CO2؛ الخطوة 3-إذابة CaSiO3 بواسطة أيونات الهيدروجين؛ الخطوة 4- ترسيب المواد الصلبة. بعد إكمال الخطوة 4، تحدث العملية بشكل مستمر بعد الخطوات 2-4 حتى تتسبب العوامل الحركية المختلفة في إبطاء العملية (على سبيل المثال، طبقات تفاعل CO2 السميكة).

الشكل 10 يمثل مثال أول من تفاعلات الكربنة التي تنطوي على CO2 كطور غازي والماء السائل في البنية المسامية.

الشكل 11 يمثل مثال ثاني من تفاعلات الكربنة التي تنطوي على CO2 كطور غازي والماء السائل في البنية المسامية: تفاعلت تركيبة كوارتز كراميلية، 8*8*1.5" في قالب اهتزازي، 90 C، تفاعل 20 PSIG.

الشكل 12 يمثل مثال ثالث من تفاعلات الكربنة التي تنطوي على CO2 كطور غازي والماء السائل في البنية المسامية: التركيبة 1-2-3، تفاعلت عينة ذات حجم 8 * 8 * 2" في 90 C 20 PSIG، في 90% ~ من الرطوبة النسبية.

**الوصف التفصيلي:**

تتسم الأجهزة، والطرق، والأنظمة الواردة بالاختراع بفائدتها في تصلب المواد التي تحتاج . ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) لتتصلب. لا تتصلب المواد في وجود H2O بمفرده. لا تتصلب المواد في غياب CO2. لا تستهلك المواد الماء في صورة مادة كاشفة. يتم وصف هذه المواد في وثائق براءات الاختراع التي تم تضمينها كمرجع في هذا الطلب.

يصف الاختراع نظام تصلب لتصلب مادة والذي يتطلب CO2 في صورة مادة كاشفة للتصلب. يشتمل نظام التصلب على غرفة تصلب مصممة لتحتوي على مادة والتي تستهلك CO2 في صورة مادة متفاعلة (أو مادة كاشفة) والتي لا تتصلب في غياب CO2. يكون لغرفة التصلب منفذ واحد على الأقل مصمم للسماح بأن يتم إدخال المادة في غرفة التصلب وإزالتها من غرفة التصلب، ولها

غالق واحد على الأقل للمنفذ، تتم تهيئة الغالق لتوفير مانع تسرب للهواء الجوي عند غلقه بحيث يتم منع (أو تقييد مستوى غير ضار) تلوث غاز موجود في غرفة التصلب بواسطة الغاز خارج غرفة التصلب؛ مصدر ثاني أكسيد الكربون مهيأ لتوفير ثاني أكسيد كربون غازي إلى غرفة التصلب بواسطة منفذ دخول غاز في غرفة التصلب، يكون لمصدر ثاني أكسيد الكربون وسيلة تنظيم تدفق واحدة على الأقل مصممة للتحكم في معدل تدفق ثاني أكسيد كربون غازي في غرفة التصلب؛ نظام فرعي لتدفق الغاز مصمم لتدوير الغاز من خلال غرفة التصلب أثناء فترة زمنية عندما يتم تصلب المادة والتي تستهلك $CO_2$ في صورة مادة متفاعلة؛ نظام فرعي للتحكم في درجة الحرارة مصمم للتحكم في درجة حرارة الغاز داخل الغرفة؛ نظام فرعي للتحكم في الرطوبة مصمم للتحكم في رطوبة في الغاز داخل الغرفة لزيادة الرطوبة أو تقليلها؛ وأداة تحكم واحدة على الأقل في اتصال مع واحد على الأقل من مصدر ثاني أكسيد الكربون، النظام الفرعي لتدفق الغاز، النظام الفرعي للتحكم في درجة الحرارة، والنظام الفرعي للتحكم في الرطوبة؛ وأداة تحكم واحدة على الأقل مصممة للتحكم بشكل مستقل أثناء فترة زمنية عندما يتم تصلب المادة والتي تستهلك $CO_2$ في صورة مادة متفاعلة واحد على الأقل محدد من معدل تدفق ثاني أكسيد الكربون الغازي، تدوير الغاز من خلال غرفة التصلب، درجة حرارة الغاز، والرطوبة في الغاز.

ينطوي الاختراع على إدراك أن العملية الفرعية للتجفيف والعملية الفرعية للكربنة في تصلب مادة مركبة $CO_2$ تقترن بشكل مباشر مع بعضها البعض، بحيث أن معدل الكربنة ومدى الكربنة يمكن التحكم فيه بواسطة التحكم في معدل التجفيف.

يتم وصف غرف التصلب وتشغيلها في براءة الاختراع الأمريكية رقم 9،211،027، طلب براءة الاختراع الأمريكية بالرقم المسلسل 602،313/14، وطلب براءة الاختراع الأمريكية بالرقم المسلسل 818،629/14 والتي يتم تضمينها في هذا الطلب كمراجع بأكملها.

يحدث الضغط المطلق لعملية التصلب التي تم تنفيذها في الغرفة المذكورة عند ضغوط عند أقل من 5 جوي من الضغط المطلق من أجل تجنب استخدام مكونات معقدة، مصنفة الضغط. بشكل مفضل، تحدث العملية بين 0.68 – 1.36 جوي (0.07 – 0.14 ميجا باسكال ) الضغط المطلق. بشكل مفضل أكثر، تحدث العملية بين 0.98 – 1.02 جوي (0.1 ميجا باسكال) الضغط المطلق.

في بعض نماذج الاختراع، يمكن أن تواصل أجزاء من العملية في أقل من الضغط الجوي من أجل تسهيل تبخر الماء من المنتجات المراد تصلبها.

يتناول الاختراع عملية والتي تضخم من معدل الكربنة للمادة المركبة بواسطة التحكم في معدل التجفيف للمادة. يمكن أن تتضمن العملية فترة زمنية للكربنة تتراوح بين 0 و1.000 ساعة. يمكن أن تتضمن العملية مادة مركبة من CO2 والتي لها قابلية إنفاذ في المدى من 0% إلى 100%. في بعض النماذج، يمكن أن يكون للإنفاذية ضمن النطاق من 0% إلى 100% حد مقيد أعلى أو حد مقيد أدنى من واحد محدد من 5%، 10%، 15%، 20%، 25%، 30%، 35%، 40%، 45%،50%، 55%، 60%، 65%، 70%، 75%، 80%، 85%، 90% أو 95%.

يمكن أن تتضمن العملية مادة مركبة من CO2 والتي لها عمق كربنة لـ CCM في المدى من صفر و91.4 سم . يمكن أن تتضمن العملية مادة مركبة من CO2 حيث يتساوى المقدار من الماء المزال من CCM مع ما بين 0% و99% من كتلة CCM. في بعض النماذج، يتراوح المقدار من إزالة الماء في النطاق من 10-90%، 15-90%، 20-90%، 25-90%، 30-90%، 35-90%، 40-90%، 45-90%، أو 50-90% من كتلة CCM.

في بعض النماذج، يتراوح المقدار من إزالة الماء في النطاق من 10-85%، 15-85%، 20-85%، 25-85%، 30-85%، 35-85%، 40-85%، 45-85%، أو 50-85% من كتلة CCM.

في بعض النماذج، يتراوح المقدار من إزالة الماء في النطاق من 10-80%، 15-80%، 20-80%، 25-80%، 30-80%، 35-80%، 40-80%، 45-80%، أو 50-80% من كتلة مادة مركبة من ثاني اكسيد الكربون ( CCM ).

في بعض النماذج، يتراوح المقدار من إزالة الماء في النطاق من 10-75%، 15-75%، 20-75%، 25-75%، 30-75%، 35-75%، 40-75%، 45-75%، أو 50-75% من كتلة CCM.

في بعض النماذج، يتراوح المقدار من إزالة الماء في النطاق من 10-70%، 15-70%، 20-70%، 25-70%، 30-70%، 35-70%، 40-70%، 45-70%، أو 50-70% من كتلة CCM.

في بعض النماذج، يتراوح المقدار من إزالة الماء في النطاق من 10-65%، 15-65%، 20-65%، 25-65%، 30-65%، 35-65%، 40-65%، 45-65%، أو 50-65% من كتلة CCM.

يتم تحديد عملية تصلب لأنواع خرسانة من سيليكات الصوديوم قابلة للكربنة في صورة عملية حيث يتم إنتاج المنتجات الخرسانية باستخدام أنواع أسمنت سيليكات كالسيوم قابل للكربنة ومعرضة إلى $CO_2$ بأسلوب متحكم فيه لإنتاج جزء خرساني متصلب بخواص فيزيائية و/أو كيميائية مرغوبة.

تتصلب المنتجات الخرسانية المحتوية على أنواع أسمنت سيليكات كالسيوم قابل للكربنة كما عامل الربط الأسمنتي الأولي لها أثناء عملية التفاعل. تفصح مراقبة كتلة واستهلاك $CO_2$ لجسم خرساني أثناء عملية التصلب طورين مميزين أثناء التصلب. يتم توضيح ذلك في الشكل 2. يعد الطور الأول عبارة عن طور تجفيف drying phase ، حيث يحدث استهلاك ضئيل أو لا يحدث أي استهلاك $CO_2$ على الإطلاق لكن كتلة المنتج تناقص بينما يتم تبخير الماء من المنتج إلى هواء الغرفة الجوي. يعد الطور الثاني عبارة عن طور كربنة، حيث يتزايد معدل استهلاك $CO_2$ وتتخطى الزيادة في الكتلة من الكربنة فقد الكتلة من التجفيف. يتناقص معدل استهلاك $CO_2$ والزيادة في الكتلة اللاحقة للمادة الصلبة بينما تقترب عملية تفاعل الكربنة من الناتج الأقصى لها للمنتج المحدد والظروف المستخدمة في عملية التصلب. بالتالي، تتكون عملية التصلب من طورين مميزين، طور تجفيف (الطور 1) وطور كربنة (الطور 2). تحديدًا، يتم تعيين المحور الرأسي على أنه كتلة. يمكن أن يكون للوحدات المستخدمة لتعيين الكتلة لكتلة العينة التي تتضمن الماء كما المواد الصلبة في العينة (محددة بواسطة منحنى صلب) وكتلة $CO_2$ المتراكمة (محددة بواسطة منحنى منقوط) مقاييس مختلفة. أي، إضافة $CO_2$ إلى المادة المراد تصلبها بشكل عام تمثل كتلة مطلقة بشكل أصغر كثيرًا مقارنة بكتلة المادة المراد تصلبها، بسبب أن $CO_2$ لوزن جزيئي يقارب 44 وحدات ذرية، بينما تشتمل أغلب المواد الصلبة على عناصر كيميائية متعددة مثل الكالسيوم

Calcium (Ca) ، المغنيسيوم Magnesium (Mg) و الفضة Silver (Ag) والذي تكون لها كتل ذرية من تقريبًا 40، 24 و28 وحدات ذرية، على التوالي.

يمكن أن يتنوع مدى الطور 1 والطور 2 وفتراته الزمنية بالاعتماد على صيغة المنتج، المواد الخام الخرسانية، خواص الأسمنت ومكونات المادة الرابطة، كثافة المنتج، الشكل الهندسي للمنتج، استخدام مواد إضافة كيميائية، والظروف المنطبقة أثناء عملية التصلب.

في بعض النماذج، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في الخواص الكهربائية للمنتج على السطح أو في الكتلة. في بعض النماذج، يمكن أن تتغير واحدة أو أكثر من الخواص الكهربائية، مثل، قابلية المقاومة، الموصلية، المعاوقة، المهايئة، ثابت العزل الكهربائي، مقاومة العزل الكهربائي، الإنفاذية، ثابت كهربائي إجهادي، معامل Seebeck للمنتج.

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في الكمية من الماء المزالة من المنتج. في بعض النماذج، يتم قياس الكمية من الماء المزال من المنتج من خلال تتبع تغير الكتلة بالمنتج طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في معدل الماء المزال من المنتج. في بعض النماذج، يتم قياس المعدل الذي يتم عنده استخلاص الماء من المنتج، تتبعه والتحكم فيه طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في معدل الماء الذي تم تجميعه من الغاز الدوار في الغرفة. في بعض النماذج، يتم قياس المعدل الذي يتم عنده تجميع الماء من الغاز الدوار في الغرفة، تتبعه والتحكم فيه طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في تركيز $CO_2$ و/أو تركيز $O_2$ في الغاز الدوار في الغرفة. في بعض النماذج، يتم قياس تركيز $CO_2$ و/أو تركيز $O_2$ للغاز الدوار في الغرفة، تتبعه والتحكم فيه طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في الرطوبة النسبية للغاز الدوار في الغرفة. في بعض النماذج، يتم قياس الرطوبة النسبية للغاز الدوار في الغرفة، تتبعها والتحكم فيها طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في درجة حرارة الغاز الدوار في الغرفة. في بعض النماذج، يتم قياس درجة حرارة الغاز الدوار في الغرفة، تتبعها والتحكم فيها طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في درجة حرارة الغاز الدوار في الغرفة. في بعض النماذج، يتم قياس درجة حرارة الغاز الدوار في الغرفة، تتبعها والتحكم فيها طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في درجة حرارة المنتج. في بعض النماذج، يتم قياس درجة حرارة المنتج، تتبعها والتحكم فيها طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2). في بعض النماذج، تتم مراقبة التغير في درجة حرارة المنتج باستخدام كاميرا أشعة تحت الحمراء.

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في الضغط داخل الغرفة. في بعض النماذج، يتم قياس الضغط داخل

الغرفة، تتبعه والتحكم فيه طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار التصلب الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في الرقم الهيدروجيني للمنتج. في بعض النماذج، يتم قياس الرقم الهيدروجيني للمنتج، تتبعه والتحكم فيه طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في الرقم الهيدروجيني للماء الذي تم تجميعه أثناء معالجة المنتجات ولاحقًا من الغرفة. في بعض النماذج، يتم قياس الرقم الهيدروجيني للماء الذي تم تجميعه أثناء معالجة المنتجات ولاحقًا من الغرفة، تتبعه والتحكم فيه طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في التركيبة العنصرية للمنتج. في بعض النماذج، يتم قياس التركيبة العنصرية للمنتج، تتبعها والتحكم فيها طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في بعض النماذج الأخرى، يرتبط الانتقال من طور التجفيف الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة الثاني (الطور 2) بتغير في استجابة المنتج إلى الاستثارة بالموجات فوق الصوتية. في بعض النماذج، يتم قياس استجابة المنتج إلى الاستثارة بالموجات فوق الصوتية، تتبعها والتحكم فيها طوال العملية في أي من أطوار التجفيف الأولى (الطور 1) أو أي من أطوار الكربنة الثانية (الطور 2).

في جانب، يتم التحكم في التحكم في درجة حرارة المنتج وإزالة الماء في طور التجفيف الأول (الطور 1) ومعدل التفاعل في طور الكربنة الثاني (الطور 2)، وفي بعض الأمثلة البسيطة، من خلال اختيار مصدر طاقة.

في بعض النماذج، يعد مصدر الطاقة energy source المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن احتراق وقود حفري fossil fuel.

في بعض النماذج، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن تسخين بمقاومة كهربائية.

في بعض النماذج، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن مصدر حراري من الأشعة تحت الحمراء.

في بعض النماذج الأخرى، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن ليزر.

