مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

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

[11] رقم البراءة: ٣٦٩٤
[45] تاريخ المنح: ١٤٣٥/١٢/٢٩ هـ
الموافـــق: ٢٠١٤/١٠/٢٣ م

[12] براءة اختراع

[72] اسم المخترع: يومي يوشيوكا، توشياكي فوسي، دايزو سايتو، بيكي تكاكو، كازيوهيرو كيتياما، كازوتوشي إيشيباشي

[73] مالك البراءة: كابوشيكي كايشا توشيبا
عنوانه: ١- ١، شيبورا ١- شوم، ميناتو - كو، ١٠٥-٨٠٠١، طوكيو، اليابان
جنسيته: يابانية

[74] الوكيل: سليمان ابراهيم العمار

[21] رقم الطلب: ١٠٩٣٠٠٣٢٣

[22] تاريخ الإيداع: ١٤٣٠/٠٦/٠١ هـ
الموافق: ٢٠٠٩/٠٥/٢٥ م

[30] بيانات الأسبقية:

JP	٢٠٠٨/١٨٨١٦١	٢٠٠٨/٠٥/٢٧ م

[51] التصنيف الدولي (IPC[8]):
B23P 06/00

[56] المراجع:

GB	٨٠٣٢٥٣	١٩٥٨/١٠/٢٢ م
GB	٨٦٠٧٣٣	١٩٦١/٠٢/٠٨ م
EP	١٦٢٣٧٨٧	٢٠٠٦/٠٢/٠٨ م
JP	٢٠٠٦ -٠٤٦١٤٧	٢٠٠٦/٠٢/١٦ م

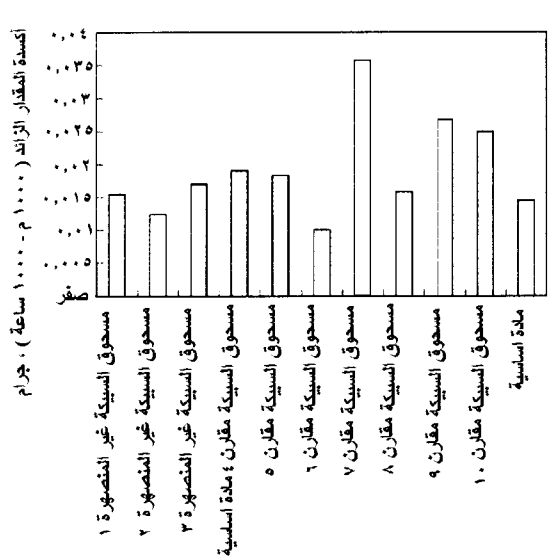
اسم الفاحص: حواس بن عبدالله محمد

[54] اسم الاختراع: مادة إصلاح باللحام وطريقة إصلاح باللحام باستخدام المادة

Brazing repair material and brazing repairing method using the material

[57] الملخص: يتعلق الاختراع الحالي بمادة إصلاح باللحام brazing repair material ٣ والتي يتم وضعها بداخل الجزء المراد إصلاحه من المادة القاعدية base materi ١ التي حدث بها فشل مثل التصدع crack ٢ والتآكل corrosion. ويتم إجراء المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment وبالتالي يتم ربط مادة الإصلاح عن طريق اللحام بشكل متكامل بالجزء المطلوب إصلاحه، تشتمل مادة الإصلاح باللحام brazing repairing على خليط مسحوق من سبيكة غير مصهورة non-molten alloy powder يكون لها تركيبة مشابهة للمادة القاعدية base materi ١ ويكون لمسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder والذي يتم صهره عند المعالجة بالانتشار تركيبة شبيهة لتلك الخاصة بمادة القاعدة ١ ومسحوق السبيكة المصهورة والذي يتم صهره عند درجة الحرارة الخاصة بالمعالجة الحرارية بالانتشار ويكون مسحوق السبيكة المصهورة عبارة عن سبيكة إصلاح باللحام تتكون من ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٥ بالكتلة ٪ من كربون ومن ٢ إلى ٥ ٪ بالكتلة من silicon ومن ١٠ إلى ٢٥ ٪ بالكتلة من chromium ومن ١٥ إلى ٢٥ ٪ بالكتلة من cobalt ومن ١ إلى ٥ ٪ بالكتلة من B وتكمل باقي النسبة من nickel مع استبعاد aluminum . وباستخدام هذا التصميم، يمكن استعادة جزء حدث به فشل مثل التصدع crack إلى خصائصه الأصلية مثل مادة القاعدة الأصلية inherent base material .

عدد عناصر الحماية (٦)، عدد الأشكال (١٠)



الشكل (١)

مادة إصلاح باللحام وطريقة إصلاح باللحام باستخدام المادة

Brazing repair material and brazing repairing method using the material

الوصف الكامل

خلفية الاختراع

يتعلق الاختراع الحالي بمادة إصلاح باللحام brazing repair material وطريقة إصلاح باللحام brazing repairing باستخدام المادة وبشكل أكثر تحديداً ، يتعلق الاختراع بمادة لحام وطريقة إصلاح من خلال اللحام قادرة على الإصلاح الفعال وتجديد الأجزاء عند درجة حرارة عالية مثل الشفرة الثابتة للتوربين الغاز gas turbine (الريشة الثابتة stator vane) والتي يتم إتلافها عن طريق الإجهاد الحراري والذي يسببه بداية تشغيل التوربين الغازي أو إيقاف عملية التشغيل. تتعرض الأجزاء ذات درجة الحرارة العالية للتلف أيضاً عن طريق التشويه الناتج عن طريق التزحف وعيوب الإجهاد والتفكك الحراري thermal degradation والأكسدة oxidation والتآكل corrosion والتحات الذي يسببه تعرض تلك الأجزاء لجو به درجة حرارة عالية. تتلف أجزاء درجة الحرارة العالية أيضاً عن طريق التصادم مع المواد الغريبة الداخلة.

