ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE
---

(19)

المملكة المغربية

المكتب المغربي للملكية الصناعية و التجارية
---

(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication :
MA 32425 B1

(51) Cl. internationale :
F28D 20/00

(43) Date de publication :
01.06.2011

(21) N° Dépôt :
33469

(22) Date de Dépôt :
29.12.2010

(30) Données de Priorité :
01.07.2008 EP 08380189.4

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/ES2009/000288 25.05.2009

(71) Demandeur(s) :
SENER INGENIERIA Y SISTEMAS, S.A., Avda. Zugarzarte, 56 E-48930 Las Arenas Vizcaya (ES)

(72) Inventeur(s) :
LATAPEREZ, Jesús, M. ; BLANCO LORENZO, Julio

(74) Mandataire :
SMAS INTELLECTUAL PROPERTY

(54) Titre : **RESERVOIR DE STOCKAGE D'ENERGIE A DEUX TEMPERATURES**

(57) Abrégé : L'INVENTION CONCERNE UN RÉSERVOIR DE STOCKAGE DE THERMOCLINE, LEQUEL COMPREND UN ÉLÉMENT DE BARRIÈRE QUI FLOTTE ENTRE LES DEUX LIQUIDES STOCKÉS À DES TEMPÉRATURES DIFFÉRENTES, SÉPARANT PHYSIQUEMENT ET ISOLANT LESDITS LIQUIDES. LA BARRIÈRE FLOTTANTE PRÉSENTE DIVERSES CARACTÉRISTIQUES DE CONCEPTION QUI ÉLARGISSENT LA PORTÉE DE SON APPLICATION, PERMETTANT SON UTILISATION DANS DES DOMAINES TELS QUE LES SYSTÈMES DE STOCKAGE THERMIQUE DE GÉNÉRATRICES SOLAIRES.

خزّان طاقة حرارية مزدوج

الملخص

يتعلق الاختراع الحالي بخزان حراري التدرج يشتمل على عضو حـــاجز يعـــوم بـــين المائعين المخزنين عند درجات حرارة مختلفة، يفصلهما فيزيائياً ويعزلهما. ويشتمل الحاجز العائم على عدد من سمات تصميمية تعمل على توسيع نطاق استخدامه مما يتيح استخدامه في مجالات مثل أنظمة التخزين الحرارية لوحدات توليد الطاقة الشمسية.

32425

خزّان طاقة حرارية مزدوج

المجال التقني للاختراع

يتعلق الاختراع الحالي عموماً بمجال أنظمة تخزين الطاقة الحرارية، وعلى وجه التحديد بتحسينات في تصميم خزانات حرارية التدرج.

خلفية الاختراع

تُستخدم أنظمة تخزين الطاقة الحرارية عموماً في التطبيقات التي يكون فيها من الضروري فصل تجميع الطاقة عن تصريف الطاقة. وتعتبر أنظمة تجميع الطاقة الشمسية مثالاً نموذجياً عليها، حيث قد توجد عادة حاجة للطاقة خلال الفترات التي لا يوجد فيها إشعاع شمسي، عندما لا يكون بالإمكان تجميع الطاقة، لكن يجب تصريفها للإيفاء بالحاجة المذكورة.

وقد يتفاوت حجم أنظمة تجميع الطاقة الشمسية ما بين أنظمة تجميع منزلية صغيرة، تُستخدَم لتسخين الماء، وأنظمة تجميع كبيرة جداً، كتلك الموجودة في وحدات توليد الطاقة الكهربائية الشمسية.

وتكمن إحدى طرق تخزين الطاقة الحرارية في استخدام الحرارة المحسوسة لمائع. وخلال الفترات حيث يكون هنالك إشعاع شمسي، يتم تخزين الطاقة الحرارية عن طريق تسخين المائع المذكور، بحيث عند تبريد المائع خلال تلك الفترات التي لا يوجد فيها إشعاع شمسي، سيتم تصريف الطاقة الحرارية للإيفاء بالحاجة للطاقة خلال تلك الفترات، حيث لا يكون تجميع الطاقة متاحاً.

ويشتمل تصميم شائع لنظام تخزين حرارة محسوسة في وحدات توليد الطاقة الشمسية على خزانين، يحويان حجم من المائع الحراري. ويحتوي كل من الخزانين على المائع المذكور عند درجة حرارة مختلفة بحيث يحتوي أحد الخزانين على حجم من المائع الحراري عند درجة حرارة "باردة" معينة، ويحتوي الخزان الآخر على حجم من المائع الحراري عند درجة حرارة أعلى معينة.

وخلال تشغيل وحدة توليد الطاقة في فترات الإشعاع الشمسي، يُسحب المائع الحراري من الخزان البارد ويُسخن باستخدام الطاقة الحرارية القادمة من نظام تجميع الطاقة الشمسية ثم يتم صبه في الخزان الساخن. وفي الفترات التي لا يكون فيها إشعاع شمسي، يُسحب المائع

الحراري من الخزان الساخن بحيث يتم جعله يتدفق خلال مبادل حراري حيث يتم تبريده مما يزود الطاقة الحرارية اللازمة لتوليد الطاقة الكهربائية.

وينبغي ملاحظة أنه في نظام التخزين الموصوف ينبغي تحديد حجم كل من الخزانين لاحتواء الحجم الكلي من المائع الحراري بحيث تكون سعة التخزين الكلية للنظام فعلياً ضعف الحجم الكلي لمحزون مائع التخزين الحراري لوحدة توليد الطاقة.

ومن ناحية عملية، يمكن أن تبلغ خزانات نظام التخزين لوحدة توليد الطاقة الشمسية أحجاماً كبيرة وتؤدي الحاجة إلى حجم التخزين "الزائد" المذكور آنفاً إلى مواجهة عيوب كثيرة من حيث تكاليف التصنيع للخزان الإضافي والفقد الحراري المتزايد لنظام التخزين أو تكاليف المعدات الإضافية، الأنابيب الإضافية، إلخ المرافقة للخزان الإضافي.

ولذلك، أصبح من المرغوب التخلص من الحجم الزائد من نظام التخزين ويوجد في الوقت الحالي عدة طرق تقدم حلولاً لهذه المشكلة. ويتمثل الحل الأكثر شيوعاً في الخزان حراري التدرج حيث يتم حفظ الحجم الكلي من المائع الحراري في خزان مفرد. وفي هذا الخزان المفرد، يتم تخزين كتلتي المائع البارد والساخن فوق بعضهما، ويؤدي التطبُّق الطبيعي أو التدرج الحراري الناتج من الاختلاف في كثافة المائع عند درجتي الحرارة المختلفتين إلى إبقاء الكتلتين منفصلتين جوهرياً. أي، يتم تخزين المائع البارد الذي يكون عادة أكثر كثافة من المائع الساخن أسفل المائع الساخن وتساعد القوة الدافعة التعويمية الناتجة من هذا الاختلاف في الكثافة في الحفاظ على كتلتي المائع في حالة منفصلة مع وجود تغير حاد نسبياً في درجة الحرارة عند السطح الفاصل بينهما.