في بعض النماذج، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن تسخين بعزل كهربائي، حيث يمكن أن يستخدم التسخين بالعزل الكهربائي استخدام موجات ذات تردد موجة دقيقة أو تردد راديوي. في بعض النماذج، تعد الترددات الراديوية المستخدمة في النطاق الصناعي، العلمي والطبي Industrial, Science and Medical band (ISM).

في بعض النماذج الأخرى، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن بلازما.

في بعض النماذج الأخرى، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن بخار.

في بعض النماذج الأخرى، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن بخار ماء فائق التسخين.

في بعض النماذج الأخرى، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن موصل.

في بعض النماذج الأخرى، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن جهاز إشعاعي.

في بعض النماذج الأخرى، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن مصدر حراري إشعاعي radiation heat source .

في بعض النماذج الأخرى، يعد مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج عبارة عن مصدر حراري مثل منشأة توليد مشترك.

في بعض النماذج الأخرى، يتضمن مصدر الطاقة المستخدم لتسخين الغاز و/أو المنتج توليفة من مصادر الطاقة الموصوفة أعلاه.

في جانب، يتم التحكم في السيطرة على إزالة الماء في طور التجفيف الأول (الطور 1) و/أو معدل التفاعل في طور الكربنة الثاني (الطور 2)، وفي بعض الأمثلة البسيطة، من خلال التحكم في استخلاص الماء من المنتج ولاحقًا من الغاز في الغرفة.

في بعض النماذج، يتم التحكم في استخلاص الماء من المنتج ولاحقًا من الغرفة من خلال الحمل الحراري الطبيعي.

في بعض النماذج، يتم التحكم في استخلاص الماء من المنتج ولاحقًا من الغرفة من خلال الحمل الحراري القسري.

في بعض النماذج، يتم التحكم في استخلاص الماء من المنتج ولاحقًا من الغرفة من خلال ضاغط.

في بعض النماذج، يتم التحكم في استخلاص الماء من المنتج ولاحقًا من الغرفة من خلال مجفف.

في بعض النماذج، يتم التحكم في استخلاص الماء من المنتج ولاحقًا من الغرفة من خلال مبادل حراري heat exchanger ومبرد chiller.

في بعض النماذج، يتم التحكم في استخلاص الماء من المنتج ولاحقًا من الغرفة من خلال استخدام أقل من أنظمة الضغط الجوية المتضمنة لكنها لا تقتصر على التفريغ.

في بعض النماذج الأخرى، يتم التحكم في استخلاص الماء من المنتج ولاحقًا من الغرفة من خلال استخدام توليفة من العمليات الموصوفة أعلاه.

في جانب، يتم التحكم في السيطرة على إزالة الماء في طور التجفيف الأول (الطور 1) و/أو معدل التفاعل في طور الكربنة الثاني (الطور 2)، وفي بعض الأمثلة البسيطة، من خلال التحكم في

تدوير الغاز في الغرفة. في بعض النماذج، يتم التحكم في سرعة الغاز الموضعي بالنسبة إلى المنتجات من خلال ضبط تدفق الغاز في الغرفة.

في بعض النماذج يتم التحكم في تدفق الغاز باستخدام جهاز تهوية نفاخ معالج هندسيًا.

في بعض النماذج يتم التحكم في تدفق الغاز وسرعة الغاز على المنتجات باستخدام نظام تدوير داخلي. في بعض النماذج يتكون التدوير الخارجي المعالج هندسيًا داخل الغرفة من المراوح التي تحرك الغاز داخل الغرفة.

في بعض النماذج يتم التحكم في تدفق الغاز باستخدام نظام تدوير خارجي. في بعض النماذج يتكون نظام التدوير الخارجي المعالج هندسيًا من المراوح التي تحرك الغاز بين الجزء الداخلي والخارجي من الغرفة.

في بعض النماذج يتم التحكم في تدفق الغاز باستخدام نظام تدوير داخلي ونظام تدوير خارجي external circulation system في ترادف. في بعض النماذج تتم تجزئة التدفق من الغاز إلى نسب بين نظام التدوير الداخلي ونظام التدوير الخارجي بواسطة ممر جانبي.

في بعض النماذج يشتمل نظام تصلب على أنظمة تدوير داخلية متعددة، أنظمة تدوير خارجية، سخانات، وأنظمة نزع رطوبة يمكن أن يتم إلحاقها بغرفة واحدة لتوفير مناطق تحكم مستقلة متعددة داخل الغرفة.

في جانب، يتم تضخيم فعالية استهلاك $CO_2$ أثناء عملية التصلب بواسطة ضبط تركيز $CO_2$ في نهاية طور الكربنة (الطور 2) و/أو طور التجفيف النهائي. بشكل أكثر تحديدًا، يتم السماح بانخفاض تركيز $CO_2$ في الغرفة أثناء أطوار الكربنة بينما ينخفض معدل امتصاص $CO_2$ بواسطة المنتج. يساعد ذلك مع الحفاظ على $CO_2$، والذي يعد أساسيًا من كل من اعتبار تكلفة واعتبار بيئي.

المثال 1 : تم استخدام طريقة تصلب باستخدام دورات متناوبة من معدلات التبخير المتزايد والمتناقص لتحقيق قدرات شدة قابلة للمقارنة راصفات خرسانية من أسمنت سيليكات الكالسيوم قابل

للكربنة carbonatable calcium silicate في زمن تشغيل أقصر مقارنة بتشغيل معتمد على ظروف التشغيل الثابتة بشكل صارم.

المنهجية

تم تحميل غرفة تصلب براصفات خرسانية من أسمنت سيليكات الكالسيوم قابل للكربنة. أشارت القياسات السابقة إلى توزيع لمعدلات التبخر النسبية طوال الغرفة. تم وضع مستشعرات مقاومة كهربائية على أسطح المنتجات في مواقع معروفة بأنها معدل تبخر مرتفعة نسبيًا ومنخفضة نسبيًا.

بدأت عملية التصلب بواسطة إدخال $CO_2$ إلى الغرفة ونظام تكييف غاز حتى تم الوصول إلى تركيز مرتفع. تاليًا، تم ضبط التدفق، الحرارة، ونزع الرطوبة للنظام للوصول إلى درجة حرارة مرغوبة والرطوبة النسبية. وصلت الغرفة 60 درجة مئوية في 2.5 ساعة وتم إبقاء الرطوبة النسبية عند أو أقل من 60%.

عند علامة 2.5 ساعة، تم تقليل معدل التبخير في الغرفة. تم تحقيق الخفض في ظروف التفاعل بواسطة: إيقاف السخان و، وإيقاف نظام تدوير الغاز. تم الحفاظ على هذه الحالة من معدل التبخير المتناقص لمدة 30 دقيقة قبل أن تمت إعادة تأسيس ظروف التجفيف القياسية بواسطة إعادة تشغيل السخان ونظام تدوير الغاز. تم بالتالي الحفاظ على ظروف التبخير الأصلية لمدة 1 ساعة قبل بدء دورة أخرى من الخفض في ظروف التجفيف. تم تحديد الميقات المضبوط للانتقالات بين أنظمة التبخير العادية والتبخير المنخفضة بواسطة مراقبة المقاومة الكهربائية لأسطح المنتج. تم إكمال مجموع من أربع دورات قبل دخول النظام في خطوة تجفيف قوية من 65 درجة مئوية، تدفق غاز/سرعة مرتفعة، ورطوبة نسبية منخفضة للغاية. استغرقت الفترة الإجمالية لعملية التصلب 13 ساعة.

تم تطوير عملية التصلب المستخدمة من أجل المساعدة في توحيد مستويات إزالة الرطوبة على كامل المنتج في الغرفة. بواسطة تقليل سرعة إعادة التدوير الداخلية، يتم تقليل معدل التبخير في سطح المنتجات. يتيح ذلك فرصة لانتقال الماء من الجزء الداخلي للمنتج إلى الجزء الخارجي للمنتج، بما يقلل من التدرج الرطوبة داخل كل منتج. بواسطة إدخال عمليات الربط المذكورة يمكن أن يتم بدلًا من ذلك تجفيف منتجات معينة والتي يمكن أن تطور تدرج رطوبة منحدر أثناء الطور

1 التجفيفي نتيجة معدلات التبخير الموضعية المرتفعة بشكل نسبي بأسلوب حيث يتم تكوين تدرج رطوبة سطحية مستحب بواسطة نهاية الطور 1 التجفيف.

يتم توضيح البيانات التجريبية في الشكل 3.

المثال 2

تم إنتاج أسطوانات خرسانية أساسها أسمنت سيليكات كالسيوم قابل للكربنة carbonatable calcium silicate لدراسة عملية تصلب تتضمن الطور 1 التجفيفي في غياب $CO_2$. يتم توضيح نسب الخليط المستخدمة لإنتاج الخرسانة الجديدة في الجدول 1. يتم توضيح الخواص الجديدة للخرسانة التي تم إنتاجها باستخدام المواد في صورة كميات في الجدول 1 في الجدول 2.

الجدول 1: نسب الخليط من الخرسانة التي تم إنتاجها على سبيل المثال 2.

| المكون | الكتلة | الدفعة الكمية، كجم | كجك/م 3 أو لتر / م 3 |
|---|---|---|---|
| أسمنت سيليكات كالسيوم قابل للكربنة carbonatable calcium silicate | %17.3 | 13.90 | 415.4 |
| تركيز الرمال | %38.1 | 31.91 | 915.8 |
| 4/1" مواد متراكمة | %24.3 | 19.48 | 582.3 |
| 8/3" مواد متراكمة | %20.3 | 16.21 | 484.5 |
| خليط مقلل للماء | 5 | 0.073 | 2.07 |
| خليط مؤخر للشك | 7 | 0.0973 | 2.90 |
| الماء | % 5.50 | 4.68 | 139.5 |

الجدول 2: الخواص الجديدة للخرسانة التي تم إنتاجها على سبيل المثال 2.

| البارامتر | القيمة |
|---|---|
| الكزازة، مم | 38.1 |
| محتوى الهواء، % | 5.0 |
| وزن الوحدة، كجم/م3 | 2374.26 |

كان إجراء الخلط المستخدم لإنتاج الخرسانة كما يلي.

إضافة كامل المواد المتراكمة الخشنة في الخلاط.

إضافة كامل الرمال في الخلاط لإنتاج خليط المادة المتراكمة الجاف.

خلط الخليط الجاف لمدة 30 ثانية.

إضافة 50% من ماء الخلط لإنتاج خليط المادة المتراكمة الرطبة.

إضافة الأسمنت في الخلاط لإنتاج خليط الخرسانة الرطب.

إضافة خلائط مؤخرة للشك، مثل لكن لا تنحصر في، Sika Plastiment في الخلاط وخلطها لمدة 30 ثانية.

إضافة المتبقي من 50% من ماء الخلط والخلط لمدة 30 ثانية.

إضافة خليط مقلل للماء، مثل لا ينحصر في، Glenium 7500 والخلط لمدة 3 دقائق.

إراحة الخلاط لمدة 1 دقيقة.

قياس بطئ حركة الخرسانة الجديدة.

قياس وزن الوحدة ومحتوى الهواء للخرسانة الجديدة.

تتم قولبة 16 من أسطوانات 8x4" بخليط الخرسانة الجديدة في 2-3 من الطبقات مع حوالي 30 ثانية من الرج لكل عينة.

وضع عينات الخرسانة في فرن بضبط درجة حرارة في 80 درجة مئوية لمدة 3 ساعات (الشكل 4أ).

إزالة العينات من الفرن بعد 3 ساعات من التجفيف بالفرن وتبريدها في ظروف محيطة لمدة 1 ساعة.

وزن العينات لحساب المقدار من الرطوبة المفقود أثناء حالة التجفيف (الطور 1).

إزالة قولبة العينات ووضعها في غرفة تصلب للكربنة (الطور 2) في 60 درجة مئوية و60% رطوبة نسبية لمدة 20 ساعة مع > 95% من تركيز غاز CO2. (الشكل 4ب).

تمت بشكل إضافي كربنة العينات (استمرار الطور 2) في 80 درجة مئوية و30% رطوبة نسبية لمدة 20 ساعة مع > 95% تركيز غاز CO2. (الشكل 4ج).

تمت ملاحظة مقاومة انضغاطية متوسطة لأنواع الخرسانة المتصلبة (أسطوانات 4x8") بعد 40 ساعة من الكربنة وكانت 9388.

المثال 3:

يتم توضيح نسب الخليط المستخدمة لإنتاج منتج خرسانة بقالب رطب على سبيل المثال 3 في الجدول 3. تم تحضير الخرسانة بواسطة أسمنت خلط جاف ومواد متراكمة، ثم إدخال الماء والمواد المتراكمة، وبشكل نهائي الخلط الرطب للدفعة بالكامل. تم اختبار الخرسانة الجديدة من حيث الانتشار، وزن الوحدة، محتوى هواء والميل للانفصال. أعطى الخليط الجديد وزن وحدة من 65.3 كيلو جرام/متر3، محتوى هواء من 7% وانتشار من 50.8 سم. لم ينفصل الخليط. تم صب الخرسانة بشكل مباشر في 24" x 24" x 1.5"، 24" x 18" x 1.5" و24" x 12" x 1.5" من تجويف قالب بلاستيكي plastic mold وتماسك بشكل مختصر من خلال النقر الخفيف على القالب.

الجدول 3: نسب خليط من الخرسانة التي تم إنتاجها للمثال 3.

| المكون | النسبة (كيلو جرام/ متر مكعب) |
|---|---|
| أسمنت سيليكات كالسيوم قابل للكربنة carbonatable calcium silicate | 292.5 كيلو جرام/ متر 3 |
| خبث | 122.4 كيلو جرام/ متر 3 |
| 4/1" (-) صخر احتجازي | 746.9 كيلو جرام/ متر 3 |
| رمال خرسانة صحارية | 456.6 كيلو جرام/ متر 3 |
| الماء | 145.5 كيلو جرام/ متر 3 |
| خليط طارد للماء | 11.4 جرام/ كيلو جرام أسمنتي |
| خليط مقلل للماء | 171 جرام/ كيلو جرام أسمنتي |
| خليط مؤخر للشك | 85.7 جرام/كيلو جرام أسمنتي |

تم تحميل قالب بلاستيكي المحتوي على عينات القالب في غرفة تصلب. تم بحث عمليتي تصلب. كانت فترة كل عملية تصلب تم بحثها 14 ساعة.

في عملية التصلب (أ)، تم غسل غرفة التصلب curing chamber لتحقيق تركيز $CO_2$ مرتفع (> 90%). تم التحكم في السخان ونظام تدوير الغاز لتحقيق درجة حرارة 60 درجة مئوية ورطوبة نسبية من 25% أو أقل. تمت مراقبة المقاومة الكهربائية لسطح المنتج. امتد التصلب لمدة 14 ساعة. تمت ملاحظة المقاومة الكهربائية لسطح المنتج لإضفاء المقاومة الكهربائية بجسم الخرسانة الأخضر في الساعة 4. أشار التغير في المقاومة الكهربائية لسطح المنتج إلى انتقال بين طور غالب عليه التجفيف إلى طور غالب عليه الكربنة.