يتم تصميم وحدة الطاقة ذات التوربين الغازي gas turbine power plant بحيث يتم ضغط الهواء الخاص بوقود الاحتراق عن طريق ضاغط توجيه والذي يتم توفيره بشكل متحد المحور على التوربين الغازي. يتم بعد ذلك إدخال الهواء المضغوط إلى داخل حارق، ويتم خلط الهواء مع الوقود ويتم حرق خليط الهواء والوقود وبالتالي يتم توليد غاز الاحتراق. يكون لغز الوقود الذي تم توليده درجة حرارة عالية ويتم إدخاله إلى شفرة قابلة للحركة (مروحة عضو دوار rotor vane) من التوربين الغازي من خلال قطعة متحركة وشفرة ثابتة، حيث تتم إدارة الشفرة القابلة للحركة ودفعها

للعمل بداخل التوربين الغازي gas turbine وبالتالي تتم إدارة مولد القدرة المتصل بشكل مباشر بالتوربين الغازي لكي يتم توليد الكهرباء generate electricity .

عندما تتعرض الشفرة الثابتة من التوربين وبطانة محرك الاحتراق والقطعة المتحركة إلى درجات حرارة عالية، تتكسر تلك الأجزاء أو تتمزق (تتقطع worn-out) وبالتالي تتم تغطية تلك الأجزاء بالنحاس الأصفر أو لحامها أو تغطيتها عن طريق الحرارة وإصلاحها بشكل مستمر واستخدامها بعد ذلك. وعند التشغيل لعملية الإصلاح، يتم إجراء المعالجة الحرارية (المعالجة بالحرارة heat treatment) لكي يتم التخلص من تأثير الإجهاد المتبقي عند زمن اللحام كمطلب مناسب.

وقد تم تقديم تقنية تقليدية خاصة بالإصلاح باللحام brazing repairing عن طريق الانتشار في البراءة الأمريكية رقم ٥٣٢٠٦٩٠ تحت عنوان " Process for Repairing Cobalt -based Superalloy uSilicon ng Cobalt -based Brazing Cobalt mpoSilicon tions " وطلب البراءة الياباني المتاح للإطلاع العام رقم ٢٥٤٥٤٤-٤ تحت عنوان " Modified High Temperature Brazing Alloy and USilicon ng Method Thereof " .

و تم عرض طرق معدلة لتحسين الخصائص الميكانيكية باستخدام الضغط الاستاتيكي الحراري المتماثل hot isostatic pressing (HIP) في طلب البراءة الياباني المتاح للإطلاع العام رقم ٢٠٧١٦٣-٥٧ تحت عنوان " Modified Method of MechaNickel cAluminum Properties of Alloy Part " والطلب الياباني المتاح للإطلاع العام رقم ٢١٠١٣٨-١١ تحت عنوان " ReCobalt vering ProcesSilicon ng Method Deterioration or Damage of Gas Turbine Part and Gas Turbine Part Subjected to This ProcesSilicon ng ." يكون هدف الطلب السابق هو

إلغاء التحزف أثناء تشغيل التوربين الغاز ويهدف الطلب الثاني لاستعادة الهيكل الذي تم تشويهه من خلال تشغيل التوربين الغازي gas turbine .

وتم عرض مثال لتقنية التجديد الخاصة بالشفرة الثابتة (الريشة الساكنة stator vane) والتي تتعلق بطريقة إنهاء العيب الذي تم تسببه عن طريق الزمن المستغرق في عملية التشغيل في طلب البراءة الياباني المعروف جيداً والمتاح للإطلاع العام رقم ٥٧-٦٢٨٨٤ والذي يكشف عن " welding ProcesSilicon ng Method ". تهدف الطريقة التي تم الكشف عنها في وثائق البراءات السابقة إلى التخلص من عيوب اللحام التي يتم توليدها عندما يتم استخدام أجزاء الربط التناكبي بين عجلة العضو الدوار والشفرة القابلة للتحرك (ريشة العضو الدوار) والموجودة في عجلة الجزء الدوار والتي يتم لحامها بشكل تناكبي مع بعضها البعض. ويتم التخلص من عيوب اللحام عن طريق المعالجة بـ (الضغط الحراري الاستاتيكي hot isostatic pressing المتماثل) في الجزء المعيب.

[وثيقة البراءة رقم ١] البراءة الأمريكية رقم ٥٣٢٠٦٩٠

[وثيقة البراءة رقم ٢] طلب البراءة الياباني المتاح للإطلاع العام رقم ٤-٢٥٤٥٤٤ .

[وثيقة البراءة رقم ٣] طلب البراءة الياباني المتاح للإطلاع العام رقم ٥٧-٢٠٧١٦٣.

[وثيقة البراءة رقم ٤] طلب البراءة الياباني المتاح للإطلاع العام رقم ١١-٢١٠١٣٨.

[وثيقة البراءة رقم ٥] طلب البراءة الياباني المتاح للإطلاع العام رقم ٥٧-٦٢٨٨٤.

الوصف العام للاختراع

يتم تعريض الجزء ذي درجة الحرارة العالية من التوربين الغازي gas turbine ، وبشكل خاص الشفرة الثابتة من المرحلة الأولى (المراوح الثابتة stator vanes) والتي تم وضعها عند مدخل غاز الاحتراق من التوربين البخاري إلى غاز الاحتراق الذي يشتمل على درجة حرارة عالية، حيث أنه لا يمكن تجنب حدوث العديد من الكسور التي يكون السبب الرئيسي فيها الإجهاد الحراري الناتج عن بداية التشغيل وإيقافه بالنسبة للتوربين الغازي. وبالتالي، فقد تم استخدام السبيكة التي تتكون أساساً من cobalt والتي تشتمل على خصائص مقاومة حرارية جيدة وخصائص إصلاح جيدة وذلك لتصميم شفرة ثابتة للاستخدام على مدى طويل حتى الآن.