وعند جمع الطاقة الحرارية، يتم استخلاص المائع البارد من الجزء السفلي للخزان ويتم إعادة المائع المسخن إلى الجزء العلوي للخزان وعندما ينبغي تصريف الطاقة الحرارية يُستعاد المائع الساخن من الجزء العلوي للخزان ويتم إعادة المائع البارد إلى الجزء السفلي للخزان.

وحيث أن كمية المائع المستخلصة من الخزان عند إحدى درجتي الحرارة تكون دائماً مساوية بصفة جوهرية لكمية المائع المدخلة عند درجة الحرارة الأخرى، تبقى الكتلة الكلية للمائع المخزن في الخزان ثابتة بصفة أساسية خلال دورة التشغيل الكلية لنظام التخزين. وبهذه الطريقة، يعمل الخزان حراري التدرج المفرد دائماً عند سعته القصوى (أي، مليء أو مليء تقريباً بالمائع المخزن) مما يجعل كفاءة التخزين مثلى.

ومع ذلك، يمكن أن تؤدي عدة ظواهر مثل نقل الحرارة بالتوصيل بين كتلتي المائع أو تيارات الحمل الحراري الناتجة من التأثير الإجمالي للتطبق الطبيعي وفقد الطاقة عند حافة الخزان

إلى التأثير بالضرر على الجانبية الحرارية الرأسية للمائع الموجود في الخزان، وخصوصاً عندما تكون منطقة السطح البيني الفاصل قريبة من الجزء السفلي أو العلوي للخزان.

وثمة شكل مختلف للخزان حراري التدرج الموصوف يتمثل في خزان حراري التدرج مختلط الأوساط، حيث لا يكون الخزان ممتلئاً فقط بالمائع الحراري ولكن أيضاً بنوع معين من مادة صلبة. وتُسهم المادة الصلبة في المواسعة الحرارية الكلية للنظام، وتكون عادة أرخص من المائع الحراري. إلى جانب أنها تساعد في تثبيط انتقال الكتلة بالحمل الحراري بين المائعين البارد والساخن مما يجعل التدرج الحراري أكثر فعالية مما هو في حالة الخزان أحادي الوسط.

ومع ذلك، تظهر بعض المشاكل التي تتعلق باستخدام أوساط تخزين مختلطة من مائع–مادة صلبة، وتتضمن هذه:

(أ) المواءمة والثبات الفيزيائي/الكيميائي طويل الأمد للوسط الصلب المتلامس مع المائع الحراري والمعرَّض للتغير الحراري الدوري.

(ب) ترسُّب الوسط الصلب في الجزء السفلي للخزان نتيجة لدورات التشغيل المتكررة، مما يؤدي إلى زيادة الإجهاد في جدران الخزان القريبة من الجزء السفلي والحاجة لجدران أسمك للخزان.

ولقد وصفت عدة براءات اختراع مسبقاً مفاهيم تخزين وفقاً للتدرج الحراري مماثلة لهذه، مثل براءتي الاختراع الأمريكيتين رقم 4124061 ورقم 5197513.

وفي طلب براءة الاختراع الحالي تم وصف شكل مختلف محسَّن لنظام تخزين وفقاً للتدرج الحراري. وفي الحل الموصوف، يتم استخدام حاجز فيزيائي أفقي لفصل كتلتي المائع وعزلهما حرارياً. ويكون للحاجز الفيزيائي كثافة متوسطة بين الكثافة المرتفعة للمائع البارد وكثافة منخفضة للمائع الساخن بحيث يطفو في السطح الفاصل بين المائعين وينتقل مع هذا السطح البيني الفاصل باتجاه رأسي داخل الخزان.

ونتيجة لهذه السمة، ينتقل العضو الحاجز رأسياً داخل الخزان باتباع السطح الفاصل بين المائع البارد والمائع الساخن المخزنين مما يحقق بشكل طبيعي موقع عمودي متطابق مع ذلك للسطح الفاصل البيني المذكور.

وبأخذ دورة التشغيل اليومية النموذجية لنظام التخزين لوحدة توليد الطاقة الحرارية الشمسية بعين الاعتبار كمثال، عند الساعة الأولى في الصباح يكون الخزان المفرد المأخوذ بعين الاعتبار في هذا الاختراع مليئاً بمائع بارد، ربما مع أقل أثر فقط من مائع ساخن متروك على الجزء العلوي ويكون العضو الحاجز قريباً من الجزء العلوي للخزان.

وخلال اليوم، عندما يتم جمع الطاقة الحرارية من حقل تجميع الطاقة الشمسية، يتم استخلاص المائع البارد من الخزان، في نفس الوقت الذي يتم فيه إدخال المائع الساخن إلى الخزان. وعندما تزيد كمية المائع الساخن في الخزان وتقل كمية المائع البارد، تتحرك منطقة السطح الفاصل بين المائعين البارد والساخن رأسياً نحو الجزء السفلي للخزان بحيث يتعقبها العضو الحاجز. وبهذه الطريقة، عند نقطة معينة خلال فترة تجميع الطاقة الحرارية من حقل تجميع الطاقة الشمسية، يكون الخزان مليئاً بالمائع الساخن ربما بأدنى أثر من المائع البارد متروك عند الجزء السفلي للخزان، ويكون الحاجز الفيزيائي قريباً من الجزء السفلي للخزان.

وتتم جولة الحاجز من أعلى موضع له في الخزان إلى أدنى موضع له في فترة تعبئة الخزان. وتتم فترة التفريغ، التي بها تُنجَز الدورة اليومية النموذجية الكاملة للخزان بطريقة مماثلة، بحيث يتم استخلاص المائع الساخن من الجزء العلوي للخزان ويتم إدخال المائع البارد إلى الجزء السفلي للخزان وبحيث يتحرك الحاجز رأسياً من الجزء السفلي للخزان إلى الجزء العلوي للخزان.

ويؤدي استخدام الحاجز الفيزيائي بين كتلتي المائع إلى منع الانتقال الكتلي بين المنطقتين ويقلل بشكل كبير من نقل الحرارة بالتوصيل بينهما، مما يحسِّن بشكل كبير من أداء التدرُّج الحراري. وفي نفس الوقت، يتفادى العيوب المرتبطة باستخدام حل التخزين مختلط الأوساط.

وتتكون الترتيبة العامة للحاجز الفيزيائي من غلاف خارجي سدود للمائع ومادة عازلة يتم وضعها داخل الغلاف المذكور. ولقد وصف مفهوم الحاجز الفيزيائي الذي يفصل كتلتي المائع مسبقاً في براءة الاختراع الأمريكية رقم 4523629. وفي البراءة المذكورة، تم توضيح تجسيد محدد للحاجز ملائم لتطبيقه في تخزين الماء عند درجة حرارة بين 37.78°م (100°ف) و 79.44°م (175°ف). وتذكر البراءة أيضاً التطبيق المحتمل للاختراع في أنظمة تخزين وحدات توليد الطاقة الشمسية، لكن لم تذكر تشكيلة محددة لهذا التطبيق.