في عملية التصلب (ب)، تم تعديل وصفة التصلب بحيث تم تقليل معدل التبخير للعينة أثناء طور الكربنة من أجل تعزيز مدى تصلب الكربنة. أولًا، تم غسل غرفة التصلب لتحقيق تركيز $CO_2$ مرتفع (> 90%). تم التحكم في السخان ونظام تدوير الغاز لتحقيق درجة حرارة 60 درجة مئوية ورطوبة نسبية من 25% أو أقل. بعد 4 ساعات، كما هو مشار إليه بواسطة التغير في المقاومة الكهربائية لسطح المنتج، تم تعديل إعدادات دوران الغاز لتكوين رطوبة مرتفعة في الغرفة وبالتالي تقليل معدل التبخر لمدة ثلاث ساعات. عقب خطوة معدل التبخير المنخفض المذكورة، تم تعديل إعدادات نظام تدوير الغاز للزيادة التدريجية لمعدل التبخر بواسطة تغطية الغرفة بالرطوبة النسبية في 50% لمدة ساعتين. عقب ذلك تم تعديل نظام تدوير الغاز وإعدادات السخان لزيادة درجة حرارة الغاز 70 درجة مئوية وتغطية الغرفة عند رطوبة نسبية في 25% لباقي الدورة.

يتم توضيح درجة حرارة الغرفة، رطوبة نسبية للغرفة، والمقاومة الكهربائية لسطح العينة لعملية التصلب (أ) وعملية التصلب (ب) في الشكل 5ج.

تم قياس المقاومة المرنة للمنتجات المتصلبة أثناء العملية (أ) والعملية (ب). تم كذلك قطع المنتجات نصفين من أجل التأكد من أنه تمت كربنتها بشكل متجانس. كان للمنتج المتصلب باستخدام العملية (أ) مقاومة مرنة من 4.27 ميجا باسكال ولوحظ أنها تمتلك منطقة مكربنة بشكل غير جيد، ضعيفة في مركزها. كان للمنتج المتصلب باستخدام العملية (ب) مقاومة مرنة بمقدار 5.44 ميجا باسكال ولوحظ أنها قوية ومكربنة من خلال كامل سمكها. تعطي نتيجة هذا الاختبار دليلًا على أن تقليل معدل التبخر أثناء طور الكربنة لعملية تصلب الخرسانة من شأنه أن يعزز من عملية التصلب.

تصلب بتردد راديوي:

المثال 4:

تم وضع الراصفات التي أساسها الأسمنت من السيليكات من الكالسيوم القابل للكربنة العديدة على لوح متوافق مع نظام تردد الراديو Radio frequency (RF ) بمستشعرات درجة حرارة مختلفة في موضعها. تم تحميل العينات في نظام RF وجعلها في درجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة 5 دقائق، ثم 70 درجة مئوية لمدة 10 دقائق، وبعد ذلك إلى 90 درجة مئوية لمدة 10 دقائق. تمت مراقبة

جميع درجات بمرور الزمن وتم كذلك القيام بالملاحظات البصرية. في نهاية فترة اختبار الـ25 دقيقة، تم أخذ عينات عديدة من مواقع مختلفة لتحليل الرطوبة.

تم تسخين جميع الراصفات التي أساسها الأسمنت من السيليكات من الكالسيوم القابل للكربنة وتجفيفها بفعالية. كانت كل من درجات الحرارة الداخلية والخارجية -/+ 5 درجات مئوية. تراوح التفاوت بين محتوى الرطوبة المقاس من المركز إلى الجزء العلوي على راصف منفرد بين 0.25% و1.05%.

المثال 5:

تم تحميل 8 الراصفات التي أساسها الأسمنت من السيليكات من الكالسيوم القابل للكربنة في نظام تردد الراديو Radio frequency (RF ) في 4 خانات متوافقة من RF منفصلة. تم تدفق CO2 ببطء في الركن السفلي للخانات وخارج الجزء العلوي على الجانب المقابل. تم توصيل درجات حرارة العينات حتى 60 درجة مئوية بـ RF على ما يقارب 10 دقائق وإبقائها لمدة 1 ساعة قبل اختبار العينة الأولى (1300وات لمدة 10 دقائق للوصول إلى 60 درجة حرارة، ثم ~12وات/راصف للحفاظ على 60 درجة مئوية). تم سحب عينة واختبار كل نصف ساعة، ثم إعادتها إلى بيئة CO2 في نظام RF. للنصف الساعة الأخيرة تم جعل درجة حرارة العينة 85 درجة مئوية. كان زمن التعرض إلى CO2 الإجمالي 5 ساعات. تم تكسير إحدى العينات إلى نصفين وبدت صلبة ومكربنة على بكاملها.

يمكن تصلب الراصفات داخل نظام تصلب أساسه تردد راديوي ويمكن القيام بذلك في إطار زمني قصير.

المثال 6:

تم وضع 8 الراصفات التي أساسها الأسمنت من السيليكات من الكالسيوم القابل للكربنة في نظام RF بمستشعرات درجة حرارة مدمجة فيها وتم جعل درجة الحرارة 85 درجة مئوية.

وصلت درجة حرارة الراصف الداخلية 60 درجة مئوية في 1 دقيقة و85 درجة مئوية في 2 دقيقة.

المثال 7:

تم وضع راصفات أسمنتية أساسها أسمنت سيليكات كالسيوم قابل للكربنة في نظام تردد الراديو Radio frequency (RF ) بمستشعرات درجة حرارة مدمجة فيها وجعلها 85 درجة مئوية في 2 دقيقة. تمت إزالة العينات، تم قياس محتوى الرطوبة، وتمت ملاحظة توزيع الماء. تم تشغيل تبديلات عديدة بهذه التجربة بالقيام بصور ضبط بسيطة على الآلة.

قاست العينات محتوى الرطوبة حيث أنها فقدت بين 30% و50% من الرطوبة الخاصة بها داخل دقيقتين من التعرض إلى RF.

المثال 8:

تم تحميل 8 الراصفات التي أساسها الأسمنت من السيليكات من الكالسيوم القابل للكربنة في نظام RF في 4 خانات متوافقة من RF منفصلة. تم تضمين مستشعرات درجة حرارة في عينات في كل خانة. تم ببطء تدفق CO2 في الركن السفلي للخانات وخارج الجزء العلوي على الجانب المقابل. تم توصيل درجات حرارة العينات حتى 85 درجة مئوية بما يقارب 3 دقائق و50 ثانية وإبقائها لمدة 3 ساعات (8كيلو وات لكل 3 دقائق 50 ثانية للوصول إلى 85 درجة مئوية، ثم ~200 وات أو 25 وات/راصف للحفاظ على 85 درجة مئوية).

كانت مراكز الراصفات صلبة بدرجة مفرطة، بينما كان السطح والأركان رقيقًا إلى حد ما. تعطي هذه النتيجة دليلًا على أن التحسين الإضافي والتطور الإضافي لنظام التصلب المعتمد على RF يمكن أن يعطي أزمنة تصلب سريعة بشكل مفرط.

المثال 9:

تم وضع 8 الراصفات التي أساسها الأسمنت من السيليكات من الكالسيوم القابل للكربنة في نظام RF بمستشعرات درجة حرارة مدمجة في 2 منها وتم جعل درجة الحرارة 85 درجة مئوية في 2 دقيقة. تمت إزالة العينات، تم رش نصفها بالماء لإعادة ترطيب السطح ولم يتم رش نصفها الآخر. تم بالتالي وضع مجموعتين من 4 عينات في حاويات بلاستيكية مع CO2 تم تسخينه بتدفق ببطء في الركن السفلي وخارج الجزء العلوي. بعد 3 ساعات تم سحب العينات من حاوية، كسرها نصفين وفحصها، تمت إزالة جزء إضافي من كل حاوية ووضعه جانبًا. بدا أن العينات التي لم تتم إعادة

ترطيبها تصلبت في المركز، لكن السطح والأركان بدت أنها رقيقة ومتربة. كان للعينات المعاد ترطيبها سطح صلب وبدت كذلك متصلبة في المركز.

يمكن أن يتم تسخين الراصفات التي أساسها الأسمنت من السيليكات من الكالسيوم القابل للكربنة وتجفيفها باستخدام تردد راديوي وبعد ذلك تصلبها في بيئة CO2 دون استخدام تردد راديوي. يمكن بالتالي أن يقلل استخدام تردد راديوي فقط أثناء طور التسخين والتجفيف الأول للعملية من زمن العملية الإجمالي بشكل ملحوظ. بدت إعادة الترطيب للسطح على أنها مفيدة بعد طور تسخين سريع للغاية.

إزالة الماء

الشكل 6 يعد عبارة عن رسم بياني والذي يوضح التباينات في عمق التفاعل، تدفق الغاز بالقدم المكعبة لكل دقيقة والمقدار من الماء المزال من عينات المادة المركبة من CO2 المتصلبة في أنظمة تستخدم 1 مروحة و3 مراوح. يتضح أن عمق التفاعل، تدفق الغاز بالقدم المكعبة لكل دقيقة والمقدار من الماء المزال من عينات المادة المركبة من CO2 زادت جميعًا عندما يتم توفير قدرة أكبر على تحريك الغاز التفاعلي.

الشكل 7 يعد عبارة عن رسم بياني يوضح البيانات لمعدل إزالة الماء في صورة دالة لمعدل تدفق الغازات التي لها رطوبة نسبية مختلفة. كما يتضح في الشكل 7، يميل استخدام معدل تدفق مرتفع ورطوبة نسبية منخفضة إلى زيادة المعدل الذي تتم عنده إزالة الماء من العينة. من المعتقد أن تفاعل CCM مع CO2 يحدث بشكل مفضل عند السطح البيني حيث يكون CCM المشبع بالماء متلامس مع CO2 غازي، لذا تترابط إزالة سريعة بشكل أكبر للماء مع معدلات أسرع للتصلب.

الشكل 8 يعد عبارة عن رسم بياني يوضح سلوك درجة الحرارة المحسوبة بزمن للتجفيف بمفرده وللكربنة بمفردها، تم الحصول عليه بواسطة إزالة الالتفاف، كما هو موضح في البراءة الأمريكية رقم 602،313/14، والذي تم تضمينه في هذا الطلب كمرجع. الشكل 8 يتضمن مقارنة منحنى الطرد الحراري للكربنة للامتصاص الحراري التجفيفي الذي تم رسمه في شكل بياني على المقياس الزمني ذاته. الشكل 8 يشير إلى أن التجفيف يمكن أن يتم استخدامه للتحكم في شرعة التفاعل ومداه.

بدا أثناء التصلب أن جزء متقدم تجفيفي قد تشكل في حد ذاته وتحرك من خارج الهدف المتكون إزاء الجزء الداخلي منه. تشكل كذلك جزء متقدم للتفاعل بشكل تقريبًا متسق مع الجزء المتقدم للتجفيف. يمكن فقط أن يحدث تفاعل التصلب بالقرب من الجزء المتقدم التجفيفي/الجزء المتقدم للتفاعل بسبب أنه يتم إمداد $CO_2$ في صورة غاز ولا يوجد بشكل أولي في الماء بأي تركيز كبير. في مقدمة الجزء المتقدم التجفيفي (مثل، على الجانب الرطب للجزء المتقدم) يوجد الماء في المسام، والذي يثبط من انتشار $CO_2$. خلف الجزء المتقدم (مثل، على الجانب الجاف من الجزء المتقدم) تحتوي المسام على القليل للغاية من الماء لدعم الكربنة، لكن $CO_2$ يمكن أن يتشتت بشكل سريع إلى منطقة الجزء المتقدم ويمكن أن يتشتت الماء من الجزء المتقدم رجوعًا إلى سطح الجزء المتكون. حال تحركت الأجزاء المتقدمة بسرعة من خلال منطقة الجسم المتكون سيكون مدى التفاعل أقل مقارنة بما تحركت الأجزاء المتقدمة ببطء مقارنة بالمعدل الأصلي للتفاعل الكيميائي. سيعتمد شكل الجزء المتقدم التجفيفي على الشكل الخارجي للجسم المتكون، معدلات التجفيف النسبية من خلال الأسطح الخارجية له ومسافات التشتت من الجزء المتقدم إلى سطح الجسم المتكون.

المادة الإضافية

يتم تضمين براءة الاختراع الأمريكية رقم 9،266،147 كمرجع بأكمله في هذا الطلب.

في الموائع، تقيد العمليات التشتتية المعدل بعملية عندما يكون السمك من خلال هذا التشتت الواجب حدوثه أكبر من مسافة التشتت، والذي يمكن أن تقديره بواسطة حوسبة إزالة مربع متوسط الجذر. على سبيل المثال، يكون للمائع الذي دون حمل حراري، تشتت الأيونات في درجة حرارة الغرفة والضغط الجوي في الماء تقريبًا 0.19 سم. توجد العديد من التطبيقات حيث يتخطى سمك المواد هذا المقياس من الطول. في هذه الحالات، يعد النقل الحراري الميكانيكي للمائع بواسطة أي وسائل مناسبة معروفة لأحد الماهرين بالمجال ضروريًا. يتمثل بديل آخر في إدخال المذيب أو أنواع متفاعلة أخرى في صورة أنواع غازية. عندما يتم القيام بذلك، تزداد مسافة التشتت إلى 9 سم. في نماذج أخرى، يمكن أن يتم استخدام ظروف فائقة الحرك لتحقيق معدلات نقل والتي تمتد بين السوائل والغازات.

الشكل 9 يمثل مخطط لعملية g-rHLPD. أ-صورة أولية من CaSiO3 مسامي مجفف؛ صورة أولية من CaSiO3 رطب جزئيًا؛ ج- مادة صلبة أحادية الوحدات نهائية كثيفة. تمثل الخطوات من 1 إلى 4 عملية التكثيف-بالكربنة التي تحدث في مسام فردية: الخطوة 1- مسام رطبة جزئيًا مع CO2؛ الخطوة 2- تشتيت، إذابة وفك ارتباط CO2؛ الخطوة 3-إذابة CaSiO3 بواسطة أيونات الهيدروجين؛ الخطوة 4- ترسيب المواد الصلبة. بعد إكمال الخطوة 4، تحدث العملية بشكل مستمر بعد الخطوات 2-4 حتى تتسبب العوامل الحركية المختلفة في إبطاء العملية (على سبيل المثال، طبقات تفاعل CO2 السميكة).

لتفاعلات كربنة السيليكات المعدنية لتتواصل سريعًا، يتم استخدام مفهوم مساعدة بالغاز أو بمعنى آخر، كثافة طور سائل حراري مائي مساعد بالغاز، (الشكل 9). يستخدم g-rHLPD حيز مسامي مرتشح جزئيًا لإتاحة التشتت الغازي ليرتشح بشكل سريع في القالب المسبق المسام ويشبع أغشية رقيقة من المذيب سطحية بينية من السائل رفيعة في المسام بـ CO2 مذاب. يكون لأنواع أساسها CO2 قابلية ذوبان منخفضة في الماء النقي (1.5جرام/لتر في 25 درجة مئوية، 1 هواء جوي). بالتالي، ينبغي أن يتم الإمداد بكمية كبيرة من CO2 إلى الصورة الأولية المسامية وتوزيعها على كاملها لإتاحة تحويل الكربونات الكبير. يوفر استخدام تشتت طور الغاز 100-ضعف من الزيادة في طول التشتت على ذلك الخاص بـ CO2 القابل للذوبان المشتت زمن مكافئ بطور سائل. تتيح هذه الحالة المرتشحة جزئيًا إكمال التفاعل إلى درجة مرتفعة من الكربنة في فترة زمنية ثابتة. على سبيل المثال، في الحالة المرتشحة جزئيًا، يمكن أن يتم تحقيق 47.5 ± 2.7 مول% تحويل CaSiO3 في CaCO3 و ثنائي أكسيد السيليكون Silicon dioxide (SiO2) في ~19 ساعة عند درجة حرارة 90 درجة مئوية. وضغط من 2.36 جوي. حال أن جميع ظروف التفاعل ذاتها يتم الحفاظ عليها عدا أن المسام يتم ملئها بالكامل بالماء، ينتج تحويل مكربن منخفض بدرجة كبيرة، 3.8 ± 0.5 مول%.