عندما يتم حدوث تلك الكسور، يتم حدوث تحات ناتج عن الأكسدة oxidation أو التآكل corrosion ، ويتم إصلاح هذا التلف أو لحامه باستخدام طريقة لحام TIG ويتم استخدام الأجزاء التي تم لحامها مرة أخرى. وبالرغم من ذلك، تتزايد درجة حرارة التشغيل الخاصة بالتوربين الغازي gas turbine وتصبح درجة حرارة عالية ويتم استخدامها بشكل أكثر كفاءة وبالتالي تتم زيادة الأجزاء التي تم إصلاحها. تكون الأجزاء التي تم إصلاحها قابلة للتشويه عن طريق التأثير الحراري والضغط المتبقي والذي يتم توليده عند نقطة زمنية خاصة باللحام وذلك في عملية الإصلاح وعندما تصل كمية التشوه إلى مستوي عال فمن الصعب أن يتم تصحيح هذا التشويه باستخدام عمليات تصحيح التشويه التالي المختلفة.

وعلى العكس من ذلك، وطبقاً لطريقة التصليح التي تستخدم وسائل عملية اللحام عن طريق الانتشار، فيتم تحضير مادة اللحام (مسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder) وتتم إضافة مواد ذات درجة انصهار منخفضة مثل silicon أو boron أو ما شابه ذلك إلى المادة التي

تشتمل على تركيبة مشابهة لتلك التركيبة الخاصة بالمادة الأساسية وليس هناك مادة تركيبة تم تحضيرها (مسحوق سبيكة غير مصهورة non-molten alloy) والذي يشتمل على مادة مناظرة لتلك الخاصة بالمادة الأساسية. ويتم بعد ذلك خلط مادة اللحام (مسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder) عند نسبة خلط محددة مسبقاً لكي يتم تحضير المادة وتعبئة المادة المخلوطة (مادة التصليح repair material) بداخل الجزء المعيب مثل الشق أو الجزء الرفيع (الجزء ذي السمك الرفيع reduced-thickness portion). ويتم بعد ذلك، تعبئة الأجزاء المعيبة بالمادة المختلطة والتي يتم تعريضها للمعالجة بالحرارة عن درجة حرارة معالجة أقل من درجة حرارة انصهار المادة الأساسية وبالتالي، يتم ملء الشقوق بالمادة المختلطة والجزء الرفيع الذي يتم تصميمه وزيادة سمكه.

وليك يتم تحسين المقاومة للأكسدة للجزء المراد اصلاحه يتم بشكل تقليدي إضافة aluminum إلى مادة الإصلاح، وعلى نحو خاص يتم ذلك في مسحوق السبيكة غير المصهور في العديد من الحالات. وبالرغم من ذلك، لا يمكن تجنب تكوين alumina (Al_2O_3) نتيجة تفاعل aluminum مع oxygen الذي يتم تضمينه في المادة الأساسية عند بداية التداخل بين الجزء المعيب المراد إصلاحه وأشكال المادة الأساسية، حيث أن alumina تكون على هيئة غشاء في شكل شبكة عنكبوتية (غشاء له شكل شبكة). وعند ذلك تظهر مشكلة تتمثل في أنه يتم تقليل قوة الالتصاق بشكل كبير. علاوة على ذلك، فمن الصعب أن يتم تقليل أو منع عملية الأكسدة oxidation الخاصة بـ aluminum oxide ن طريق غاز H_2 والذي يكون عبارة عن طريقة اختزال بسيطة وتتمثل مشكلة أخرى في أنه لا يمكن بسهولة تطبيق طريقة الاختزال المذكورة.

وقد تم إجراء الاختراع الحالي في ضوء الظروف السابقة، ويهدف الاختراع الحالي إلى توفير مادة إصلاح باللحام brazing repair material وطريقة إصلاح عن طريق اللحام باستخدام مادة التصليح والتي تكون قابلة لاستخدامها في عملية التصليح من خلال نشر اللحام في جو مفرغ أو

في تصدع مغلق يتم توليده على سطح الجزء ذي درجة الحرارة العالية من الشفرة الثابتة من التوربين الغازي gas turbine ويتم تم تمزيقه أو إتلافه من تشغيل الماكينة الأساسية بشكل مباشر أو تتم إزالة التصدع المخلق عن طريق الكشط أو ما شابه ذلك، وتكون تلك المادة قادرة على استعادة الخصائص الجوهرية للجزء ذي درجة الحرارة العالية المناظر لمادة القاعدة الأساسية عن طريق إجراء المعالجة بالضغط تحت جو خامل به درجة حرارة عالية.

لكي يتم تحقيق الهدف السابق، توصل المخترعون الحاليون للاكتشافات التقنية التالية والخاصة بالاختراع الحالي. ومنها أن العامل الأساسي للتحكم في فترة البقاء الخاصة بالجزء ذي درجة الحرارة العالية مثل الشفرة الثابتة للتوربين الغازي هو "التشوه" الذي يتم تسببه عن طريق اللحام وعمليات الإصلاح. وبالتالي، فقد قام المخترعون الحاليون بتطوير طريقة المعالجة الخاصة بمنع التشوه وذلك باستخدام تقنية إصلاح تستخدم كل من المعالجة باللحام الحجمي والمعالجة بالدمج المضغوط (التشريب) مثل معالجة الضغط الأيزوستاتيكي الساخن hot isostatic pressing (HIP)