غير أنه يجب ملاحظة أن ثمة مشاكل عديدة تؤثر في الحاجز الفيزيائي، وأنه يجب معالجتها من أجل إنتاج تصميم ملائم وموثوق له. وهذه المشاكل لا تكون خطيرة في ظروف تطبيق تخزين الماء الموصوفة في براءة الاختراع المذكورة آنفاً لكنها تصبح خطيرة بدرجة أكبر في الظروف القاسية بدرجة أكبر التي تُلاحظ في أنظمة تخزين الطاقة لوحدات توليد الطاقة الشمسية بحيث يكون هنالك درجات حرارة أعلى وفروق أعلى في درجة الحرارة بين الموائع المخزنة.

ومن توضيح هذه المشاكل سيكون مفهوماً أن ثمة حاجة لحلول معينة من أجل حل أو على الأقل تخفيف هذه المشاكل. وما تهدفه هذه البراءة هو بالضبط نشر هذه الحلول التي تحسن بشكل كبير من سمات الاختراع وتزيد نطاق الطلب الخاص به.

ولجعل المشاكل التي يواجهها الحاجز الفيزيائي أكثر وضوحاً، سيتم ذكر بعض ظروف التشغيل الخاصة بالخزان، والتي تُلاحظ عادة في أنظمة تخزين وحدات توليد الطاقة الشمسية الفعلية كمثال.

وتكمن حالة محددة يتم أخذها بعين الاعتبار في تخزين مزيج من أملاح نترات مصهورة بين 292°م و 386°م في خزانات عمودية أسطوانية يبلغ ارتفاعها تقريباً 15 متر وقطرها 40 متر.

وتتعلق إحدى المشاكل التي تؤثر على الحاجز الفيزيائي بمواد التركيب المحتملة الخاصة به. ويتكون العضو الحاجز الموصوف في براءة الاختراع الأمريكية رقم 4523629 من غلاف سدود للمائع مصنوع من بعض المواد البلاستيكية مثل متعدد كربونات و®Plexiglas (علامة تجارية مسجلة)، ومادة عازلة معينة، مثل رغوة يوريثان أو زجاج ليفي، موضوعة في هذا الغلاف. وكما ذكر في تلك البراءة، تتمثل وظائف الغلاف في العضو الحاجز الموصوف في منع امتصاص الماء وتزويد جسوءة بنيوية للحفاظ على التشكيلة المحددة مسبقاً للعضو الحاجز

إلا أنه، تكون أمداء درجات الحرارة الموجودة بشكل نموذجي في أنظمة تخزين وحدات الطاقة الشمسية أعلى من الحدود المسموح بها للمواد البلاستيكية، ولذلك ينبغي الأخذ بعين الاعتبار نوع آخر من المواد لتشكيل الحاجز.

وبالإضافة إلى ذلك، لقيم الضغط الإستاتي لخزانات وحدات توليد الطاقة الشمسية، وبالأخذ بعين الاعتبار الحجم الكبير للعضو الحاجز الضروري لهذه الخزانات، من المحتمل واقعياً أن يتحمل الغلاف الخارجي لوحده حمل الضغط هذا، وبالتالي المحافظة على حيز ثابت تقريباً.

وكما ذكر في براءة الاختراع الأمريكية رقم 4523629، إن تقييد واحد ينبغي للحاجز الفيزيائي أن يفي به يتعلق بكثافته: ليتمكن من العوم في السطح البيني للمائعين الساخن والبارد، ينبغي اختيار توليفة ملائمة من المواد لبناء الحاجز، بحيث يتم تحقيق كثافة متوسطة بين الموائع الساخنة والباردة. وبالإضافة إلى ذلك، من الضروري أن يكون للحاجز مقاومة بنيوية كافية للمحافظة على حجمه ثابت تقريباً ضمن مدى كامل من حمل إستاتي يفرضه المائع المخزن.

وفي براءة الاختراع المذكورة، تتألف الطريقة الموصوفة لضبط وزن العضو الحاجز من إضافة بعض الأوزان الخارجية، بحيث يتم الحصول على الكثافة المرغوبة. وبينما يمكن أن يكون

ذلك عبارة عن محلول ملائم للحواجز الصغيرة، إلا أنه في حالة الحواجز الكبيرة، من المرجح أن تكون الأوزان الضرورية كبيرة على نحو مفرط، وتصبح حلاً غير فعالاً إلى حد بعيد لتعديلات الوزن الإجمالي على الأقل.

وتتعلق مشكلة أخرى تؤثر على الحاجز الفيزيائي بالتشوهات الحرارية له أثناء الخدمة. ونتيجة لوجود السطح العلوي للحاجز عند درجة الحرارة الساخنة والسطح السفلي عند درجة الحرارة الباردة للمائع المخزن، يتم تطوير حالة كلية من تشوه انحنائي في الحاجز، لاستيعاب الفرق في التمدد الحراري بين الأجزاء العلوية والسفلية له. فعلى سبيل المثال، سيتخذ قرص مستوي، مصنوع من فولاذ كربوني معروف، سمكه 30 سم، قطره 40 متر والفرق في درجة الحرارة عبر سماكته يبلغ 94°م، شكل مشوه دائري، وسيكون مقدار أقصى انحراف له 0.9 متر.

وتقلل هذه التشوهات الكبيرة من الارتفاع المفيد للخزان، وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي إلى مشاكل بنيوية في الحاجز. وفضلاً عن ذلك، يغير عضو حاجز منحني السطح البيني المستوي بطبيعته بين المائعين المخزنين، وبالتالي، من المرجح أن تمر الموائع من إحدى الجهات إلى الأخرى للحاجز، بحيث تتم استعادة الشكل المستوي بطبيعته للسطح البيني. وبهذه الطريقة، يتم فقدان جزء كبير من سعة العزل للعضو الحاجز.

وينبغي الأخذ بعين الاعتبار العوامل الاقتصادية بالإضافة إلى تصميم العضو الحاجز، لإنتاج تصميم مجدي من الناحية الاقتصادية. وينبغي الأخذ بعين الاعتبار أنه إذا كان خزان واحد يحتوي على حاجز أكثر تكلفة من خزانين، فإنه يكون الخيار المتمثل في خزانين تقليديين هو المفضل دائماً. ويعني ذلك أن اختيار مواد الحاجز، بالإضافة إلى طريقة التصنيع، يعتبر مهماً جداً في تصميم الحاجز. ولذلك، من المهم جداً للمواد المستخدمة للحاجز أن تكون رخيصة ومتوفر على نحو واسع.

ويتضمن العضو الحاجز الموصوف في طلب براءة الاختراع هذا سمات للتصميم تزود حلولاً لكل هذه المشاكل المذكورة أعلاه، وحيث تذكر خلال النص.

ووصف الاختراع هو مجرد تمثيلي بطبيعته، وبالتالي، لا تخرج الاختلافات عن لب الاختراع ويقصد منها أن تكون ضمن نطاقه. ولا تعتبر هذه الاختلافات على أنه خارج مبدأ ونطاق الاختراع.