يختلف العمل عن العمل المنشور، حيث لا يتم إعطاء أي انتباه إلى (1) اختيار تركيز الماء بالنسبة إلى درجة تشبع المسام degree of pore saturation (DPS) في الجسم المسامي طوال الصورة الأولية المسامية كل من قبل التفاعل وأثناءه (مثل، في هذه الحالة، الكربنة) و(2) منهجية كيفية أن الماء تم توصيله إلى الجسم المسامي. بدلًا من ذلك، استخدام الفن السابق مقادير

اختيارية من الماء المتبقي أثناء تحضير الصورة الأولية المسامية، وأخفق في التعرف على أهمية درجة تشبع المسام degree of pore saturation (DPS) وأجرت معالجة لاحقة في أوتوكلاف يحتوي على CO2 وبخار ماء دون تحديد طرق مثلى لتوصيل الماء أثناء التفاعل الذي يحافظ على قيمة DPS عند تلك النسب الأقل من 100%. يؤثر التحكم في تركيز الماء وطريقة توصيله في الصورة الأولية المسامية أثناء LTS بشكل ملحوظ في حركيات الكربنة. لتوضيح ذلك ومفهوم تنفيذ مفاهيم DPS للحصول على ظروف تفاعلية محسنة وناتج تفاعل محسن (تفاعل جزء كبير)، تم تفاعل العينات في حاوية مصنوعة من طبقة Gore-TexTM ذات مسام دقيقة. تسمح فقط Gore-TexTM بحركة أنواع بخار الماء إلى ومن العينة في هواء جوي مشبع بالماء حيث يتم تثبيت نشاط CO2 في ضغط 2.36 جوي ودرجة حرارة 90 درجة مئوية. تستقر مجموعة من الماء أسفل العينة لتشبع الهواء الجوي ويوجد بشكل مشترك مع بخار الماء في تفاعل طوال فترة التفاعل الزمنية. بالتالي، يتم تثبيت محتوى الماء المختار في الكتلة المسامية بواسطة معادلة بخار الماء ولا يحدث التبخير في الكتلة المسامية. بدلًا من ذلك، تعيد الكتلة المسامية توزيع الماء في الكتلة بشكل متجانس باستخدام تدفق شعري مع عدم وجود فقد بالكتلة. لتفاعلات من 19 ساعة، [عندما تتم زيادة DPS من 0 إلى 60 بالحجم%.]، تتنوع درجة الكربنة من 31.3 مول% إلى مستوى أقصى من 49.6 مول% لأبعد من هذه القيمة، تنخفض درجة الكربنة إلى 35.6 مول% عندما يتم تزايد DPS إلى 80% وإلى 3.8 مول% عندما يكون DPS بمقدار 100%. توضح هذه البيانات أن المقادير المثلى من الماء السائل في المسام تسرع من ناتج التفاعل ومعدله لأنه من الضروري تأين كل من أنواع حمض الكربونيك والكالسيوم. مع ذلك، تحتاج مستويات المادة المرتشحة إلى أن تكون منخفضة بشكل منخفض بحيث أن غاز CO2 يمكن أن يتشتت في الكتلة المسامية بواسطة التشتت الغازي قبل الذوبان والتشتت في مسام محصورة في طور الماء إلى السطح البيني من المادة الصلبة/السائل بالكتلة المسامية. يتم توضيح كل ذلك بشكل تخطيطي في الشكل 9.

بالرجوع إلى شكل 9، يكون توزيع حجم الجسيمات هو أحادي التشتيت، بينما في كثير من الحالات العملية يكون حجم الجسيمات متعدد الوزن الجزيئي ويمكن أن تعتمد تعبئة الجسيمات على مجموعة واسعة من التكوينات التي تتضمن هياكل هرمية حيث تتكرر تكوينات التعبئة في كل

مستوى هرمي أو تتغير في كل مستوى. يمكن أيضًا أن يكون لهيكل التعبئة ترتيب طويل المدى أو ترتيب قصير المدى أو اعتماد مستوى عشوائي من الترتيب في كل مقياس طول، سواء كان مقياس الطول صغيرًا أو متوسطًا أو كبيرًا. بدلًا من ذلك، قد يستمر الطلب قصير المدى فقط على مقياس طول صغير وعشوائي على المقاييس الطولية المتوسطة والكبيرة. من الممكن أيضًا أن تعبأ الجسيمات بمقياس ترتيب عشوائي على مقياس الطول القصير، ولكن بعد ذلك يمكن توزيع هذه المناطق ذات الترتيب العشوائي بشكل دوري على مقياس الطول الكبير. من هذه الأمثلة، من الواضح أن الجسيمات يمكن أن تعبأ في العديد من التكوينات المختلفة وتكون التباديل غير محدود تقريبًا. وبالتالي، ليس هناك غرض لتحديد جميع الاحتمالات. بقبول أن التباديل غير محدود تقريبًا، من المتصور أن كثافة التعبئة يمكن أن تختلف من قيمة صغيرة قد تصل إلى 99 بالحجم% مع تعبئة هرمية مرتبة تتكرر بمقاييس الطول الكبيرة والمتوسطة والصغيرة. وبصورة بديلة، يمكن أن تكون كثافة التعبئة منخفضة بنسبة 0.04 بالحجم % عندما تكون بنية التعبئة مميزة للإيروجيل، مع تعبئة كسيرية أو شجيرية في جسيم أو بوليمر غير عضوي في المصفوفة المسامية.

بالنظر إلى أن كثافة التعبئة يمكن أن تختلف على نطاق واسع، فإن كمية الماء اللازمة لتشبع المسام بـ 99 بالحجم % هي كمية صغيرة جدًا من الماء في حين أن الكمية المطلوبة لتشبع المسام بـ 0.04 بالحجم % هي كمية كبيرة جدًا. وبالتالي، إذا كان الشرط هو الحفاظ على مسامية مفتوحة لتمكين تفاعل سريع بين الطور الغازي والماء والطور الصلب، ومن المتصور لواحد من ذوي المهارة العادية أن الكمية المثلى من الماء لتمكين تفاعل سريع سوف تكون مختلفة لكل نظام.

على الرغم من أنه من المفيد معرفة مقدار المسامية في النظام، إلا أن كمية الماء المطلوبة تعتمد أيضًا على أحجام المسام، وأشكال المسام، وتعرج المسام وما إذا كان أي من المسام يحدث لتكون مغلقة المسام. لن توفر المسام المغلقة مواقع تفاعلية للمحلول المرتشح ما لم يتم تحويله إلى مسام مفتوحة بواسطة التفاعل اللاحق الذي يذيب أجزاء كبيرة من المصفوفة المسامية. بالإضافة إلى ذلك، تفترض المناقشة أعلاه أن البنية المسامية تكون موحدة. ومع ذلك، إذا كانت بنية المسام غير موحدة، فإن التركيز الأمثل للماء يعتمد على منطقة البنية غير المتجانسة المشبعة بالماء. ومع ذلك، وبالنظر إلى نظام يحتوي على مسام متعدد الوزن الجزيئي، من المتصور أن المحلول المرتشح يمكن أن يملأ المسام الصغيرة تمامًا مع الحفاظ على المسام الكبيرة المملوءة جزئيًا. يكون

مثل هذا الموقف مقبول، شريطة أن تكون المسام المفتوحة على مقربة من تلك المملوءة. لا يمكن تحديد المسافة بالضبط للقرب بدقة لأن المسافة تعتمد على درجة حرارة وضغط وتكوين الغاز، ومحلول الترشح، والمصفوفة المسامية.

توضح المناقشة أعلاه أنه من المستحيل تحديد كمية دقيقة من الماء (على سبيل المثال، المذيب) المطلوبة لتحسين سرعة التفاعل بسبب الطرق غير المحدودة التي يمكن وصف المسامية بها. وبالتالي يمكن أن تكون التركيزات المثلى للماء 1 بالحجم% (درجة تشبع المسام degree of pore saturation (DPS) = 20%) عندما تكون كثافة التعبئة 95 بالحجم % لكن يمكن أن تكون 24 بالحجم % (DPS = 63%) عندما تكون كثافة التغليف 62 بالحجم %. من المتصور أن تكون طرق التنبؤ بالمسامية الصحيحة ممكنة مع معرفة تفصيلية بالمسامية، وتوزيع حجم المسام، وشكل المسام، والتعرج، وكسر المسام المفتوحة والمغلقة في المصفوفة وتجانس الأنواع أو المسام المختلفة على جميع المقاييس الطولية للهدف الذي يتم تفاعله. وبالتالي، يتمثل أحد الجوانب المهمة في هذا الاختراع في التعرف على أن تركيز الماء الأمثل يمكن أن يختلف في الواقع على مدى واسع جدًا من تركيز الماء كلما كان من المهم أن ينتقل الغاز أو ينتشر في بنية مسام، ويذوب ويتفاعل مع المذيب وبعد ذلك تتفاعل مع المصفوفة المسامية.

تتمثل نقطة هامة أخرى في هذا الاختراع في التعرف على أن هناك طرقًا مختلفة لتوزيع الماء في المصفوفة المسامية، كما هو مذكور في هذه المواصفة. على سبيل المثال، إذا كان الجزء المضغوط المشبع بالكامل مشبعًا بالماء، فيمكن استخدام التجفيف لإنشاء مسام مفتوحة. ومع ذلك، فإن المسام في هذه البنية تكون لها قيم DPS مختلفة أثناء التحرك من السطح الخارجي إلى الجسم الداخلي من المصفوفة المسامية. في السطح الخارجي، لن تحتوي المسام على أي ماء ولكن أثناء تحركك إلى الداخل داخل البنية، تمتلئ المسام جزئيًا وأنت تتحرك كذلك إلى البنية وتمتلئ المسلم تمامًا. تكون للبنية المذكورة تدرج كبير في قيمة DPS، وبالتالي، فإن معدل التفاعل في البنية المذكورة سوف يختلف من خارج البنية نحو داخل البنية، على افتراض أن بنية DPS التدرجية تظل ثابتة. ومع ذلك، يتم إيقاف خطوة التجفيف على الفور ويتم ضبط الرطوبة النسبية وفقًا لقيمة التوازن بحيث يتوقف فقدان الماء من المصفوفة المسامية، وسوف تؤدي الشعرية إلى دفع المسام المملوءة إلى التفريغ في تلك المملوءة جزئيًا وستملأ المسام المملوءة جزئيًا المسام الفارغة حيث

ستكون للبنية بأكملها توزيع أكثر تجانسًا للماء. يعد مثل هذا الموقف هو حالة لن يتفاعل فيها النظام غير المتجانس بأسرع ما يتفاعل مع النظام المتجانس نظرًا لوجود المزيد من مواقع التفاعل في الحالة المتجانسة بسبب إمكانية الوصول إلى جميع المسام. وبالتالي، يوضح هذا المثال كيف يكون توزيع الماء في المصفوفة المسامية بنفس القدر من الأهمية. وبالتالي، بالإضافة إلى طريقة إضافة مكونات محلول الترشح، (المذيبات، الأنواع التفاعلية) يعتمد التركيز الأمثل للماء أيضًا على ما إذا كانت البنية المسامية متجانسة أو غير متجانسة. وبالتالي، في أي حالة يجب فيها تحديد التركيز الأمثل للماء، يكون وصف التجانس مهمًا في تطوير فهم لسبب أن تركيزًا معينًا من الماء ينتج عنه معدل التفاعل الأسرع، وكذلك كيفية إعادة إنتاج نفس المجموعة ذاتها من الظروف في كل مرة يتم تنفيذ تفاعل التكثيف. من المهم أيضًا الإشارة إلى أنه في المواضع التي لا يتم فيها توزيع المذيب أو بعبارة أخرى، لا يتم توزيع الماء بشكل متجانس، يمكن إجراء عمليات مثل التلدين لإعادة توزيع الماء. بالنسبة للماء، من الأفضل القيام بذلك في بيئة رطوبة يتم التحكم فيها حتى لا يتبخر الماء من العينة. بدلًا من ذلك، يتدفق الماء ببساطة إلى المسام المفتوحة لموازنة القوى الشعرية للمائع بين المسام المختلفة في المصفوفة.

تعد الأشكال 10-12 هي ثلاثة أمثلة على كيف أن تفاعلات الكربنة التي تتضمن ثاني أكسيد الكربون كطور غازي وماء سائل في البنية المسامية تُظهر قيمة درجة تشبع المسام degree of pore saturation (DPS) المثلى لزيادة درجة الكربنة في رابط CaSiO3 معين.

يستخدم g-rHLPD مساحة مسام مرشحة جزئيًا وذلك لتمكين الانتشار الغازي من الترشح السريع للتشكيل المسامي وتشبع أغشية المذيبات السائلة الرقيقة السائلة في المسام باستخدام CO2 مذاب. تكون للأنواع القائمة على CO2 قابلية ذوبان منخفضة في الماء النقي (1.5 جم / لتر عند 25 درجة مئوية، 1 جوي). وبالتالي، يجب تزويد كمية كبيرة من CO2 وتوزيعها بشكل مستمر عبر التشكيل المسامي لتمكين تحويل كبير للكربونات. يوفر استخدام نشر الطور الغازي زيادة بمقدار 100 مرة في طول مسار الانتشار عبر CO.sub.2 القابل للذوبان في الوقت المكافئ في الطور السائل. تم تحضير مصفوفات مسامية ولاستونيت بكثافة حجمية حوالي 1.88 جم / سم مكعب، عن طريق الضغط الرطب. بواسطة الترشح الجزئي لهذه المصفوفة، يمكن أن يتابع التفاعل إلى درجة عالية من الكربنة في فترة زمنية محددة. على سبيل المثال، في حالة الترشح الجزئي، يمكن

تحقيق تحويل 47.5 ± 2.7 مول٪ من $CaSiO_3$ إلى $CaCO_3$ و$SiO_2$ في حوالي 19 ساعة عند درجة حرارة 90 درجة مئوية وضغط قدره 2.36 جوي. إذا تم الحفاظ على كل ظروف التفاعل ذاتها باستثناء أن المسام تكون مملوءة بالكامل بالماء، ينتج تحويل كربونات أقل بكثير، 3.8 ± 0.5 مول%.