وطبقاً لتقنيات الإصلاح المذكورة، يتم تشكيل طبقة أكسدة alumina (Al_2O_3) عند المدخل الموجود بين المادة الأساسية ومادة الإصلاح عن طريق المعالجة الحرارية عند اللحام باستخدام غاز، وبشكل خاص oxygen الذي يتم تضمينه في المادة الأساسية. تتم زيادة محتوى oxygen عن طريق التشغيل المتواصل للتوربين الغازي. تقوم طبقة الأكسدة oxidation الخاصة بـ alumina (Al_2O_3) بتشويه مقاومة الارتباط الخاصة بالمادة المستخدمة في الإصلاح. وبالتالي، ولكي يتم منع مقاومة الارتباط الخاصة بمادة الإصلاح، من التشويه، يتم استخدام المادة التي لا تشتمل على aluminum (أي المادة الخالية من aluminum) كمادة إصلاح، والتي تكون قابلة للتنظيف بالهيدروجين بحيث يمكن إجراء عمليات التشغيل بشكل متكرر.

من المفيد أن يتم إجراء عملية التشريب ذات الدرجة العالية باستخدام المعالجة بالضغط الاستاتيكي المتماثل الساخنة hot isostatic pressing (HIP) لكي يتم تحسين مقاومة الإجهاد للجزء المراد إصلاحه (والذي تتم الإشارة إليه هنا فيما بعد "بجزء الإصلاح"). وعند وقت التشغيل للحام، يجب أن لا يتم خلط العجينة بداخل مادة الإصلاح وبالتالي، يتم توفير سياج (حافة) حول جزء إعادة الإصلاح لكي يتم منع مادة الإصلاح من التدفق وبالتالي يكون للمعالجة السابقة تأثير أكثر كفاءة ويمكن عرضه. وفي ظل تلك الظروف يتم تعبئة مادة التصليح التي في شكل مسحقو بداخل الحافة ويتم إجراء المعالجة باستخدام اللحام. ونتيجة لذلك، لا تتدفق مادة الإصلاح إلى الخارج ويمكن أن يكون جزء الإصلاح مدمجاً بشكل كبير ويتم تشريبه.

وفيما يتعلق بنسبة خلط مسحوق السبيكة غير المصهور مثل السبيكة التي أساسها cobalt والتي تتكون من مادة الإصلاح عن طريق اللحام ومسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder ، مثل السبيكة التي أساسها cobalt أو السبيكة التي أساسها nickel ، يتم ضبط تلك النسبة لمسحوق السبيكة غير المصهور عند ٠,٨ أو أكثر بالنسبة لمسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder وقطر الجسيم الخاص بمسحوق السبيكة غير المصهور والذي يتم ضبطه مرتين أو أكثر من مسحوق السبيكة المصهور ، وبالتالي يتم تحسين درجة التعبئة (درجة الملء) الخاصة بمادة الإصلاح في الجزء المراد إصلاحه يمكن استخدام طريقة الرش البارد والتي يتم فيها رش المادة عند سرعة عالية على الجزء المراد إصلاحه باستخدام غاز حامل تكون درجة حرارته حوالي ٨٠٠° م أو أقل أو يمكن استخدام تلك الطريقة كطريقة تعبئة لمادة الإصلاح عن طريق اللحام. وطبقاً لطريقة الرش البارد المذكورة فمن الممكن أن يتم رش وتعبئة وتثبيت والمادة التي تم إصلاحها على الجزء المراد إصلاحه بماد في ذلك الجزء الداخلي من التصدع.

بالإضافة إلى ذلك، فمن الممكن أن يتم حل المشكلة التي تتمثل في أن درجة دقة تشطيب finishing الجزء الذي تم إصلاحه من خلال اللحام تختلف بشكل كبير نتيجة اختلاف الحالة التي تتم فيها المعالجة (زاوية التركيب) وذلك لسطح المعالجة الخاص بالجزء المراد إصلاحه عند وقت المعالجة الحرارية.

وقد تم اكتمال الاختراع الحالي بالاعتماد على الاكتشافات التقنية التي تم وصفها أعلاه. وبالتالي يوفر الاختراع الحالي مادة إصلاح من خلال اللحام يتم استخدامها في عملية الإصلاح والتي يتم فيها تعبئة مادة الإصلاح بداخل الجزء المراد إصلاحه من المادة الأساسية التي بها أحد العيوب، مثل تصدع أو تآكل ويتم إجراء معالجة بالانتشار الحراري حيث ترتبط المادة الخاصة بالإصلاح بشكل متكامل مع الجزء المراد إصلاحه وبالتالي يتم إجراء عملية الإصلاح بشكل فعال ويتم إصلاح الجزء المعيب، حيث تتركب مادة الإصلاح باللحام brazing repairing من خليط يشتمل على: مسحوق سبيكة غير مصهور به تركيبة مشابهة لتلك الخاصة بمادة القاعدة base materi ؛ ومسحوق سبيكة مصهور يتم صهره عند درجة حرارة انتشار وحيث يكون مسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder عبارة عن سبيكة إصلاح باللحام تشتمل على كمية تتراوح من ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٥ بالكتلة٪ من C ، ومن ٢ إلى ٥ ٪ بالكتلة من silicon ومن ١٠ إلى ٢٥ بالكتلة ٪ من chromium ، ومن ١٥ إلى ٢٥ ٪ بالكتلة من cobalt ، ومن ١ إلى ٥ ٪ بالكتلة من B ، و تكمل باقي النسبة بـ nickel باستثناء aluminum.

بالإضافة إلى ذلك، وفي مادة الإصلاح باللحام brazing repairing السابقة، يفضل أن تشتمل السبيكة المصهورة المذكورة على مكونات مثل ٠,٠١ إلى ٠,٠٥ ٪ بالكتلة من C و ٢,٥ إلى ٤,٥ ٪ بالكتلة من silicon ومن ١٢ إلى ٢٠٪ بالكتلة من chromium ، ومن ١٧ إلى ٢٣ ٪ بالكتلة

من cobalt ومن ٢ إلى ٤٪ بالكتلة من boron و تكمل باقي النسبة بـ nickel ونسبة تركيب [Silicon +1.5×(C+B)] من مركبات تكون ٦ أو أكثر و٩ أو أقل.