الكشف عن الاختراع

يتعلق الاختراع الراهن بخزانات للطاقة الحرارية، وعلى نحو أكثر تحديداً بخزان متدرج حرارياً يشتمل على عضو حاجز يفصل فيزيائياً كتلتين من المائع مخزنتين عند درجات حرارة مختلفة.

ومادة العضو الحاجز وفقاً للاختراع الراهن تتغلب على المشاكل المذكورة مسبقاً، لأن عدد سمات التصميم التي تعزز استخدامه وتوسع من قابلية تطبيقه في الحقول ومجالات التطبيق التي لم تزود لغاية الآن حلولاً لها أو تشكيلات للتصاميم لها، مثل التخزين الحراري في وحدات توليد الطاقة الشمسية.

ويفضل أن يكون الخزان المستخدم في الاختراع من النوع الاسطواني الرأسي، بالرغم من أنه يمكن أيضاً استخدام أي نوع آخر من الخزانات ضمن نطاق تطبيق الاختراع، طالما أن له مستوى أفقي أو مقطع عرضي على طول ارتفاعه بأكمله أو محوره الطولي (أي، يكون له شكل مخروطي)، بحيث يمكن أن يتحرك العضو الحاجز العائم بحرية داخل الخزان على امتداد محوره الطولي.

ويتكون العضو الحاجز بشكل أساسي من غلاف خارجي سدود للمائع واحد، ومادة (مواد) مالئة معينة توضع داخل الغلاف. ويكون للعضو الحاجز كثافة متوسطة تقع بين تلك للمائع المخزن عند درجات حرارته الإسمية المختلفة، بحيث يعوم في السطح البيني بين كتلتين من المائع المخزن.

ويفضل أن يكون للمقطع العرضي للعضو الحاجز نفس شكل المقطع العرضي للخزان، بحيث يغطي على نحو فعال منطقة التلامس بين الموائع المخزنة في الخزان عند درجات الحرارة المختلفة، ويكون قادراً في نفس الوقت على التحرك بحرية على طول المحور الطولي للخزان. وبالتالي، في حالة خزان رأسي اسطواني، يمكن أن يكون العضو الحاجز على شكل قرص، له نفس قطر الخزان تقريباً، وسماكة كافية لفصل وعزل على نحو ملائم الكتلتين من المائع المخزن.

وبالرغم من ذلك، يمكن ترك الخلوصات أو الفجوات بين الحدود الخارجية للحاجز وغلاف الخزان، لتوضيح التحملات أو الانحرافات الممكنة المختلفة عن الشكل النظري أثناء التصنيع، أو التمددات والتشوهات أثناء الخدمة، مثلاً.

وبالإضافة إلى ذلك، يمكن إجراء عدة ثقوب عابرة طولية في الحاجز، من أجل أن يعمل لتمرير أنبوب أو معدات، التوجيه، الخ.

وتشمل السمات الجديدة للاختراع، التي تجعله ملائماً للاستخدام في تطبيقات مثل تخزين الطاقة الحرارية في وحدات توليد الطاقة الشمسية:

(أ) تزويد مواد سائبة مقاومة للانضغاط بصفتها المواد المالئة للحاجز، حيث تزيل أية مشاكل متعلقة بالتشوهات الحرارية في المادة المالئة وتُمكِّن الحاجز من تحمل حمل الضغط للمائع المخزن والمحافظة على حجم ثابت تقريباً بدون إضافة بنية معقدة ومكلفة لغلافه الخارجي.

(ب) تقسيم المادة المالئة الداخلية للحاجز إلى طبقتين، إحداهما طبقة عزل والأخرى طبقة لضبط الوزن، وبالتالي تحقيق بهذه الطريقة طريقة فعالة لضبط كثافة الحاجز إلى القيمة المرغوبة بسهولة.

(جـ) تزويد للقشرة الخارجية للحاجز شكل هندسي غير مستوي في أحد أو كلا الوجهين العلوي والسفلي، مما يزيد على نحو كبير من جسوءته ويقلل تشوهاته الحرارية.

(د) إضافة نتوءات مستديرة محيطية مموجة أو مستقيمة على المنطقة الخارجية للغلاف الحاجز، بحيث أن التوصيلة بين الوجهين العلوي والسفلي للغلاف تكون مرنة بدرجة أكبر ويتم تقليل التشوهات والإجهادات الحرارية بشكل جوهري.

(هـ) تفسخ الغشاء الحاجز إلى مجموعة أجسام صغيرة ومستقلة، ترتيب واحدة بجانب الأخرى لإنهاء حاجز نسقي، يقلل إلى حد بعيد من المشاكل المتعلقة بالتشوهات الحرارية، بالإضافة إلى مشاكل التصنيع، الموجودة في مكون واحد أكبر.

وسيصبح استخدام وقابلية تطبيق الاختراع الراهن، بما فيه هذه السمات وسمات أخرى، مفهوماً بدرجة أكبر من الوصف التفصيلي المزود فيما يلي هنا.

<u>وصف مختصر للرسوم</u>

فيما يلي يوصف بإيجاز شكل يساعد في فهم الاختراع بشكل أفضل. كما يصف الشكل تجسيد للاختراع الراهن، كمثال غير محدد.

الشكل 1 : يمثل منظر لمقطع عرضي رأسي تخطيطي لخزان الطاقة الحرارية المزدوج المستخدم في هذا الاختراع، يبين الترتيبة العامة للكتلتين من المائع والغشاء الحاجز داخل الخزان.

<u>الوصف التفصيلي للتجسيدات المفضلة</u>

يبين الشكل 1 ترتيبة تخطيطية لنظام تخزين حراري (1)، حيث يمكن أن يكون نظام التخزين في وحدة توليد طاقة حرارية شمسية. ويشتمل نظام التخزين (1) على خزان حراري التدرج (2)، يخزن كتلتين من المائع عند درجات حرارة مختلفة. وعادة ما تكون كتلة المائع

الأبرد (4) أكثف من كتلة المائع الأسخن (3)، ويخزن أسفلها. وعادة ما يكون الخزان من النوع الاسطواني الرأسي، قطره يبلغ حوالي 40 متر وارتفاعه حوالي 15 متر. وفي العديد من التطبيقات الشمسية الشائعة، يمكن أن تبلغ درجة حرارة المائع البارد عادةً حوالي 300°م، وتبلغ درجة حرارة المائع الساخن حوالي 400°م، ويكون المائع المخزن عند درجتي الحرارة تلك عبارة عن خليط من أملاح نترات مصهورة.

ويقع جسم العضو الحاجز وفقاً للاختراع الراهن، الممثل تخطيطياً في الشكل 1 والمشار إليه بالرقم (13)، في السطح البيني بين المائعين الساخن والبارد، حيث يفصلهما فيزيائياً ويعزلهما، بحيث يتم تقليل التوصيل الحراري بين الكتلتين من المائع.

وكما ذكر مسبقاً، يتكون العضو الحاجز بشكل أساسي من غلاف خارجي سدود للمائع، ويكون لهذا الغلاف بشكل أساسي نفس شكل المقطع العرضي للخزان، وتملأ بعض المواد المالئة التي توضع داخل الغلاف حيزه الداخلي.