لتوضيح ذلك ومفهوم تنفيذ مفاهيم درجة تشبع المسام degree of pore saturation (DPS) لإيجاد ظروف للتفاعل المحسّن وإنتاجية التفاعل (تفاعل عالي الكسر)، تم تفاعل العينات في حاوية مصنوعة من طبقة Gore-TexTM الصغيرة المسامية. يسمح Gore-TexTM فقط لأنواع بخار الماء من وإلى العينة في جو مشبع بالماء حيث يكون نشاط $CO_2$ ثابتًا عند ضغط 2.36 جوي ودرجة حرارة 90 درجة مئوية. وتضاف بركة من الماء أسفل العينة لتشبع الغلاف الجوي والتعايش مع بخار الماء في التفاعل طوال مدة التفاعل. وبالتالي، يتم إصلاح محتوى الماء المختار في المصفوفة المسامية بواسطة بخار الماء المتوازن ولا يحدث أي تبخر في المصفوفة المسامية. بدلًا من ذلك، تقوم المصفوفة المسامية بإعادة توزيع الماء في المصفوفة بشكل متجانس باستخدام التدفق الشعري دون فقدان الكتلة. تم تحضير مصفوفة مسامية ذات كثافة حجمية من 1.83-1.86 جم / سم مكعب باستخدام طريقة الضغط الرطب. بالنسبة إلى تفاعلات 19 ساعة، [عند زيادة DPS من صفر إلى 60 بالحجم %.]، تتراوح درجة الكربنة من 31.3 مول% إلى مستوى أقصى 49.6 مول% بعد هذه القيمة، تنخفض درجة الكربنة إلى 35.6 مول% عندما يتم زيادة DPS إلى 80 ٪ وإلى 3.8 مول ٪ عندما تكون DPS هي 100%. يتم رسم هذه البيانات في شكل 10. توضح هذه البيانات أن الكميات المثلى من مذيب الماء السائل عند DPS تبلغ 60 بالحجم% في المسام تزيد من ناتج التفاعل لعملية 19 ساعة.

يمثل الشكل 10 مثال أول على تفاعلات الكربنة التي تتضمن $CO_2$ كطور غازي وماء سائل في البنية المسامية.

يمثل الشكل 11 مثال ثاني على تفاعلات الكربنة التي تتضمن $CO_2$ كطور غازي وماء سائل في البنية المسامية: تركيبة Carmel Quartz، 8 × 8 × 1.5" تفاعل صب اهتزازي، تفاعل 90 مئوية، 0.14 ميجا باسكال بالمقياس.

يمثل الشكل 12 مثال ثالث على تفاعلات الكربنة التي تتضمن $CO_2$ كطور غازي وماء سائل في البنية المسامية: التركيبة 1-2-3، حجم العينة 8 × 8 × 2 " تفاعل عند 90 مئوية 0.14 ميجا باسكال بالمقياس، عند حوالي 90% من الرطوبة النسبية relative humidity (حوالي 90 ٪ RH).

في كل من هذه الرسوم البيانية، اختلفت الأنظمة عن بعضها البعض من حيث أن الحجم العينة، والشكل، ولاستونيت التفاعلي، وزمن التفاعل، ودرجة حرارة التفاعل، والرطوبة النسبية وتصميم المفاعل جميعها تختلف، بعد كل نظام كان متسقًا داخل نفسه لإظهار التركيز الأمثل حيث تم تحسين النقل الكتلي ومعدل التفاعل لتعظيم كمية الكربونات المتكونة. تباينت قيمة DPS المثلى بين 20 إلى 60 بالحجم %. في هذه الحالات، يكون لجميع المصفوفات المسامية كثافة نسبية تبلغ حوالي 60 ٪. وبالتالي، إذا كانت المصفوفة المسامية أقل أو أكثر كثافة إلى حدٍ كبير، فقد تكون هذه المجموعة من القيم أكبر، على افتراض أن حجم المسام والتعرج يكون هو ذات. إذا كان حجم المسام والتعرج مختلفين، فقد تختلف القيمة على مدى أوسع. وبالتالي، فإن الخطوة الرئيسية في تحسين درجة الكربنة ومعدل الكربنة هي إدراك قيمة DPS المثلى لأي طريقة معينة لتوصيل الماء. إن معرفة هذه القيمة ستمكّن من تحديد الظروف المثالية لتقليل مقدار وقت التفاعل وكذلك تبلور طور أكثر ارتباطًا بواسطة تفاعل تلبيد الطور السائل الحراري.

يمكن إجراء تحسين إضافي للاختراع عندما يتم نقل أنواع الغاز ميكانيكيًا عن طريق استخدام تدرج ضغط عبر المصفوفة المسامية. إذا كان الغاز نوعًا تفاعليًا، يمكن أن تتدفق المسام المملوءة بمائع المذيب من المسام تاركة وراءها طبقة من المذيبات على المسام التي يمكن أن تمتص غاز الأنواع التفاعلية. بصورة بديلة، سوف تسمح المسام المملوءة جزئيًا بتدفق الغاز عبر المسام حيث يمتص المذيب جزءًا من الغاز الذي يتدفق عبره.

يجب أن تستخدم الطريقة المفضلة درجات حرارة منخفضة وضغوط منخفضة لتمكين تطوير عمليات منخفضة التكلفة. وبالتالي، فإن العمليات التي تحتفظ بجزء صغير من المذيبات في المسام لتسهيل الانتشار الغازي للأنواع التفاعلية تكون مفضلة على تلك التي تستخدم الموائع الساكنة للتفاعلات حيث يكون جزء كبير من المنتج مرغوبا فيه. إذا لم تكن المواد المُنتِجة الغازية متوفرة،

فإن الطرق التي تنقل ميكانيكيًا مائع الترشيح بسرعة عبر المصفوفة المسامية تكون هي طريقة بديلة قابلة للتطبيق.

أمثلة تشغيل غير محدودة

المثال أ

النقل الخارجي بواسطة بخار الماء

أ1 الخلط

تم جمع أحد عشر كيلوجرامًا ومائة وسبعة عشر جراماً NYAD 400، و20.39 كجم من رمل البناء، و16.76 كجم من إجمالي 1.0 سم ، و16.76 كجم من إجمالي رقم 67 في دِلاء منفصلة. بعد ذلك، تم تحضير ماء دفعي عن طريق خلط 4.9 كيلوجرام من الماء منزوع الأيونات، و55 مل من الجنيوم، و8 جرام من صمغ ويلان. تم تحميل كتلة رقم 67 و4/1" في خلاط مارشال لسحب للخرسانة وتم صب تقريباً 4/1 من محلول الماء الدفعي على الكتلة. تم بدء تشغيل الخلاط وتشغيله بأقصى سرعة لمدة دقيقة واحدة. مع تشغيل الخلاط، تم سكب رمل البناء. وبعد دقيقة واحدة أخرى من الخلط تمت إضافة NYAD400 مباشرة إلى الخلاط أثناء تشغيله. تم تشغيل الخلاط لمدة دقيقة إضافية، ثم تمت إضافة المياه المتبقية في الخليط مباشرة أثناء تشغيل الخلاط. ثم تم خلط الدُفعة لمدة دقيقتين وتم إيقاف الخلاط. تم كشط جانبي الخلاط بسكين معجون لإزالة المادة العالقة. تم تشغيل الخلاط مرة أخرى وتشغيله بأقصى سرعة لمدة 3 دقائق إضافية. تم إيقاف تشغيل الخلاط وصب الخليط في دلاء سعة 5 جالونات.

أ2 الصب

تم تشحيم القوالب على قدم واحدة بنسبة 1' على 6" عن طريق رش WD-40 على قطعة قماش ومسح السطح الداخلي لقالب نظيف سفلي. باستخدام مقياس الجدول، تم تسجيل وزن القالب. تم وضع القالب المشحم على طاولة الاهتزاز Vibco. تمت إزالة الخليط من القادوس باستخدام مسطرين، أو مغرفة، أو باليد وتملأ القوالب حوالي 4/1 من الطريق. ثم تم هز القالب على 60%

من الطاقة لمدة دقيقة تقريبًا أو حتى تشكل الخليط على القالب. تكررت العملية حتى امتلأ القالب إلى الحافة. تم تسجيل وزن نهائي على العينات قبل تخزينها في منطقة لتجف بالهواء طوال الليل

أ3 التجفيف

عينات مجففة بالهواء طوال الليل. بعد 24 ساعة من التجفيف بالهواء، توضع العينات في فرن عند 90 درجة مئوية. بعد 24 ساعة عند 90 درجة مئوية، العينات المزالة ومفكوكة القالب. تم إعادة العينات إلى الفرن لمدة 48 ساعة إضافية حتى تجف تمامًا قبل التفاعل.

أ4 التفاعل

يعد الأوتوكلاف المستخدم لتصلب (تفاعل) العينات عبارة عن وحدة من الصلب غير القابل للصدأ، وحدة بخار أفقية، غير مباشرة يبلغ قطرها 7 وطول 12 قدمًا. تم تحميل العينات في الأوتوكلاف الذي تم تسخينه مسبقًا عند 90 درجة مئوية. بعد إغلاق باب الأوتوكلاف، تم إخلاؤه إلى – 0.1 ميجا باسكال بالمقياس في 15 دقيقة. تمت إعادة ملء الأوتوكلاف بغاز ثاني أكسيد الكربون المسخن والبخار عند 147.5 درجة مئوية. لتوفير حرارة إضافية للعينات ومراعاة فقدان الحرارة الذي حدث أثناء تحميل العينة وتمدد الغازات. بمجرد وصول الضغط في الأوتوكلاف إلى صفر ميجا باسكال بالمقياس، بدء تشغيل مروحة الأوتوكلاف عند 4900 دورة في الدقيقة. تم إيقاف $CO_2$ عندما وصل الضغط الكلي إلى 0.07 ميجا باسكال بالمقياس. تم ضبط درجة حرارة الأوتوكلاف على 90 درجة مئوية وتم تدوير الماء الساخن عند 95 درجة مئوية في أسفل الأوتوكلاف للحفاظ على الوحدة مشبعة ببخار الماء. تم السماح للنظام بالتوازن لمدة 45 دقيقة إلى ساعة واحدة (إجمالي يصل إلى حوالي 0.11 ميجا باسكال بالمقياس)، ثم تم زيادة ضغط الأوتوكلاف إلى 0.14 ميجا باسكال عن طريق الملء بغاز ثاني أكسيد الكربون المسخن فقط. تم تصلب العينات لمدة 19 ساعة.

تم تجفيف العينات المتفاعلة في فرن تجفيف عند 90 درجة مئوية حتى لم يكن هناك مزيد من فقدان الوزن. تم حساب مدى التفاعل بناءً على زيادة الوزن أثناء التفاعل. وكان متوسط مدى التفاعل 35%.

مثال ب

تجفيف جزئي داخلي

ب1 الخلط

تم جمع أحد عشر كيلوجرامًا ومائة وسبعة عشر جراماً NYAD 400، و20.39 كجم من رمل البناء، و16.76 كجم من إجمالي 1.0 سم ، و16.76 كجم من إجمالي رقم 67 في دِلاء منفصلة. بعد ذلك تم تحضير ماء دفعي عن طريق خلط 4.9 كيلوجرام من الماء منزوع الأيونات، و55 مل من الجلينيوم، و8 جرام من صمغ ويلان. تم تحميل كتلة رقم 67 و4/1" في خلاط مارشال لسحب للخرسانة وتم صب تقريباً 4/1 من محلول الماء الدفعي على الكتلة. تم بدء تشغيل الخلاط وتشغيله بأقصى سرعة لمدة دقيقة واحدة. مع تشغيل الخلاط، تم سكب رمل البناء. وبعد دقيقة واحدة أخرى من الخلط تمت إضافة NYAD400 مباشرة إلى الخلاط أثناء تشغيله. تم تشغيل الخلاط لمدة دقيقة إضافية، ثم تمت إضافة المياه المتبقية في الخليط مباشرة أثناء تشغيل الخلاط. ثم تم خلط الدُفعة لمدة دقيقتين وتم إيقاف الخلاط. تم كشط جانبي الخلاط بسكين معجون لإزالة المادة العالقة. تم تشغيل الخلاط مرة أخرى وتشغيله بأقصى سرعة لمدة 3 دقائق إضافية. تم إيقاف تشغيل الخلاط وصب الخليط في دلاء سعة 5 جالونات.

ب2 الصب

تم التشحيم على قدم واحدة بنسبة 1' على 6" عن طريق رش WD-40 على قطعة قماش ومسح السطح الداخلي لقالب نظيف سفلي. باستخدام مقياس الجدول، تم تسجيل وزن القالب. تم وضع القالب المشحم على طاولة الاهتزاز Vibco. تمت إزالة الخليط من القادوس باستخدام مسطرين، أو مغرفة، أو باليد وتملأ القوالب حوالي 4/1 من الطريق. ثم تم هز القالب على 60% من الطاقة لمدة دقيقة تقريبًا أو حتى تشكل الخليط على القالب. تكررت العملية حتى امتلأ القالب إلى الحافة. تم تسجيل وزن نهائي على العينات قبل تخزينها في منطقة لتجف بالهواء طوال الليل

ب3 التجفيف

عينات مجففة بالهواء طوال الليل. بعد 24 ساعة من التجفيف بالهواء، توضع العينات في فرن عند 90 درجة مئوية. بعد 24 ساعة عند 90 درجة مئوية، العينات المزالة ومفكوكة القالب.

وضعت العينات مرة أخرى في الفرن حتى تم تجفيف العينات إلى 2.2% بالوزن من الماء المتبقي.

ب4 التفاعل

يعد الأوتوكلاف المستخدم لتصلب العينات عبارة عن وحدة من الصلب غير القابل للصدأ، وحدة بخار أفقية، غير مباشرة يبلغ قطرها 7 وطول 12 قدمًا. تم تحميل العينات في الأوتوكلاف الذي تم تسخينه مسبقًا عند 90 درجة مئوية. بعد إغلاق باب الأوتوكلاف، تمت إعادة ملء الأوتوكلاف بغاز ثاني أكسيد الكربون المسخن والبخار عند 147.5 درجة مئوية. لتوفير حرارة إضافية للعينات ومراعاة فقدان الحرارة الذي حدث أثناء تحميل العينة وتمدد الغازات. بدء تشغيل مروحة الأوتوكلاف عند 4900 دورة في الدقيقة. تم إيقاف ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide ($CO_2$) عندما وصل الضغط الكلي إلى 0.07 ميجا باسكال بالمقياس. تم ضبط درجة حرارة الأوتوكلاف على 90 درجة مئوية وتم تدوير الماء الساخن عند 95 درجة مئوية في أسفل الأوتوكلاف للحفاظ على الوحدة مشبعة ببخار الماء. تم السماح للنظام بالتوازن لمدة 45 دقيقة إلى ساعة واحدة (إجمالي يصل إلى حوالي 0.11 ميجا باسكال بالمقياس)، ثم تم زيادة ضغط الأوتوكلاف إلى 0.14 ميجا باسكال عن طريق الملء بغاز ثاني أكسيد الكربون المسخن فقط. تم تصلب العينات لمدة 19 ساعة.

تم تجفيف العينات المتفاعلة في فرن تجفيف عند 90 درجة مئوية حتى لم يكن هناك مزيد من فقدان الوزن. تم حساب مدى التفاعل بناءً على زيادة الوزن أثناء التفاعل. وكان متوسط مدى التفاعل 53%.

في بعض النماذج، يشتمل الحمل الحراري ميكانيكيًا على واحد من التدفق المضغوط، والتدفق الكهربائي التناضحي الشعري، والتدفق المغنطيسي التناضحي، والتدفق المدفوع بالحرارة والتدرج الكيميائي.

في بعض النماذج، يكون للجسم الخزفي أحادي الليثية درجة من قيمة تشبع المسام من حوالي 15% إلى حوالي 70%.