بالإضافة إلى ذلك، وفي مادة الإصلاح باللحام brazing repairing السابقة، يفضل أن يتكون مسحوق السبيكة غير المصهورة من ١٠ إلى ٢٥ ٪ بالكتلة من nickel و١٥ إلى ٤٥ ٪ بالكتلة من chromium و من ٦ إلى ٨ ٪ بالكتلة من Ta و٠,١ ٪ بالكتلة أو أقل من tungsten أو ٠,٠٥ ٪ بالكتلة أو أقل من C و تكمل باقي النسبة بـ cobalt .

في مادة الإصلاح باللحام brazing repairing السابقة، يفضل أن يشتمل مسحوق السبيكة غير المصهورة على ٠,٠٠١ إلى ٠,٠١ ٪ بالكتلة ومن ١٨ إلى ٢٥ ٪ بالكتلة من chromium بالوزن.

في مادة الإصلاح باللحام السابقة، يفضل أن يتم تحضير مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder عن طريق إضافة من ٢ إلى ٥٪ بالوزن من silicon و ١ إلى ٥٪ بالوزن من boron من مسحوق السبيكة غير المصهورة.

يوفر الاختراع الحالي طريقة إصلاح باللحام تشتمل على:

خطوة لإجراء فحص لمادة أساسية من جزء التوربين الغازي gas turbine الذي حدث به عيباً يمكن أن يشتمل على تصدع أو تآكل بعد عملية تشغيل التوربين الغازي ويلي ذلك فصل وتنظيف جزء السطح من المادة الأساسية ويلي ذلك إجراء معالجة حرارية heat treatment لمحلول المادة الأساسية ويلي ذلك كشط جزء السطح والجزء المنخفض الذي يخترق الشق ويلي ذلك إزالة طبقة الأكسيد removing an oxide layer من جزء السطح الخاص بالمادة الأساسية ويلي ذلك إجراء معالجة أولية لعملية التقطير drip –الاختراق TIG وذلك حتى يتم اختراق التصدع penetrating crack ؛

وخطوة تشكيل تدفق مخترق يحيط بمادة الإصلاح من خلال اللحام والموجودة حول جزء الإصلاح؛

وخطوة تعبئة مادة الإصلاح باللحام brazing repairing طبقاً لأيٍ من عناصر الحماية من ١ إلى ٦، وذلك في التدفق الذي يخترق الجزء المحيط بمادة الإصلاح من خلال اللحام والتي تشتمل على خليط من مسحوق سبيكة غير مصهورة non-molten alloy يشتمل على تركيبة مشابهة للمادة الأساسية ومسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder والذي يتم صهره عند درجة حرارة خاصة بالمعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment ؛

و خطوة إصلاح باللحام brazing repairing عن طريق تكرار الخطوة السابقة عدة مرات أو المعالجة الحرارية بالانتشار عند درجة حرارة مساوية أو أقل من درجة حرارة الانصهار الخاصة بالمادة الأساسية من جزء التوربين الغازي gas turbine وتكون مساوية أو أعلى من نقطة الانصهار الخاصة بمسحوق السبيكة المصهورة وبالتالي، يتم ربطها بشكل متكامل بمادة الإصلاح باللحام في جزء الإصلاح، وذلك من خلال الدمج وتشريب المادة الخاصة بالإصلاح باللحام عن طريق إجراء المعالجة الحرارية تحت جو مضغوط heat treatment under pressurized atmosphere ؛

وخطوة إجراء التشطيب finishing بما في ذلك الجزء الذي تم إصلاحه باللحام؛ ويمكن إجراء عملية إصلاح إضافية للأجزاء المعيبة بشكل جزئي ويتم بعد ذلك عملية إصلاح للثقب البارد cooling hole؛

وخطوة إجراء المعالجة للمحلول والمعالجة الحرارية بالتعتيق aging heat treatment الخاصة بجزء مراد إصلاحه يتم تعريضه لعملية تشطيب finishing ؛ و

خطوة إعادة تجميع أجزاء التوربين الغازي gas turbine التي تم إصلاحها.

في طريقة الإصلاح عن طريق اللحام السابقة، يفضل أن يتم ضبط النسبة الوزنية الخاصة بمسحوق السبيكة غير المصهور من مادة الإصلاح باللحام brazing repairing عند ٠,٨ أو أكثر من مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ويتم ضبط قطر الجسيم من مسحوق السبيكة غير المصهورة عند مرتين أو أكثر من القطر الخاص بمسحوق السبيكة المصهور ، وبالتالي يتم تحسين درجة الملء الخاصة بمادة الإصلاح باللحام لجزء الإصلاح وتحسين قدرة التدفق الخاصة بمسحوق السبيكة في المسحوق غير المصهور وعند نهاية طرف جزء التصدع end portion of the crack .

في طريقة الإصلاح عن طريق اللحام السابقة، يفضل أن يتم ضبط النسبة الوزنية لمسحوق السبيكة غير المصهورة من مادة الإصلاح بالصهر بالنسبة لمادة الإصلاح باللحام من ١ إلى ١,٥ مرة من مسحوق السبيكة المصهور.