ويفضل صنع الغلاف الخارجي للحاجز من نفس مادة غلاف الخزان، التي تكون عبارة عن فولاذ كربوني لدرجات حرارة التشغيل العليا التي تقل عن 400-450°م، وفولاذ لا يصدأ لدرجات حرارة التشغيل العليا التي تزيد عن هذه القيمة.

ولهذه الحالة الخاصة المدروسة، يفضل أن يتراوح متوسط سماكة الحاجز من 0.2-0.4 متر في كل التجسيدات المقترحة، بحيث يتم الحصول على عزل ملائم بين الموائع، دون أن يشغل حيزاً مفرطاً داخل الخزان.

كما يذكر الشكل 1 كيفية تجميع الطاقة الحرارية أو استخلاصها من الخزان. وعندما يتم تجميع الطاقة الحرارية، يستخلص المائع البارد من أسفل الخزان بواسطة خط خروج المائع البارد (5)، بواسطة مضخة باردة (6). ويدوَّر المائع خلال جهاز لإدخال الحرارة (7) حيث يسخَّن، ويعود بعد ذلك إلى أعلى الخزان بواسطة خط دخول المائع الساخن (8). ومن ناحية أخرى، عندما تستخلص الطاقة الحرارية، يستخلص المائع الساخن من أعلى الخزان بواسطة خط خروج المائع الساخن (9)، بواسطة مضخة ساخنة (10)، تدفعه خلال جهاز لاستخلاص الحرارة (11) حيث يبرد، ويعود مرة أخرى إلى الخزان بواسطة قناة دخول المائع البارد.

ويمكن إضافة أجهزة القياس اللازمة إلى العضو الحاجز والخزان حراري التدرج، لمراقبة وضبط تشغيل نظام التخزين على نحو ملائم. ويمكن أن تشمل مجموعة الأدوات المستخدمة في النظام، على سبيل المثال، مجموعة من المزدوجات الحرارية المرتبة بشكل رأسي

للحصول على توزيع رأسي لدرجات الحرارة في الخزان، وأجهزة نقل المستوى، لمراقبة الارتفاع الكلي للموائع المخزنة، الموقع الرأسي للحاجز داخل الخزان، وأفق الحاجز.

ومع أن جهاز إدخال الحرارة (7) وجهاز استخلاص الحرارة (11) ممثلان في صورة مكونات منفصلة في الشكل 1، فإنهما يعتبران في وحدات التوليد التجارية للطاقة الشمسية عادة نفس الجهاز المفرد، وعلى الأرجح مبادل حراري للزيت-إلى-الملح المصهور.

ويتألف الغلاف الخارجي السدود للمائع من الحاجز بصفة أساسية من لوح علوي، لوح سفلي ولوح إغلاق رأسي محيطي موصول مع اللوحين العلوي والسفلي.

وفي التشغيل العادي، ينشأ تدرج رأسي في درجة الحرارة عبر سماكة الحاجز، وتمثل درجات الحرارة للوحين العلوي والسفلي لغلاف الحاجز بصفة أساسية تلك للموائع المخزنة الباردة والساخنة على الترتيب. ونتيجة لهذا التوزيع لدرجات الحرارة، سيكون هناك فرق بين التمددات الحرارية للأجزاء العلوية والسفلية من الحاجز، وستنشأ حالة من الضغوط والتشوهات الناجمة عن الحرارة في غلاف الحاجز.

وبينما يمكن حل مشكلة الفرق في التمدد الحراري في المادة المالئة بسبب شكلها المحبب أو المكون من كسرات صغيرة كما سيفسر لاحقاً، تبقى هذه المشكلة قائمة بالنسبة للغلاف الخارجي للحاجز. وتزوَّد بعض سمات التصميم للحاجز من أجل حل هذه المشكلة، وتم تقديمها في تجسيدات مختلفة تم اقتراحها للحاجز.

في تجسيد أول، يكون للوح العلوي للحاجز شكل غير مستوي، على سبيل المثال شكل مخروطي أو كروي. ونتيجة لهذه السمة، تتم زيادة صلادة غلاف الحاجز بدرجة كبيرة، وبالتالي يتم الحد من الانثناء الكلي بشكل شعاعي للحاجز الكامل نتيجة التدرج الحراري.

وينبغي أن لا يكون التناقص التدريجي اللازم في اللوح العلوي واضح بدرجة كبيرة، ويفضل أن يبلغ أقصى فصل بين اللوحين العلوي والسفلي، على الحافة الخارجية للحاجز 0.5م.

وتتمثل مشكلة أخرى في الغلاف الخارجي للحاجز في الضغوط المرتفعة الموجودة في لوح الإغلاق الرأسي للغلاف، نتيجة الفرق بين التمدد الشعاعي في اللوحين العلوي والسفلي التي يجب أن تتكيف معها.

وتحل هذه المشكلة بطريقتين؛ أولاً زيادة المسافة الرأسية بين اللوحين عند المحيط، وثانياً تقليل سماكة اللوح الرأسي قدر الإمكان، بحيث تتم زيادة مرونة هذا اللوح الرأسي. ولتقليل سماكة اللوح الرأسي ميزة إضافية تتمثل في الحد من التوصيل الحراري خلال هذا اللوح من الجانب الساخن إلى الجانب البارد للخزان.

ويفضل أن يتم فصل المادة المالئة داخل الحاجز بطبقتين أفقيتين مختلفتين. ويفضل أن توضع إحدى هذه الطبقات المستخدمة لأغراض العزل، أي، تعطي الحاجز سعة العزل الخاصة به، وتكون عادة أخف من الطبقة الأخرى، فوق الطبقة الثانية. وتمثل الطبقة الثانية طبقة ضبط الكثافة، والغرض منها هو ضبط الوزن الكلي للحاجز بحيث يُحصل على الكثافة النهائية المرغوبة. وبين الطبقتين، يمكن إضافة رقيقة معدنية، بحيث تتم المحافظة على الطبقتين المالئتين منفصلتين فيزيائياً ومنع أي خلط محتمل بين مواد كلتا الطبقتين.

ويكون لمواد الطبقتين سمة إضافية تتمثل في كونها صلبة ومقاومة للانضغاط. وبهذه الطريقة، تكون المادة المالئة للحاجز بشكل رئيسي مسؤولة عن مقاومة حمل الضغط للمائع المخزن والمحافظة على حجم ثابت تقريباً للحاجز. وبهذه الطريقة، يتم تفادي البنية الثقيلة والمكلفة التي تكون للغلاف الخارجي للحاجز عندما يتم ملؤه بمادة "لينة".

وعلاوة على ذلك، للتخلص من المشكلات المتعلقة بالتشوهات الحرارية في المواد المالئة، يتم تزويد مواد الطبقتين بشكل حبيبي أو في صورة قطع صغيرة منفصلة مثلاً من الطوب، وفي تشكيلة الحاجز، توضع المواد المالئة داخل الغلاف الخارجي في صورة سائبة، دون تزويد أية قيود على النمو الحراري بين الأجزاء المختلفة. وبهذه الطريقة، يتم تفادي المشكلات المتعلقة بفرق التمدد الحراري لمكون موحَّد كبير مستقل، وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتدفق المواد المالئة في الحيز داخل الحاجز، بحيث يتم ملء كافة الفراغات والتجاويف الداخلية بشكل تقليدي.