التعريفات

يجب أن تفهم أي إشارة في عناصر الحماية إلى إشارة إلكترونية أو إشارة كهرومغناطيسية (أو ما يعادلها) أنها في نموذج مفضل، تكون الإشارة إشارة إلكترونية غير انتقالية أو إشارة كهرومغناطيسية غير انتقالية. إذا لم ترد الإشارة لذلك في حد ذاتها، فقد تكون الإشارة في بعض الحالات لوصف إشارة إلكترونية منتشرة أو مؤقتة أو إشارة كهرومغناطيسية.

5 المناقشة النظرية

على الرغم من أنه يعتقد أن الوصف النظري الوارد هنا صحيح، فإن تشغيل الأجهزة الموصوفة والمطلوب حمايتها هنا لا يعتمد على دقة أو صحة الوصف النظري. أي أن التطورات النظرية اللاحقة التي قد تفسر النتائج المرصودة على أساس يختلف عن النظرية المقدمة هنا لن تنتقص من الاختراعات الموصوفة هنا.

10 يتم تضمين أي براءة اختراع أو طلب براءة أو منشور طلب براءة أو مقال في دورية أو كتاب أو ورقة منشورة أو غيرها من المواد المتاحة للجمهور المحددة في المواصفات بموجب المرجع هنا في مجملها. أي مادة، أو جزء منها، يقال إنه تم دمجها كمرجع هنا، ولكن تتعارض مع التعاريف أو البيانات أو غيرها من مواد الكشف الحالية المنصوص عليها صراحةً في هذه الوثيقة فقط إلى الحد الذي لا ينشأ فيه أي تعارض بين تلك المادة المدمجة ومادة الكشف الحالية. في حالة وجود 15 تعارض، يجب حل النزاع لصالح الكشف الحالي باعتباره الكشف المفضل.

بينما تم عرض الاختراع الحالي بشكل خاص ووصفه بالرجوع إلى الوضع المفضل كما هو موضح في الرسم، فسيتم فهمه بواسطة شخص ماهر في المجال أي قد تتأثر التغييرات المختلفة بالتفصيل فيه دون الخروج عن روح ونطاق الاختراع كما هو محدد بواسطة عناصر الحماية.

## عناصر الحماية

1- جهاز لتصلب apparatus curing المواد التي تتصلب عند التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) ، يشتمل على:

غرفة تصلب curing chamber مصممة لتحتوي على مادة والتي تستهلك ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) في صورة مادة كاشفة، لا تتصلب المادة المذكورة في غياب ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) أثناء التصلب، لا تتصلب المادة المذكورة في وجود الماء بمفرده، ولا تستهلك المادة المذكورة الماء أثناء التصلب، يكون بغرفة التصلب curing chamber المذكورة منفذ مصمم للسماح بإدخال المادة المذكورة في غرفة التصلب المذكورة وإزالتها من غرفة التصلب المذكورة، ولها غالق للمنفذ المذكور، يتم تصميم الغالق المذكور لتوفير مانع تسرب للهواء الجوي عند غلقه بحيث يتم منع تلوث غاز موجود في غرفة التصلب المذكورة بواسطة الغاز خارج غرفة التصلب المذكورة؛

مصدر ثاني أكسيد الكربون أو الهواء مصمم لتوفير ثاني أكسيد كربون غازي gaseous carbon dioxide أو هواء إلى غرفة التصلب المذكورة بواسطة منفذ دخول غاز في غرفة التصلب المذكورة، يكون للمصدر المذكور لثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide أو الهواء وسيلة تنظيم تدفق مصممة للتحكم في معدل تدفق لثاني أكسيد الكربون الغازي gaseous carbon dioxide المذكور أو الهواء المذكور في غرفة التصلب المذكورة؛

نظام فرعي لتدفق الغاز مصمم لتدوير ثاني أكسيد الكربون الغازي gaseous carbon dioxide أو الهواء المذكور من خلال غرفة التصلب curing chamber المذكورة؛

نظام فرعي للتحكم في درجة الحرارة مصمم للتحكم في درجة حرارة الغاز المذكور داخل الغرفة المذكورة؛

نظام فرعي subsystem للتحكم في الرطوبة humidity control مصمم للتحكم في رطوبة في الغاز المذكور داخل الغرفة المذكورة؛ و

أداة تحكم في اتصال مع المصدر المذكور لثاني أكسيد الكربون، النظام الفرعي subsystem لتدفق الغاز المذكور، النظام الفرعي للتحكم في درجة الحرارة المذكور، والنظام الفرعي subsystem للتحكم في الرطوبة humidity control المذكور،

أداة التحكم المذكورة مصممة للتحكم بشكل مستقل في واحد من معدل التدفق المذكور للغاز المذكور داخل الغرفة، الدوران المذكور للغاز المذكور من خلال غرفة التصلب curing chamber المذكورة، درجة الحرارة المذكورة للغاز المذكور، والرطوبة المذكورة في الغاز المذكور، أداة التحكم controller المذكورة المصممة لتوفير زمن احتجاز في طور تجفيف drying phase أول (الطور 1)، حيث يتم تصميم زمن احتجاز في طور التجفيف drying phase الأول المذكور ليتم تقليصه، ويتم تصميم أداة التحكم controller المذكورة للانتقال من طور التجفيف drying phase الأول المذكور (الطور 1) إلى طور كربنة carbonation phase ثانٍ (الطور 2) في نهاية طور التجفيف الأول المذكور (الطور 1)؛

حيث يتم تصميم الجهاز للكشف عن انتقال من طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في خواص كهربائية للمادة على السطح أو في كتلتها، أو بدلًا من ذلك، حيث يتم تقليل تركيز ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) أثناء طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2).

2- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم الجهاز لتعريض أولي للمادة إلى طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) في غياب ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) مضاف بشكل عمدي deliberately.

3- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم الجهاز لتعريض أولي للمادة إلى طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) في وجود ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2).

4- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث تتضمن الخاصية الكهربائية الواحدة أو الخواص الكهربائية المتعددة للمادة واحدة من مقاومية سطح، surface resistivity مقاومية حجمية volume resistivity ، موصلية conductivity ، معاوقة impedance ، مهايئة capacitance ، ثابت عزل كهربائي dielectric constant ، شدة عزل كهربائي dielectric

strength ، سماحية permittivity ، ثابت كهرومغناطيسي piezoelectric constant ، ومعامل Seebeck.

5- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في الكمية من الماء التي تمت إزالتها من المادة.

6- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في واحد من تركيز ثاني أكسيد الكربون (CO2) Carbon Dioxide وتركيز الاكسجين oxygen في الغاز الدوار في الغرفة.

7- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في درجة حرارة المادة.

8- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم الجهاز لقياس، تتبع والتحكم في الضغط داخل الغرفة طوال العملية في أي من طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) وطور التصلب curing phase الثاني (الطور 2).

9- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم الجهاز للكشف عن الانتقال من طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) إلى طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) بواسطة الكشف عن تغير في الرقم الهيدروجيني pH للمادة.

10- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يشتمل النظام الفرعي subsystem للتحكم في درجة الحرارة كذلك على مصدر طاقة energy source مهيأ لتسخين واحد من الغاز والمادة.

11- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 10، حيث يتم تصميم مصدر الطاقة energy source للتحكم في زمن الاحتجاز في واحد من طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) وطور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2).

12- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 10، حيث يتم تصميم مصدر الطاقة energy source المذكور ليستخدم احتراق وقود حفري fossil fuel.

13- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 10، حيث يتم تصميم مصدر الطاقة energy source المذكور ليستخدم تسخين مقاومة كهربائية electrical resistance heating .

14- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 10، حيث يتم تصميم مصدر الطاقة energy source المذكور ليستخدم تسخين بعزل كهربائي dielectric heating.

15- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 10، حيث يتم تصميم مصدر الطاقة energy source المذكور ليستخدم مصدر حراري إشعاعي radiation heat source.

16- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم النظام الفرعي subsystem للتحكم في الرطوبة humidity control للتحكم في استخلاص الماء من المادة.

17- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 16، حيث يتم تصميم النظام الفرعي subsystem للتحكم في الرطوبة humidity control للتحكم في استخلاص الماء باستخدام مجفف desiccant.

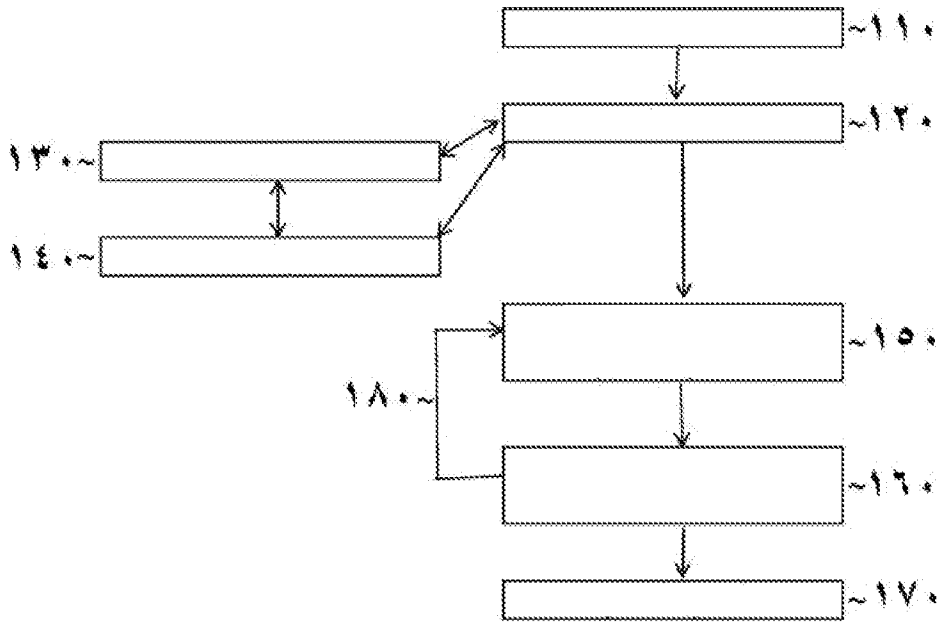
18- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 16، حيث يتم تصميم النظام الفرعي subsystem للتحكم في الرطوبة humidity control للتحكم في استخلاص الماء باستخدام واحد من مبادل حراري heat exchanger ومبرد chiller.

19- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم النظام الفرعي subsystem لتدفق الغاز للتحكم في تدوير الغاز في الغرفة للتحكم في إزالة الماء في طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) وللتحكم في معدل التفاعل في طور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2).

20- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم النظام الفرعي subsystem لتدفق الغاز للتحكم في تدفق الغاز المجاور للمادة وسرعته.

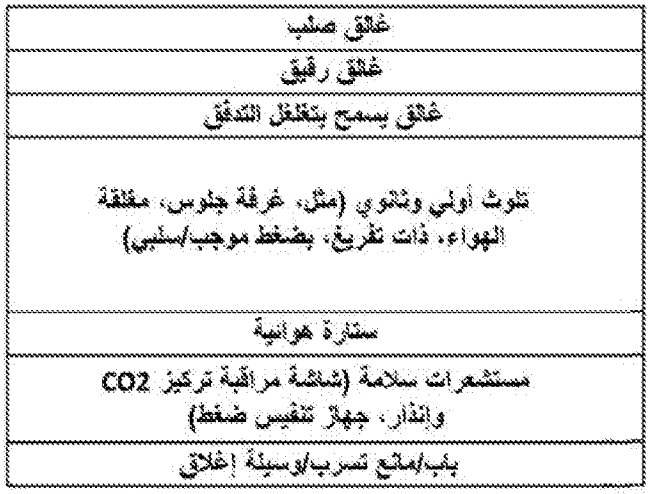
21- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يتم تصميم النظام الفرعي subsystem لتدفق الغاز للتحكم في تدفق الغاز وسرعته باستخدام نظام تدوير خارجي external circulation system.

22- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث، يتم تصميم وسيلة تنظيم تدفق الغاز لتغيير تركيز ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) أثناء طور التجفيف drying phase الأول (الطور 1) وطور الكربنة carbonation phase الثاني (الطور 2) لتضخيم فعالية استهلاك ثاني أكسيد الكربون Carbon Dioxide (CO2) أثناء عملية التصلب curing.




شكل ١أ

١٢٠ ~ الحجرة (تلوث بـ CO2)




شكل ١ب

١٣٠
مستشعرات
نماذج
درجة حرارة
رطوبة نسبية
ضغط
تركيز CO2
تركيز O2
معدل تدفق غاز
خلية تحميل (كتلة الجزء الخرساني)
خواص كهربائية
الرقم الهيدروجيني
نماذج
درجة حرارة
رطوبة نسبية
ضغط
تركيز CO2
تركيز O2
معدل تدفق غاز
مستوى سائل (مقدار من الماء المستخلص
موصلية كهربائية (للماء المستخلص)
الرقم الهيدروجيني (للماء المستخلص)
التحليل العنصري
كاميرا بالأشعة تحت الحمراء
فوق صوتي
التغذية الراجعة من مصدر التسخين

شكل ١ج

| ١٥٠ | خطوات تحضير المادة (انظر ١) | |
|---|---|---|
| التدوير | استخلاص الماء | تسخين (مصدر طاقة) |

| النماذج | النماذج | النماذج |
|---|---|---|
| دورة داخلية (مراوح داخل الغرفة) | حمل حراري طبيعي | احتراق الوقود الحفري |
| دورة خارجية (مراوح خارج الغرفة) | حمل حراري قسري | المقاومة الكهربائية |
| دورة خارجية بممر جانبي | ضاغط | الأشعة تحت الحمراء |
| منفاخ | مجفف | يتضمن التجفيف العازل للكهرباء موجة دقيقة وتردد راديوي |
| | مبادل حراري/مبرد | ليزر |

| التدوير | استخراج الماء | التسخين (مصدر الطاقة) |
|---|---|---|
| النماذج | النماذج | النماذج |
| | تفريغ | بلازما |
| | | بخار فائق الحرارة |
| | | بخار |
| | | التوصيل |
| | | مشعاع |
| | | إشعاع |
| | | مصادر الحرارة مثل منشأة توليد مشترك |

شكل ١د

شكل ١هـ

١٦٠~ خطوات تفاعل المادة (الطور ٢)

النماذج

| |
|---|
| صمامات نسبية |
| محركات متغيرة السرعة |
| وحدات تحكم منطقية قابلة للبرمجة (PLC) |
| وحدات التحكم في درجة الحرارة |
| واجهة الآلة البشرية (HMI) |
| الشبكة الخاصة الافتراضية (VPN) |
| وحدة التحكم في تدفق الكتلة |
| صمام I/P (التيار/الضغط) |
| المشفر |
| مصدر CO2 |
| صمامات المدخل |
| صمامات المخرج |