في طريقة الإصلاح عن طريق اللحام السابقة، يفضل أن يتم إجراء خطوة الإصلاح باللحام من خلال طريقة الضغط الأيزوستاتيكي الساخن hot isostatic pressing (HIP) والتي تكون فيها درجة حرارة التسخين قد تم ضبطها عند ١٠٠٠° م أو أكبر و١٣٠٠° م أو أقل ويتم ضبط قوة الضغط عند ١٠٠٠ ضغط جوي أو أعلى وعند ٢٠٠٠ ضغط جوي أو أقل ويتم إجراء معالجة المحلول والمعالجة بالتعتيق بعد خطوة الإصلاح عن طريق اللحام.

في طريقة التصليح بالمعالجة السابقة، يفضل أن يتم ضبط درجة الحارة في عملية الضغط الأيزوستاتيكي الساخن hot isostatic pressing (HIP) عند ١١٠٠° م أو أعلى من ذلك و١٢٦٠° م أو أقل.

في طريقة التصليح بالمعالجة السابقة، يفضل أن يتم أيضاً تشكيل التصدع في الجزء المراد إصلاحه وتتم تعبئة تركيبة مادة الإصلاح باللحام brazing repairing بداخل التصدع ويكون التصدع قريباً لتركيبة مسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder نحو الطرف العلوي من الشق من ناحية السطح الجانبي الخاص به.

٥ في طريقة التصليح بالمعالجة السابقة، يفضل أن يتم أيضاً إجراء طريقة التعبئة الخاصة بمادة الإصلاح باللحام في الجزء المراد إصلاحه وباستخدام مادة الإصلاح باللحام عن طريق استخدام تدفق غازي حامل له سرعة عالية عند درجة حرارة ٨٠٠° م أو أقل، حيث لا يتم صهر المسحوق أو أكسدته ويتم ضبط سرعة الجسيم الخاص بمادة الإصلاح باللحام عند ٣٠٠ مل/الثانية أو أعلى ويتم التصاق المادة بجزء الإصلاح أو يتم تعبئتها في الجزء المكسور.

١٠ وطبقاً لمادة الإصلاح الخاصة بالتصميم السابق ومادة الإصلاح باللحام باستخدام مادة إصلاح باللحام حيث تشتمل مادة الإصلاح على مسحوق سبيكة غير مصهور يشتمل على تركيبة مشابهة لتلك الخاصة بالمادة الأساسية من جزء مسحوق السبيكة المصهور والذي يشتمل على تركيبة تم تحديدها مسبقاً وتم استخدامها، وبالتالي فمن السهل أن يتم إصلاح وتجديد الأجزاء ذات درجة الحرارة العالية والتي تم فيها فشل أو عين مثل التصدع أو الشق، ومن المفيد أيضاً أن يتم التحسين ١٥ بشكل كبير للعملية الاقتصادية الخاصة بالتوربين الغازي gas turbine والذي يستخدم الأجزاء ذات درجات الحرارة العالية كمواد تكوينية.

<u>شرح مختصر للرسومات</u>

الشكل رقم ١: عبارة عن مخطط يبين نتائج اختبار الأكسدة oxidation الخاصة بجزء الإصلاح والذي تم إصلاحه باستخدام مادة الإصلاح باللحام brazing repairing طبقاً للاختراع الحالي ومواد إصلاح أخرى.

الشكل رقم ٢: عبارة عن مخطط يوضح بيانات مقارنة لمقاومة التزحف الخاصة بالأجزاء التي تم إصلاحها باستخدام مادة الإصلاح باللحام طبقاً للاختراع الحالي ومواد إصلاح باللحام أخرى.

الشكل رقم ٣: عبارة عن مخطط يبين مقارنة بين مقاومة إجهاد ذات دورة منخفضة للأجزاء التي تم إصلاحها من خلال مادة الإصلاح باللحام طبقاً للاختراع الحالي ومواد الإصلاح الأخرى.

الشكل رقم ٤: عبارة عن مخطط صندوقي يبين مثالاً لعملية التصميم الخاصة بتقنية الإصلاح باستخدام مادة الإصلاح باللحام طبقاً للاختراع الحالي.

الشكل رقم ٥: عبارة عن مخطط يوضح مقارنة بين تأثير التحسينات على مقاومة الإجهاد ذات الدورة المنخفضة عندما يتم تعريض الجزء الذي تم إصلاحه إلى عملية معالجة بـHIP وعندما لا يتم تعريض الجزء الذي تم إصلاحه لعملية المعالجة بـHIP .

الشكل رقم ٦: عبارة عن مسقط قطاعي تخطيطي يوضح حالة التوزيع الخاصة بالسبائك التي لم يتم صهرها والسبائك التي تم صهرها في الجزء الذي تم إصلاحه باستخدام طريقة الإصلاح عن طريق اللحام بالدمج.

الشكل رقم ٧: عبارة عن مخطط توضيحي يبين مثالاً لهيكل جهاز التغليف غير المصهور.

الشكل رقم ٨: عبارة عن مخطط يبين العلاقة بين سرعة الجسيم وكفاءة الالتصاق الخاصة بالجسيم عندما يتم جعل مادة الإصلاح باللحام brazing repairing تتصادم وتلتصق مع سطح المادة الأساسي عند سرعة عالية باستخدام جهاز غلاف غير مصهور.

الشكل رقم ٩: عبارة عن مخطط يوضح العلاقة بين سرعة الجسيم ودرجة حرارة مخرج الفوهة الخاصة بجهاز الغلاف غير المصهور.

الشكل رقم ١٠: عبارة عن مخطط يوضح العلاقة بين كفاءة الرش الخاصة بمسحوق مادة الإصلاح باللحام وقطر جسيم المسحوق عندما يتم تصادم مادة اللحام بالصهر ولصقها بسطح المادة الأساسية وذلك عند سرعة عالية باستخدام جهاز التغليف غير المصهور.

الوصف التفصيلي

سوف يتم فيما يلي وصف مادة الإصلاح من خلال اللحام وطريقة الإصلاح باللحام باستخدام مادة الإصلاح باللحام طبقاً للاختراع الحالي.