ويعتقد أن أنواع متعددة من الطوب الحراري، بالإضافة إلى أنواع مختلفة من الصلصال الممدد في شكل حبيبي مثلاً البرليت، الفرميكوليت، أو الأرليت، طالما تضمن تعبئة أو حشو مناسب للمادة المالئة غير المعبأة بحيث لا يحدث تكديس وبالتالي لا يحدث تغير كبير في الحجم أثناء تشغيل الحاجز، تعتبر مواد ملائمة لطبقة العزل للحاجز. ويكون لهذه المواد موصلية حرارية منخفضة، صلادة ومقاومة للانضغاط ملائمتين يمكن أن تعمل عند درجات حرارة أعلى من تلك الموجودة عادة في خزانات وحدات توليد الطاقة الشمسية. وبالإضافة إلى ذلك، تعتبر مواد شائعة جداً مستخدمة في التركيب، ولها ثمن معقول.

وكما هو الحال بالنسبة لمواد الطبقة الأخرى للحاجز، تتمثل السمة الفزيائية الهامة فضلاً عن الصلادة ومقاومة الانضغاط في الكثافة. ويمكن اعتبار الرمل، الإسمنت، وأنواع أخرى من الصخور مواد ملائمة لهذه الطبقة. ومع ذلك من المرغوب الحصول على مادة عازلة واحدة في صورة مادة مالئة للحاجز، وقد لا تتوفر مادة ملائمة تحقق متطلبات الكثافة المناسبة والمقاومة الحرارية المنخفضة.

وعلى سبيل المثال، بأخذ حالة نموذجية يكون فيها المائع المخزن عبارة عن خليط من أملاح نترات مصهورة عند درجات حرارة تتراوح من حوالي 300°م إلى 400°م، بكثافات عند درجات الحرارة الساخنة والباردة قريبة من 1840 و1900 كغم/ثانية على الترتيب، يمكن أن تبلغ الكثافة اللازمة للمادة المالئة للحاجز حوالي 1000 كغم/م^3 أو أعلى من ذلك.

غير أن للمواد العازلة الملائمة المقترحة أعلاه قيم للكثافة أقل من هذا المدى، ومن المتوقع أن يكون لتصميم ملائم لحاجز لخزان ملح مصهور شائع في وحدة توليد الطاقة الشمسية وزن أقل بكثير، إذا ملئ فقط بأي من هذه المواد العازلة.

ولمعالجة هذه الحالة تقسم المادة المالئة داخل الحاجز إلى طبقتين، كما شرح سابقاً. وتعتبر إحدى هذه الطبقات مسؤولة عن تزويد سعة العزل للحاجز، وتزود الطبقة الأخرى الضبط اللازم للوزن الإجمالي، بحيث يُحصل على الكثافة المرغوبة للحاجز.

ويمكن إجراء ضبط إضافي للوزن النهائي للحاجز حال انتهاؤه وإغلاقه بشكل تام، بوصل عدد من الأثقال الخارجية به. ويمكن أن توصل هذه الأثقال الخارجية بشكل جاسئ بعضو الحاجز، أو وضع عليه ببساطة، بحيث يمكن إضافة وزنة أو إزالتها من الحاجز حالما يتم تشغيله، لضبط وزنه وكثافته بشكل إضافي. ويمكن تنفيذ هذا، على سبيل المثال، بواسطة عدد من الوزنات الموضوعة على الجانب العلوي للحاجز والتي يمكن إزالتها في أي وقت من الجزء العلوي للخزان من أجل الاستعاضة عنها بوزنات أثقل أو أخف.

وتثبَّت هذه الأثقال الخارجية بشكل دائم على الغلاف الخارجي للحاجز، باللوح السفلي أو العلوي. ويعتبر اللحام الطريقة المفضلة لوصل هذه الأثقال بالغلاف الحاجز. ومن ناحية أخرى، توضع الأثقال القابلة للضبط ببساطة على الوجه العلوي للحاجز، ويمكن إزالتها والاستعاضة عنها بوزنات أخرى أخف أو أثقل في أي وقت، بواسطة سلاسل، ترتفع إلى سقف الخزان وتخرج منه من خلال بعض الثقوب في سقف الخزان. ويمكن أيضاً استخدام أثقال قابلة للضبط لموازنة الحاجز بشكل ملائم، حسب الحاجة.

وعلاوة على ذلك، يفضل إضافة بعض ثقوب المرور إلى الحاجز. وتضاف بعض أطواق الإغلاق الرأسية لكل من الثقوب، وتلحم باللوحين العلوي والسفلي. ويمكن أن تعمل هذه الثقوب على توجيه حركة الحاجز داخل الخزان، ويمكن إجراء ذلك بواسطة أعمدة رأسية متعشقة في هذه في هذه الثقوب ومثبتة بالخزان.

وبالنسبة لأطواق الإغلاق الرأسية المستخدمة لثقوب الحاجز، ينبغي الأخذ بعين الاعتبار أنها يجب أن تلائم الفرق في التمدد الحراري الشعاعي بين اللوحين العلوي والسفلي للقشرة

الخارجية للحاجز. ولهذا السبب، يفضل أن تزوَّد على شكل وصلات تمدد أو خراطيم فلزية قابلة للانثناء، تشتمل على خط كفاف مموَّج يزودها بمرونة كافية لتلائم الفرق المذكور في التمدد الحراري بين اللوحين العلوي والسفلي للغلاف الخارجي للحاجز.

ويفضل أن تشتمل الأعمدة على قسم أنبوبي، من أجل الحد من تدفق الحرارة خلال هذه الأعمدة من الجانب الساخن إلى الجانب البارد من الخزان. ويمكن أن يكون للثقوب وظائف إضافية أخرى، مثلاً تعمل في صورة مجموعة أدوات، خطوط أنابيب، ممرات، إلخ. ووفقاً لتجسيد خاص لغلاف الحاجز، يبين فقط ترتيبة نموذجية لبعض الثقوب في الغلاف. وكما يمكن أن يلاحظ في الشكل، تستطيل الثقوب البعيدة عن المحور المركزي للحاجز في الاتجاه الشعاعي للحاجز، بحيث تلائم التمددات الشعاعية.

وتضاف بعض بنيات الضلوع التي تشتمل على جانبيات مبثوقة قياسية، إلى اللوحين العلوي والسفلي لغلاف الحاجز. وتزود ضلوع اللوح السفلي هذا اللوح بمقاومة بنيوية كافية لمقاومة وزن الحاجز قبل بدء الخدمة. ويفضل أن توضع هذه البنية فوق اللوح السفلي، وبالتالي داخل غلاف الحاجز، ويكون لها وظيفة إضافية تتمثل في تقسيم الحيز الداخلي للغلاف إلى حجرات منفصلة بغرض توجيه أفضل لوضع المواد المالئة داخل الغلاف. ومن ناحية أخرى تزيد الضلوع في اللوح العلوي صلادة هذا اللوح بحيث يتم تفادي انثناء اللوح.