شكل ١و

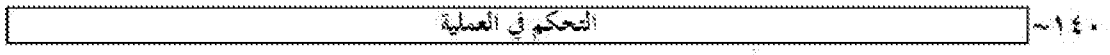
| التحكم في العملية |
| --- |

١٤٠-

معلمات الغرفة

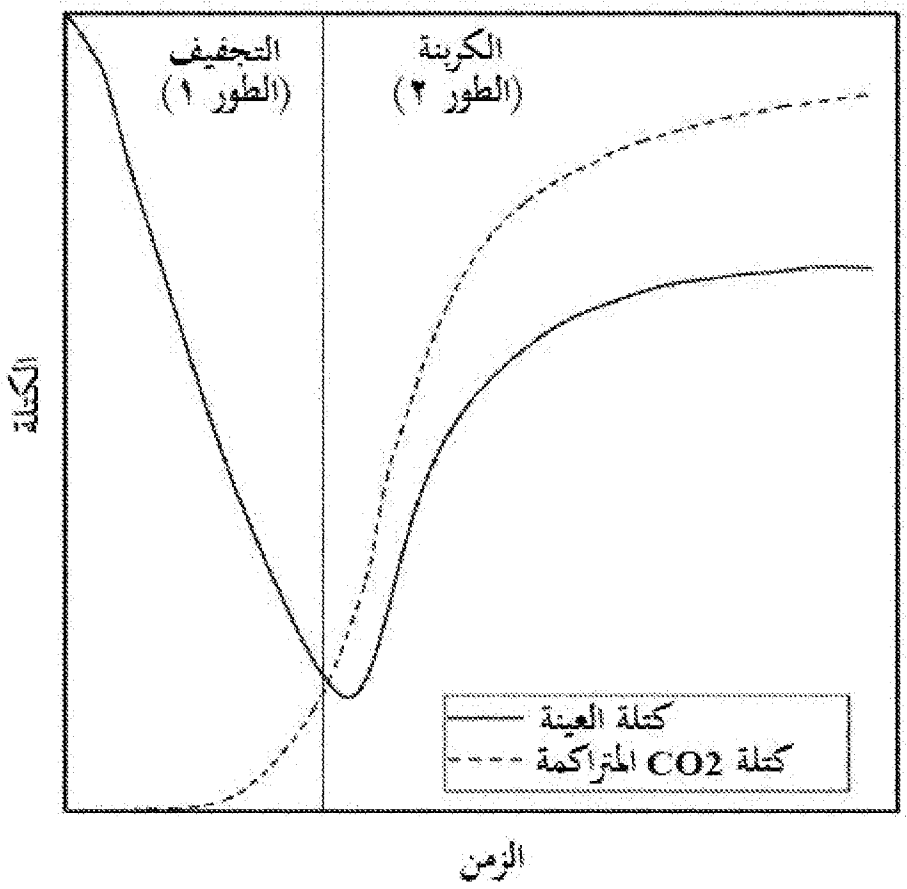
| |
| --- |
| درجة حرارة مدخل الغرفة |
| درجة حرارة مخرج الغرفة |
| الرطوبة المطلقة لمدخل الغرفة |
| الرطوبة النسبية لمدخل الغرفة |
| الرطوبة المطلقة لمخرج الغرفة |
| الرطوبة النسبية لمخرج الغرفة |
| تركيز $CO_2$ بالغرفة % |
| ضغط $CO_2$ بالغرفة |
| معدل تدفق كتلة $CO_2$ بالغرفة |
| معدل تدفق غاز الغرفة |
| معدل تدفق غاز إزالة الرطوبة |
| درجة حرارة TCU |
| نظام إدارة الموقد |
| تكثيف الماء |
| إجمالي الماء |
| موضع الباب |

شكل ١ز

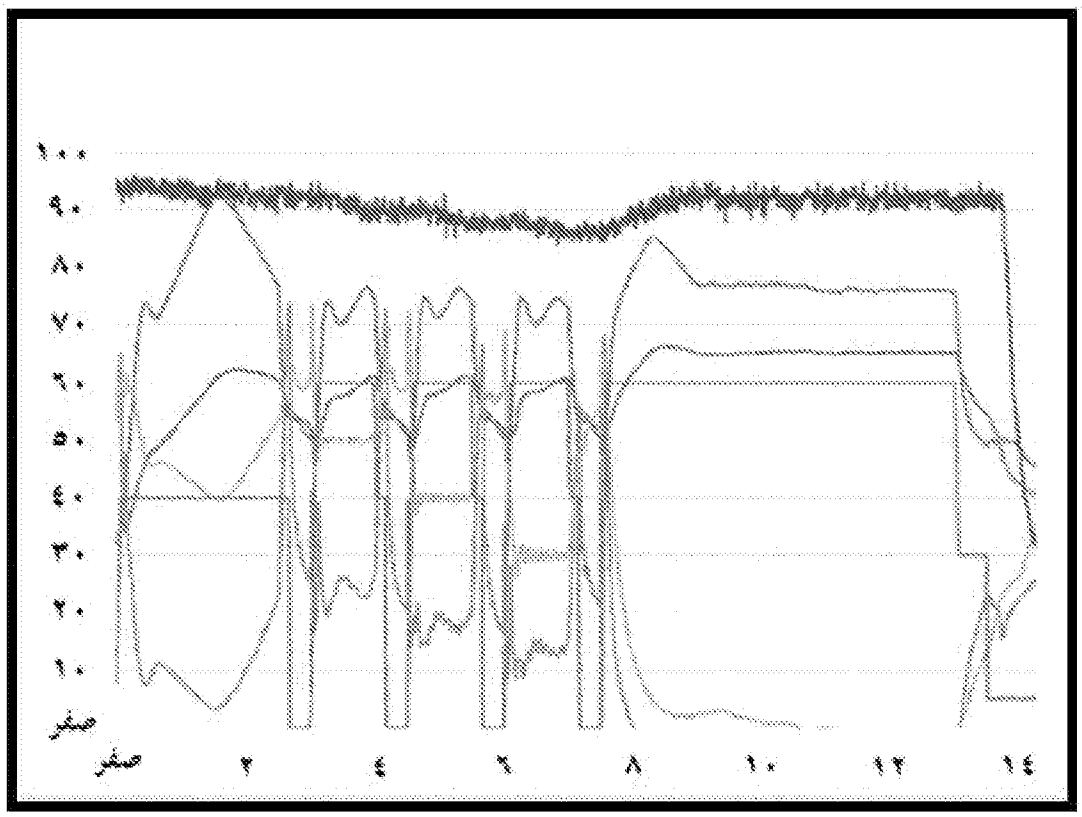



معلمات المنتج/المادة

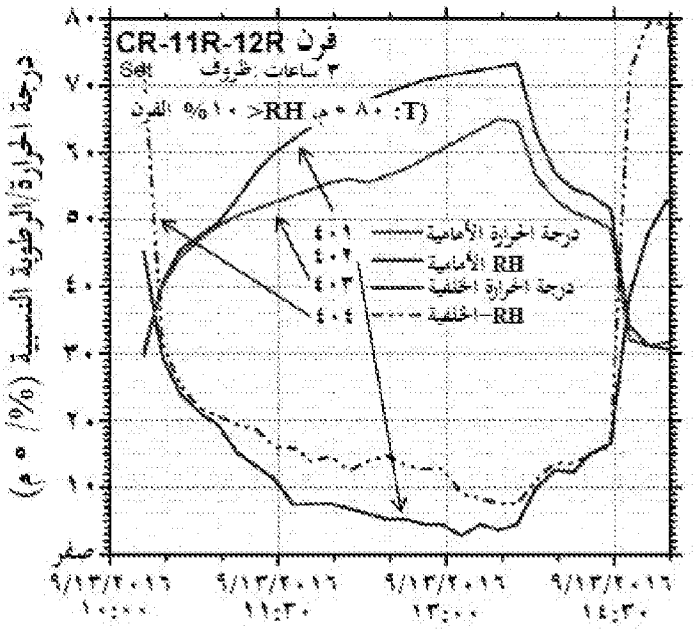
| |
|---|
| درجة حرارة المنتج المقاسة على السطح والداخل وتوزيعها أثناء العملية |
| محتوى رطوبة المنتج المقاس على السطح والداخل وتوزيعها أثناء العملية |
| كربنة المنتج على السطح، في القاع، في الداخل وتوزيعها أثناء العملية |
| التركيبة العنصرية على السطح، في القاع، في الداخل وتوزيعها أثناء العملية |
| الرقم الهيدروجيني للمنتج على السطح، في القاع، في الداخل وتوزيعه أثناء العملية |


التجفيف
(الطور ١)
الكربنة
(الطور ٢)
الكتلة
كتلة العينة
كتلة CO2 المتراكمة
الزمن

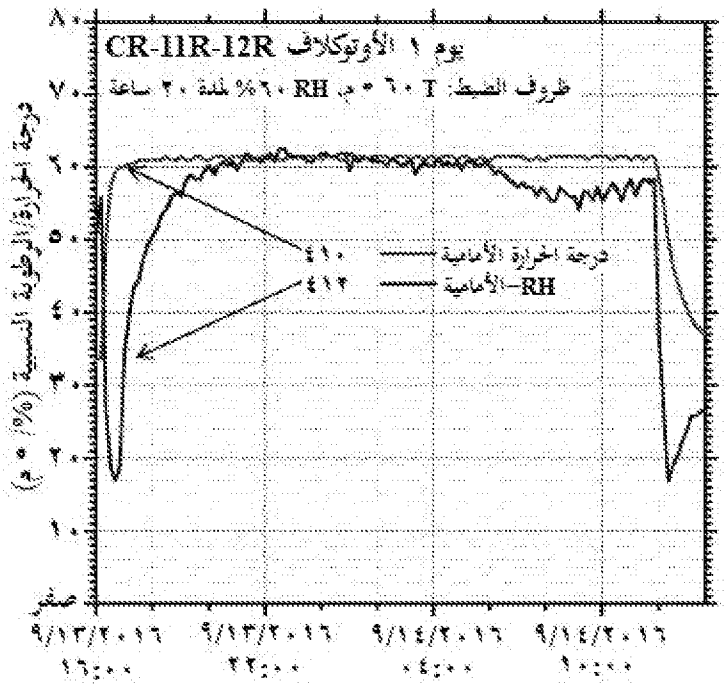
شكل ٢



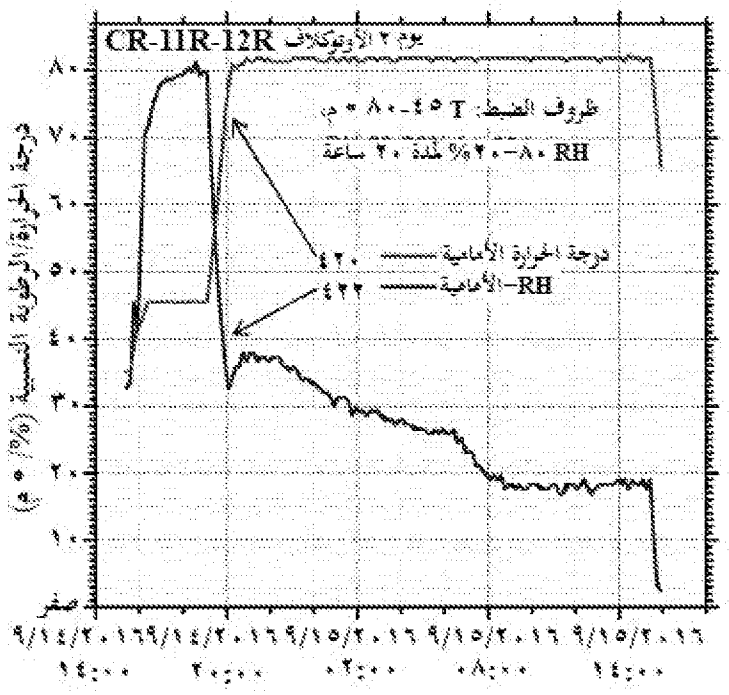

شكل ٣


CR-11R-12R فرن
٣ ساعات ظروف
(T: ٨٠ م، RH <١٠% الفرن)
٤٠١ درجة الحرارة الأمامية
٤٠٢ RH الأمامية
٤٠٣ درجة الحرارة الخلفية
٤٠٤ RH الخلفية
درجة الحرارة/الرطوبة النسبية (% / ٥٠ م)
٨٠
٧٠
٦٠
٥٠
٤٠
٣٠
٢٠
١٠
صفر
٩/١٣/٢٠١٦ ١٠:٠٠
٩/١٣/٢٠١٦ ١١:٣٠
٩/١٣/٢٠١٦ ١٣:٠٠
٩/١٣/٢٠١٦ ١٤:٣٠

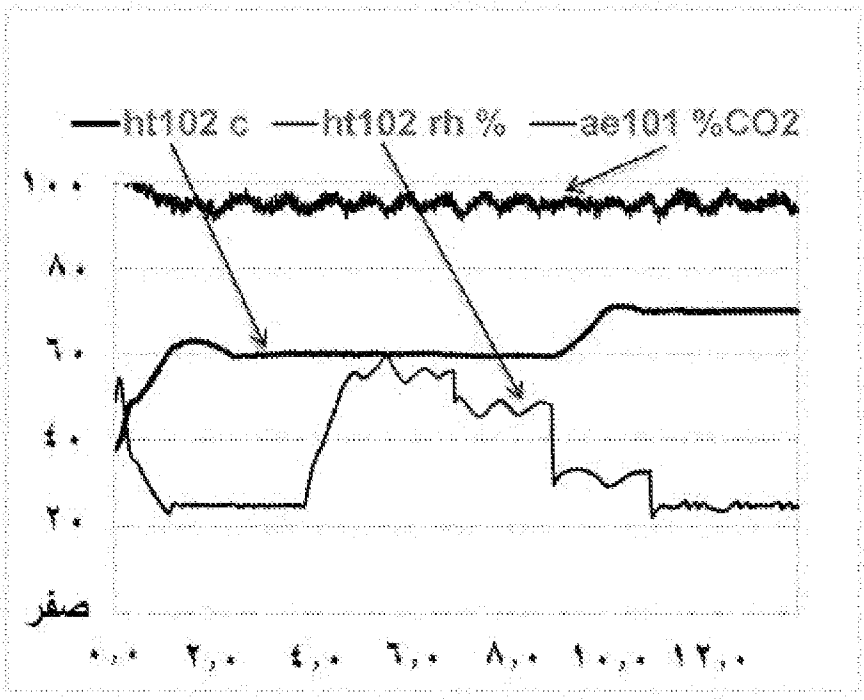
شكل ٤أ


CR-11R-12R يوم ١ الأوتوكلاف
ظروف الضبط: T ٦٠ م، RH ٦٠% لمدة ٢٠ ساعة
درجة الحرارة/الرطوبة النسبية (% ، م)
٤١٠ درجة الحرارة الأمامية
٤١٢ الأمامية–RH
٩/١٣/٢٠١٦ ١٦:٠٠
٩/١٣/٢٠١٦ ٢٢:٠٠
٩/١٤/٢٠١٦ ٠٤:٠٠
٩/١٤/٢٠١٦ ١٠:٠٠