تكون المادة المُشكلة لجزء الإصلاح الذي تم عليه تطبيق الاختراع الحالي عبارة عن سبيكة أساسها Cobalt وتكون تلك المادة عبارة عن مادة لها مقاومة عالية ومادة مقاومة أيضاً لدرجة الحرارة. وبالتالي تكون المادة النموذجية منها عبارة عن مادة FSX414 ويكون لتلك المادة التركيبة التي تم توضيحها في الجدول رقم ١ التالي. يكون للسبيكة غير المصهورة التي تشكل مادة الإصلاح باللحام brazing repairing التي تم تحديدها في الاختراع الحالي تركيبة مشابهة للمادة الأساسية من الجزء المذكور أعلاه.

الجدول رقم ١

boron	Cobalt	Iron	TUNGSTEN	Chromium	Nickel	Silicon	Mn	C
٠,٠١٢	Bal.	٠,٦٢	٧,٠٤	٢٩,٥٣	١٠,٥٩	٠,٧٨	٠,٤٢	٠,٢٦

من الضروري أن تكون السبيكة المصهورة التي تشكل مادة الإصلاح عن طريق اللحام التي تم تحديدها في الاختراع الحالي مستقرة من ناحية الهيكل حتى بعد أن يتم مزجها مع السبيكة غير المصهورة والتي يكون لها تركيبة مشابهة لتلك الخاصة بالمادة الأساسية للجزء السابقة، وتكون الخصائص الخاصة بتلك المواد متشابهة. ولكي يتم تثبيت هيكل السبيكة المصهورة بعد التشغيل لعملية الإصلاح، تشتمل السبيكة التي تم صهرها على nickel وهو عبارة عن عنصر تثبيت مصنوع من الأستينيت كمكون رئيسي ويشتمل على ١٠٪ بالكتلة أو أكثر من chromium وبالتالي يتم تحسين المقاومة لعملية الأكسدة oxidation . ولكي يتم استقرار الهيكل الخاص بالأستنيت، تم ضبط محتوي chromium إلى ٢٥٪ أو أقل ويفضل في مدى من ١٢٪ أو أكثر و ٢٠٪ أو أقل ويفضل أن يكون في مدى من ١٢٪ أو أكثر و ٢٠٪ أو أقل.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن إضافة الكوبالت في مدى من ١٥ ٪ أو أكثر و ٢٥ ٪ أو أقل وذلك في الجزء المدمج بين المادة الأساسية ومسحوق السبيكة غير المصهورة كمكون خاص باستقرار الهيكل. يقوم boron بتقليل نقطة الانصهار الخاصة بالسبيكة وتحسين قابلية الترطيب wettability وقابلية التدفق أثناء المعالجة بنشر الحرارة الخاصة بمسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder وتتم إضافة ١٪ أو أكثر من boron ولكي يتم منع طور البروميد boride phase من التشكيل يتم ضبط الحد الأعلى للبورون عند ٥٪ أو أقل ويفضل أن يكو B في مدى من ٢٪ أو أكثر و ٤ ٪ أو أقل.

وبالإضافة إلى ذلك، يتم أيضاً إضافة كل من الكربون و silicon لكي يتم الحصول على أقل تأثير لنقطة الانصهار على السبيكة المنصهرة. وفيما يتعلق بتقليل تأثيرات نقطة الانصهار الخاصة بـ كربون و silicon ، يتم ضبط نقطة الانصهار بحيث تصبح مساوية لدرجة حرارة الانتشار حيث تصبح نقطة الانصهار أقل من نقطة الانصهار الخاصة بالمادة الأساسية والتي تكون فيما بين -

٥٠ْ م إلى -١٠٠ْم. وعلى نحو مشابه يتم ضبط محتويات C في نطاق من ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٥ ٪ بينما يتم ضبط silicon في مدى من ٢ إلى ٥٪ بالوزن، ويفضل أن يتم الحساب طبقاً لـ silicon + ١,٥ × (B+ carbon) والتي تصبح ٦ أو أكثر و ٩ أو أقل.

تُشكل تركيبة المسحوق غير المصهور مادة الإصلاح باللحام brazing repairing التي تم تحديدها في الاختراع والتي تكون مشابهة لمادة FSX414 والتي تكون عبارة عن مادة قاعدية والتي تمنع المشكلات التي يسببها الاختلاف في الدمج بالنسبة للمادة الأساسية والخصائص بعد اكتمال التشغيل لعملية الإصلاح.وعند الوصول إلى التركيبة المجردة من المسحوق المصهور، تتم إضافة ١٥٪ بالوزن أو أكثر من chromium لكي يتم الوصول إلى مقاومة أكسدة ممتازة وعندما يزيد المحتوى عن ٤٥٪ ، يتم ترسيب طور σ بحيث يكون الهيكل الفلزي غير مستقر، وبالتالي يكون الحد العلوي من محتوى chromium مقتصراً على مدى من ٤٥٪ أو أقل. يفضل ضبط محتوى chromium في مدى من ١٨٪ أو أكثر و٢٥٪ أو أقل.

علاوة على ذلك، يكون nickel عبارة عن مكون فعال في استقرار الهيكل الأستونيتي عند منطقة درجة الحرارة المنخفضة، حيث تتم إضافة ١٠٪ بالوزن أو أكثر من nickel . وبالرغم من ذلك، إذا تمت إضافة كمية أكبر من ٢٥٪ بالوزن من nickel ، فإن المقاومة في منطقة درجة الحرارة يتم انتهاكها بشكل كبير. وبالتالي فإن كمية nickel المراد إضافتها يتم ضبطها عند ٢٥٪ بالوزن أو أقل.