وبالإضافة إلى ذلك، تعمل بنيات الضلوع للوحين العلوي والسفلي على المحافظة على المادة المالئة في المنطقة المحيطية للحاجز المتلامسة بشكل دقيق مع لوح الإغلاق الرأسي، بحيث تمنع أي فصل بين المادة المالئة ولوح الأغلاق الرأسي ناتج من الفروق بين التمددات الحرارية الشعاعية للغلاف الخارجي للحاجز والمادة المالئة الداخلية.

ومن أجل دعم الحاجز بشكل ملائم قبل بدء الخدمة، وللحد من الحركة نحو الأسفل داخل الخزان أثناء الخدمة، تثبت عدد من القوائم تحت اللوح السفلي للحاجز.

ويتم إجراء طريقة أخرى لتحسين أداء الغلاف الخارجي بالنسبة للتشوهات الحرارية بواسطة فلقات مموجة محيطية، تستخدم في المنطقة المحيطية للحاجز. وتضيف هذه السمة مرونة للقارنة بين اللوحين العلوي والسفلي للغلاف، بحيث يتم فك تقارنها بشكل جزئي عن بعضها البعض. وبهذه الطريقة، تعمل الوصلة بين اللوحين العلوي والسفلي في صورة وصلة مرنة، وبالتالي يتمكن كل من الألواح من تحقيق أبعاد التمدد المتقابلة بحرية.

ولجعل عملية الصنع أسهل، تصنع الفلقات المحيطية المذكورة من أقسام مستقيمة.

وفي تشكيلة أخرى للاختراع، يقسم الحاجز إلى عدد من الأجسام المنفصلة والمستقلة، ويشتمل كل جسم على غلاف خارجي فلزي سدود للمائع يحتوي على طبقات من المادة المالئة داخله. وكمثال، تتمثل إحدى طرق تقسيم الحاجز في تقسيمه إلى قطعة مركزية دائرية واحدة وعدد من الأقسام الحلقية الخارجية.

وتنتج ميزات هذه التشكيلة من حقيقة أنه يتم تخفيض حجم كل من الأجسام المستقلة، وبالتالي تخفيض المشكلات المتعلقة بالفرق في التمددات الحرارية في الحاجز. وبالإضافة إلى ذلك، يتم تحسين تركيب الحاجز نتيجة قابلية تركيب هذه التشكيلة.

ومن أجل تفادي أي فصل رأسي للأجسام المختلفة، يتم تركيب الأجزاء ببعضها بطريقة تضمن التحامها، بينما تتيح بعض الحرية النسبية بينها، بحيث يتحرك كل جسم كقطعة مستقلة. ويمكن تنفيذ هذا بتزويد عدد من السنادات للحافات الخارجية لكل جسم، بحيث يمكن وصل الحافات المتجاورة للأجسام المتجاورة مع بعضها البعض بواسطة سلاسل أو قيود، أو وسيلة أخرى من هذا القبيل.

وفي التشكيلات المقترحة لغلاف الحاجز، يتم تنفيذ تدفق حراري عالي خلال لوح الإغلاق الفلزي الرأسي الذي له موصلية حرارية عالية ويوصل منطقتين في الخزان حرارياً عند درجات حرارة مختلفة.

ويمكن إضافة سمة إضافية إلى الحاجز، تخفض التدفق الحراري خلال اللوح الرأسي. وتتمثل هذه السمة في إعطاء شكل منحني لخط الكفاف للوح الرأسي بدلاً من شكل مستقيم. ويحدد شكل مموّج لهذا اللوح، يحتوي على عدد من الفلقات الرأسية عليه. وبإجراء هذا، يتم تقييد مسار التوصيل خلال الفلز، ويتم تخفيض تدفق الحرارة عبر هذا المسار بدرجة كبيرة.

وتستخدم العديد من السمات الموصوفة هنا لتجسيدات مختلفة للحاجز. ومع ذلك، يمكن استخدام عدة توليفات منها لحاجز واحد. على سبيل المثال، يمكن إضافة الشكل المموّج للغلاف الخارجي للحاجز بالقرب من المحيط الخارجي بالإضافة إلى الشكل غير المستوي لأي من الألواح العلوية والسفلية لغلاف الحاجز في نفس الوقت للحاجز.

عناصر الحماية

1- خزان طاقة حرارية مزدوج يشتمل على حاجز يعوم في السطح الفاصل بين كتلتين من المائع المخزن عند درجات حرارة مختلفة نتيجة الاختلاف في الكثافة بين كتلتي المائع المذكورتين وحيث يكون للحاجز المذكور كثافة متوسطة بين كثافتي المائعين المخزنين عند درجتي حرارتهما الاسمية المختلفة

يتميز بأن الحاجز المذكور يشتمل، على الأقل،

غلاف خارجي سدود للمائع و

مادة مالئة داخل الغلاف الخارجي السدود للمائع؛

وبأن المادة المالئة المذكورة تكون مصنوعة من مادة مقاومة للانضغاط وجاسئة، وتوضع داخل الغلاف الخارجي بصورة سائبة، بدون تزويد أي تقييد على النمو الحراري بين العنصرين المختلفين.

2- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 1 يتميز بأن المادة المالئة الثانية تشتمل أيضاً على الأقل، على:

طبقة عازلة أفقية أولى؛

طبقة لضبط الكثافة أفقية ثانية.

3- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصري الحماية 1 و 2 يتميز بأن المادة المالئة الثانية تشتمل كذلك على طبقة فاصلة بين الطبقة الأفقية الأولى والطبقة الأفقية الثانية؛ بحيث يتم إبقاء الطبقتين الأولى والثانية المذكورتين في حالة مفصولة من أجل منع أي خلط محتمل بين الطبقتين.

4- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية 1، 2 و 3 يتميز بأن الغلاف الخارجي السدود للمائع يصنع من نفس مادة تركيب غلاف الخزان وفي أن المادة المذكورة تكون عبارة عن فولاذ كربوني لدرجات حرارة التشغيل العليا التي تقل عن 400°م - 450°م وفولاذ لا يصدأ لقيم درجات حرارة التشغيل العليا التي تزيد عن 400°م - 450°م.

5- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية من 1 إلى 4 يتميز بأن مواد الطبقتين الأفقيتين الأولى والثانية تـــزوّدان بشكل حبيبي أو قطع مفردة صغيرة.

6- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية من 1 إلى 5 يتميز بأن الحاجز يشتمل كذلك على مجموعة أثقال خارجية من أجل تزويد ضبط وزني إضافي أو لموازنة الحاجز بمجرد إنهاء الحاجز وإغلاقه بالكامل.

7- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 6 يتميز بأن الأثقال الخارجية تختار على الأقل من:

أثقال خارجية قابلة للضبط؛

أثقال خارجية غير قابلة للضبط.

8- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية من 1 إلى 7 يتميز بأن الغلاف الخارجي السدود للمائع للحاجز يتكون من جسم مفرد يشتمل على:

لوح علوي أول؛

لوح سفلي ثانٍ؛

لوح رأسي ثالث يغلق الحيز المحيطي بين اللوحين الأول والثاني.

9- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 8 يتميز بأن واحدة على الأقل من اللوح العلوي الأول المذكور واللوح السفلي الثاني المذكور لها شكل هندسي غير مستو.

10- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 9 يتميز بأن الشكل الهندسي غير المستوي المذكور عبارة عن شكل واحد على الأقل يختار من:

شكل هندسي مخروطي؛

شكل هندسي مضلع؛

شكل هندسي كروي.

11- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 8، يتميز بأن اللوح الرأسي الثالث

له شكل موجي أو مجعد للخط الكفافي المقطعي العرضي المحيطي للوح.

12- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية 1 إلى 11، يتميز بأن الخط الكفافي المقطعي العرضي المحيطي للغلاف الخارجي الحاجز يحتوي على عدة نتوءات مستديرة محيطية مموجة أو مستقيمة بالقرب من محيطه الخارجي، لزيادة المرونة في الوصلة بين اللوحين العلوي والسفلي للغلاف الحاجز ونتيجة لذلك يقل التشوه الحراري للغلاف الحاجز.

13- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية 1 إلى 12، يتميز بأن الحاجز المذكور يجزأ إلى عدة أجسام منفصلة ومستقلة، ويشتمل كل جسم من الأجسام على:

غلاف خارجي سدود للمائع؛ و

مادة مالئة داخل الغلاف الخارجي السدود للمائع؛

وبأن المادة المالئة المذكورة مصنوعة من مواد جاسئة ومقاومة للانضغاط، وتوضع داخل الغلاف الخارجي في صورة سائبة، دون تزويد أية قيود على النمو الحراري بين العناصر المختلفة.

14- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 13، يتميز بأن الأجسام المختلفة للحاجز ترتب بالنسبة لبعضها البعض، بحيث يتم ضمان التصاقها بينما يتم السماح بالحرية النسبية بينها، بسبب الأوتار أو السلاسل التي ترتب الأجسام المتجاورة.

15- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية 1 إلى 14، يتميز بأن الحاجز يشتمل بشكل إضافي على ثقب عابر أفقي واحد على الأقل.

16- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 15، يتميز بتزويد طوق إغلاق واحد على الأقل للثقوب العابرة للحاجز على شكل مفاصل تمددية أو خراطيم معدنية مرنة، ليكون لها مرونة كافية لاستيعاب على نحو ملائم الفرق في التمددات الحرارية بين اللوحين العلوي والسفلي للغلاف الحاجز.

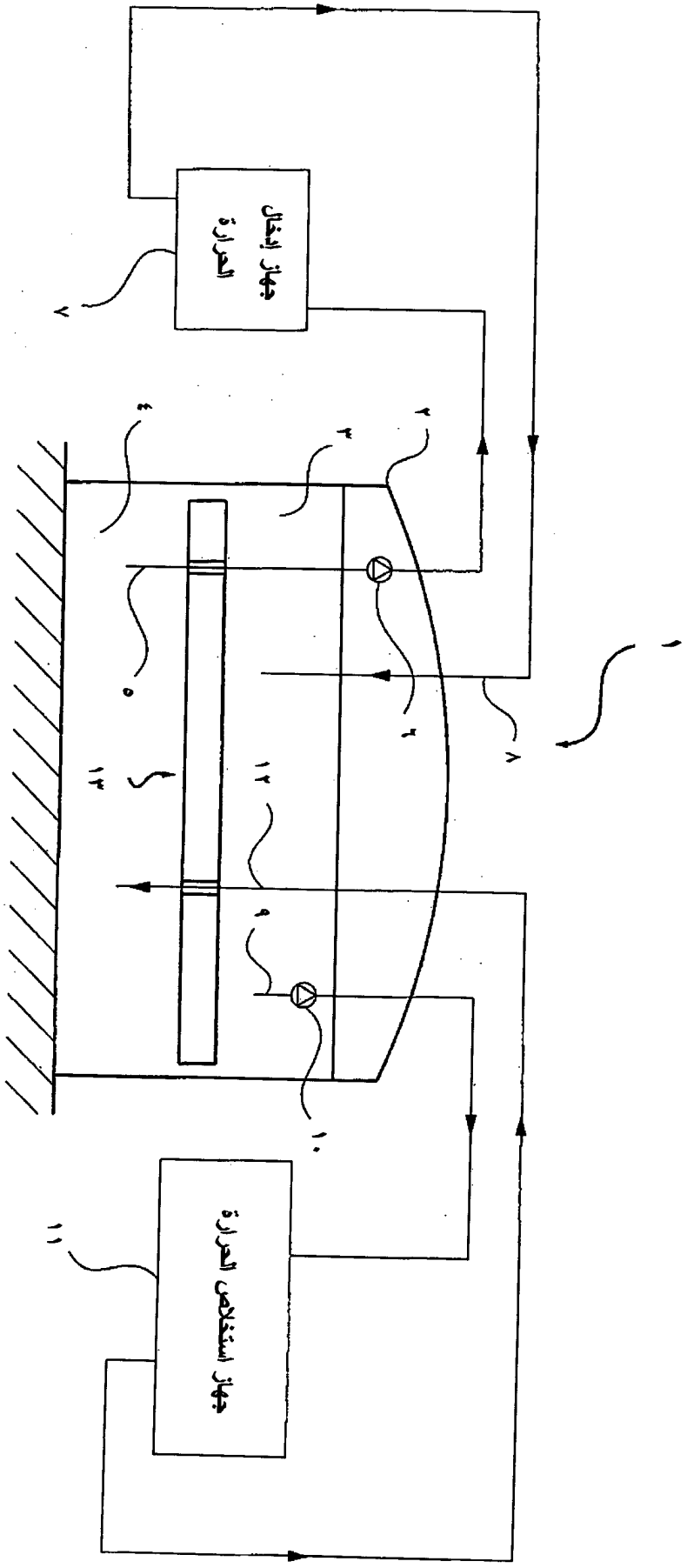
17- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 15، يتميز بأن ثقب واحد على الأقل يتعشق مع عمود واحد مثبت على الخزان.

18- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 17، يتميز بأنه يكون للعمود المذكور مقطع أنبوبي لتقليل توصيل الحرارة خلاله ولإتاحة استخدامه لأغراض أخرى، مثل تمرير المعدات أو توصيل مائع.

19- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية 1 إلى 18، يتميز بأن الحاجز يشتمل أيضاً على عدة ضلوع مرتبطة باللوحين العلوي والسفلي للغلاف الخارجي السدود للمائع، لتزويد مقاومة بنيوية.

20- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعنصر الحماية 19، يتميز بأن الضلوع المذكورة لها هدف إضافي يتمثل في منع أي فصل نصف قطري بين المادة المالئة والغلاف الخارجي السدود للمائع.

21- خزان الطاقة الحرارية المزدوج وفقاً لعناصر الحماية 1 إلى 20، يتميز بأنه تضاف عدة أرجل إلى الحاجز، لدعم وزنه ولتحديد حركته نحو الأسفل داخل الخزان.



الشكل ١