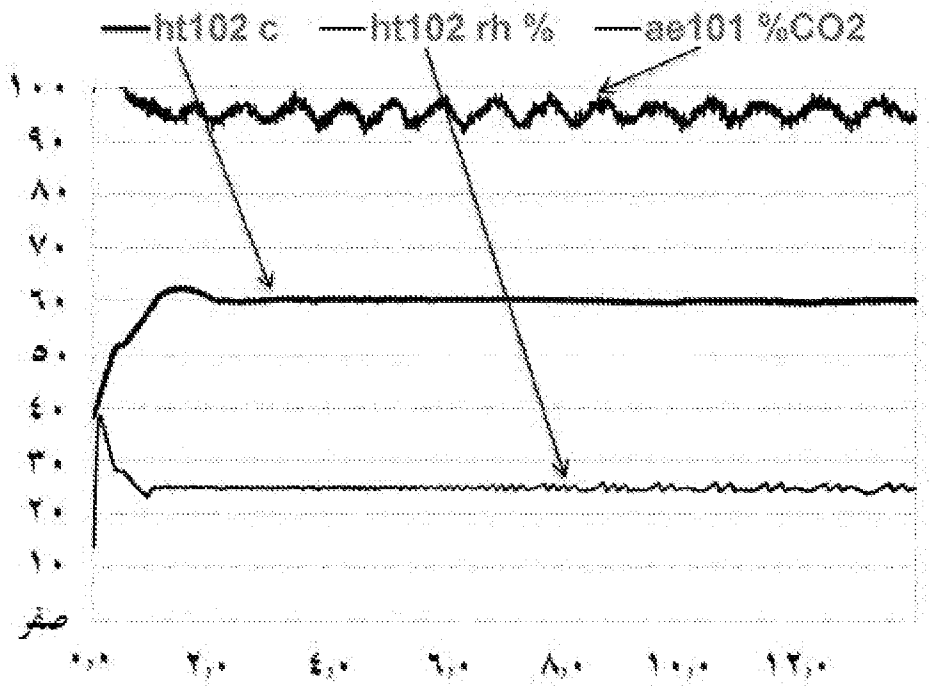
شكل ٤ب


CR-11R-12R
ظروف الضبط: T ٤٥-٨٠ م
٨٠-٢٠% RH لمدة ٢٠ ساعة
درجة الحرارة الأمامية ٤٢٠
الأمامية-RH ٤٢٢
درجة الحرارة/الرطوبة النسبية (% م)
٨٠
٧٠
٦٠
٥٠
٤٠
٣٠
٢٠
١٠
صفر
٩/١٥/٢٠١٦ ١٤:٠٠
٩/١٥/٢٠١٦ ٠٨:٠٠
٩/١٥/٢٠١٦ ٠٢:٠٠
٩/١٤/٢٠١٦ ٢٠:٠٠
٩/١٤/٢٠١٦ ١٤:٠٠

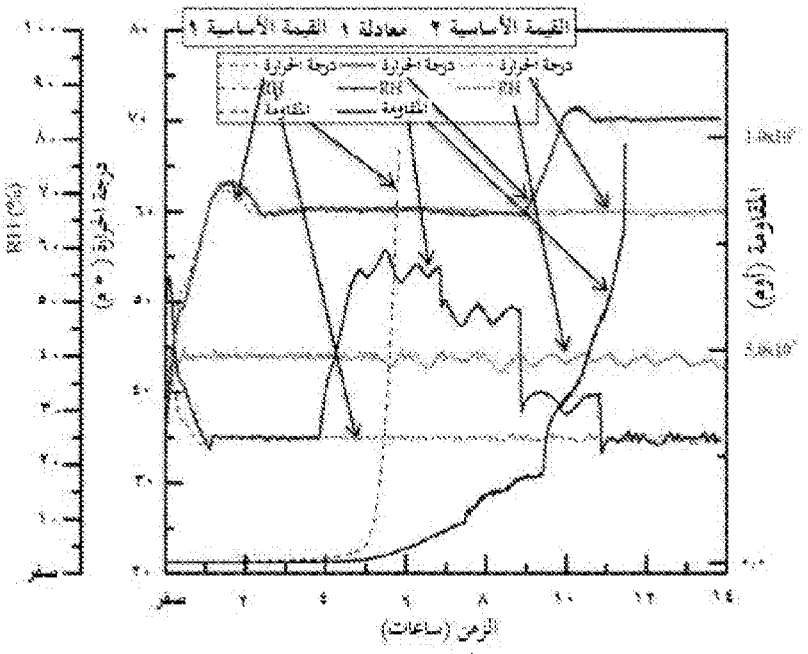
شكل ٤ج


ht102 c
ht102 rh %
ae101 %CO2
١٠٠
٨٠
٦٠
٤٠
٢٠
صفر
٠,٠ ٢,٠ ٤,٠ ٦,٠ ٨,٠ ١٠,٠ ١٢,٠

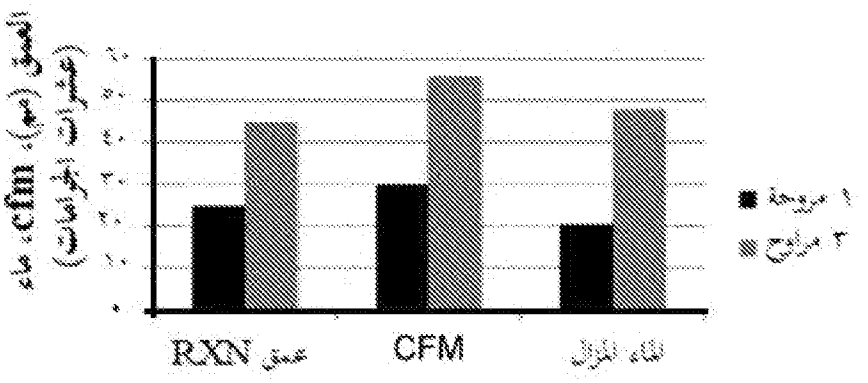
شكل ٥أ


ht102 c
ht102 rh %
ae101 %CO2
١٠٠
٩٠
٨٠
٧٠
٦٠
٥٠
٤٠
٣٠
٢٠
١٠
صفر
٠,٠
٢,٠
٤,٠
٦,٠
٨,٠
١٠,٠
١٢,٠

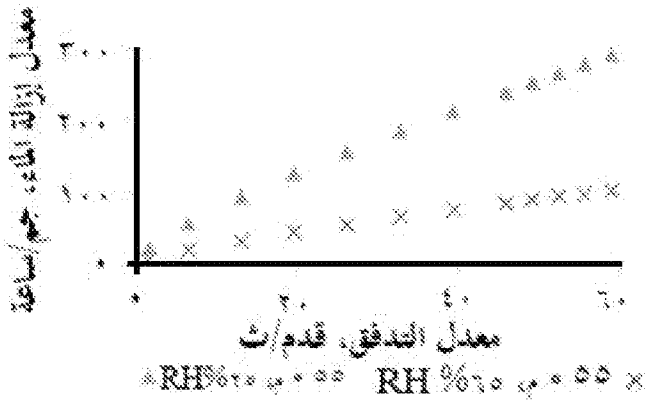
شكل ٥ب


القيمة الأساسية ٢ معادلة ١ القيمة الأساسية ١
درجة الحرارة
RH
المقاومة
درجة الحرارة ( ° م)
RH (%)
المقاومة (أوم)
الزمن (ساعات)
صفر
٢
٤
٦
٨
١٠
١٢
١٤

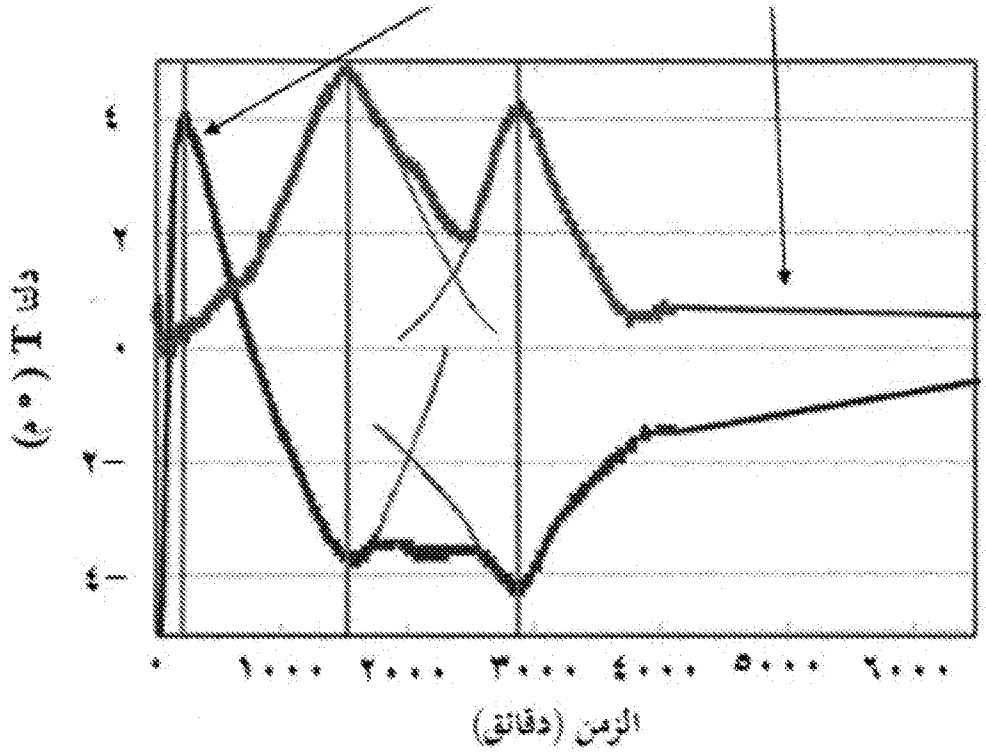
شكل ٥ ج


التمدد (مم)، cfm، ماء
(عشرات الجرامات)
١٠
٨٠
٦٠
٤٠
٢٠
١٠
٠
١ مروحة
٢ مراوح
عمق RXN
CFM
ماء المزال

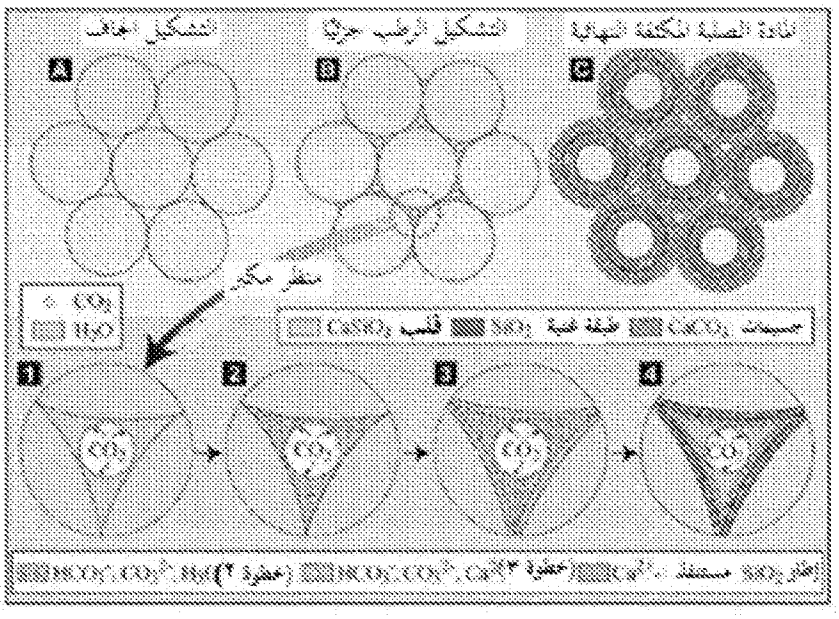
شكل ٦


معدل إزالة الماء، جم/ساعة
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
٠
٠
٢٠
٤٠
٦٠
معدل التدفق، قدم/ث
RH %٦٥ و ٥٥ RH%٢٥ و ٥٥

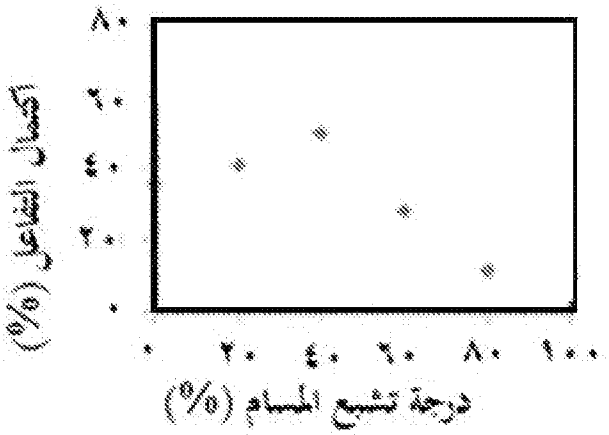
شكل ٧



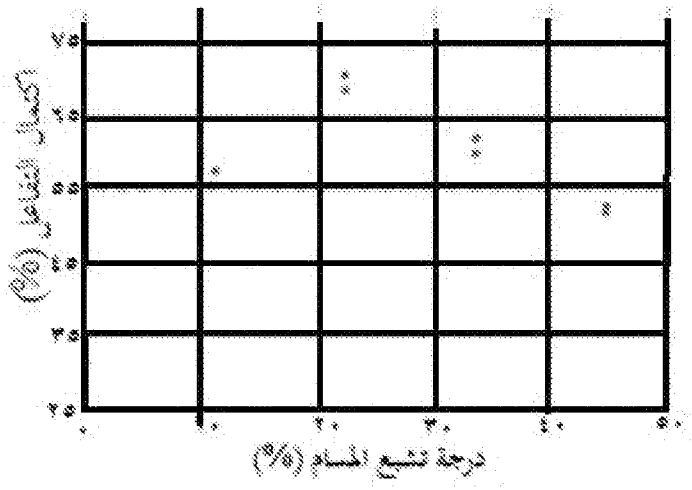

شكل ٨


التشكيل الجاف
التشكيل الرطب جزئي
المادة الصلبة المكثفة النهائية
منظر مكبر
$CO_2$
$H_2O$
$CaSiO_3$ قلب $SiO_2$ طبقة قشرة $CaCO_3$ حبيبات
$CO_2$
$CO_2$
$CO_2$
$CO_2$
$HCO_3^-, CO_3^{2-}, H_2O$ (خطوة ٢) $HCO_3^-, CO_3^{2-}, Ca^{2+}$ (خطوة ٣)

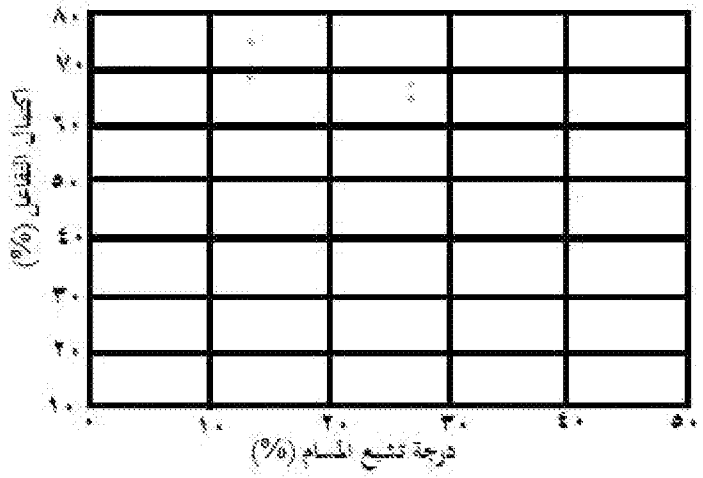
شكل ٩


اكتمال التفاعل (%)
٨٠
٦٠
٤٠
٢٠
٠
٠
٢٠
٤٠
٦٠
٨٠
١٠٠
درجة تشبع المسام (%)

شكل ١٠


اكتمال التفاعل (%)
٧٥
٦٥
٥٥
٤٥
٣٥
٢٥
٠
١٠
٢٠
٣٠
٤٠
٥٠
درجة تشبع المسام (%)

شكل ١١


٨٠
٧٠
٦٠
٥٠
٤٠
٣٠
٢٠
١٠
٠
١٠
٢٠
٣٠
٤٠
٥٠
اكتمال التفاعل (%)
درجة تشبع المسام (%)

شكل ١٢

# 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**