وفي حالة المادة الأساسية التي يكون لها خاصية مقاومة للحرارة حوالي ٧٪ بالوزن يتم بشكل عادي إضافة tungsten . وبالرغم من ذلك، وفي الاختراع الحالي، تتم إضافة Ta التي لها نفس الكمية (من ٦ إلى ٨٪) بدلاً من tungsten لكي يتم تجنب عدم الاستقرار في الهيكل الذي يسببه تكوين

طور σ وبالتالي يتم ضبط نقطة الانصهار الخاصة بالمسحوق غير المنصهر وتحسين الترسيب عن طريق الكربون.

وبالنسبة لمسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ، يمكن إضافة ٢ إلى ٥ ٪ بالوزن من silicon و ١ إلى ٥ ٪ بالوزن من B إلى مسحوق السبيكة غير المصهور لكي يتم خفض نقطة الانصهار وبالتالي، يمكن استخدام مسحوق السبيكة الناتج كسبيكة مصهورة.

وكمادة أساسية، يمكن تطبيق الاختراع الحالي ليس فقط على مادة FSX414 ولكن أيضاً على أي سبيكة أخرى أساسها cobalt أو سبيكة أساسها nickel تشتمل على ١٥ إلى ٣٠ ٪ بالوزن من chromium .

المثال رقم ١

تم ضبط المساحيق الخاصة بكل سبيكة مصهورة في الأمثلة والأمثلة المقارنة بحيث تشتمل على التركيبات الموضحة في الجدول رقم ٢ والتي تم تحضيرها. وفيما يتعلق بمساحيق السبيكة المصهورة، تم تقييم المساحيق التي تم تحضيرها بهذه الطريقة والقابلية للترطيب والمادة الخاصة باللحام واستقرار المادة بالاعتماد على طريقة اختبار فجوة القابلية للترطيب التي يتم استخدامها كطرق اختبار قابلة للترطيب خاصة بمادة اللحام كما تم توضيح ذلك في المقاييس الصناعية اليابانية (JIS Z3191).

وبالإضافة إلى ذلك وبالاعتماد على تلك المقاييس يتم إدخال الأنبوب الداخلي B inner tube يكون له قطر خارجي حوالي ١٣,٥ مم وقطر داخلي حوالي ٨,٥ مم داخل الأنبوب الخارجي outer tube A الذي يشتمل على قطر خارجي يكون ١٩ مم وقطر داخلي ١٤ مم. وبعد ذلك، تم وضع ١٠ جم من مسحوق سبيكة مصهور على الجزء المنخفض من الأنبوب الخارجي A. تم تسخين التجميعة

إلى درجة حرارة حوالي ١٢٠٠° م في جو مفرغ وتم تثبيتها عند هذه الحالة لمدة ٣٠ دقيقة. وفي ظل تلك الحالة ، يتم قياس الارتفاع الأكبر لكل مادة لحام الذي يعمل على زيادة الفجوة بين الأنابيب الداخلية والخارجية عن طريق التأثير الشعري capillary action ، حيث أن أداء اللحامل لكل مسحوق سبيكة لحام قد تم تقييمه على أساسي الاختلاف بين الجزء الأضيق والجزء الأوسع من الفجوة وأيضاً بالاعتماد على الارتفاع الأعلى لكل مادة لحام. تم توضيح نتيجة الاختبار في الجدول رقم ٢.

تم تقييم الاستقرار الخاص بالهيكل بالاعتماد على وجود أو غياب طور البوريد boride phase سريع التشقق أو الأصلب وذلك عن طريق ملاحظة الهيكل بعد اختبار القدرة على الترطيب wettability الخاص بالفجوة gap . تم توضيح نتيجة التقييم في الجدول رقم ٢

الجدول رقم ٢

المادة	c	Silicon	Nickel	Chromium	Cobalt	boron	+Silicon (C) × ١,٥ (B+)	نتيجة اختبار القدرة على الترطيب الخاص بالفجوة	استقرار الهيكل
مسحوق السبيكة المصهورة رقم ١الخاصة بالاختراع	٠,٠٠٢	٣,٩	BAluminum	١٣,٠	٢٠,٠		٢,٦	◎	○
مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder رقم ٢الخاصة بالاختراع	٠,٠٠١	٣,٠	BAluminum	١٢,٠	١٨,٠	٢,٤	٦,٦	○	○
مسحوق السبيكة المصهورة رقم	٠,٠٠٣	٣,٠	BAluminum	١٢,٠	٢١,٠	٢,٩	٧,٤	◎	○

٣الخاصة بالاختراع									
مسحوق السبيكة المصهورة رقم ٤ الخاصة بالاختراع	٠,٠٠٢	٤,٧	BAluminum	١٢,٠	٢٠,٠	٢,٤	٨,٣	○	○
مسحوق السبيكة الخاصة بالمثال المقارن ١	٠,٠٠٢	٢,٠	BAluminum	١٣,٠	٢٠,٠	٤,٠	٨,٠	Δ	×
مسحوق السبيكة الخاص بالمثال رقم ٢	٠,٠٠٢	٣,٩	BAluminum	١٣,٠	٢٠,٠	٤,٠	٩,٩	×	×
مسحوق السبيكة الخاص بالمثال رقم ٣	٠,٠٣٠	٥,٠	BAluminum	١٤,٠	٢٢,٠	٣,٠	٩,٥	Δ	Δ

وكما هو واضح من النتائج في الجدول رقم ٢، ومن بين مجموعات مسحوق السبيكة التي تم صهرها الخاصة بأمثلة بالاختراع، تكون مساحيق السبيكة المصهورة لكل نسبة مكون تم تحديدها عن طريق silicon + ١,٥ (كربون + برون) قريبة من ٦ والتي تكون قمية حد أقل لها ارتفاع أقل من المادة الخاصة بالاندماج والتي تعمل على زيادة تلك الفجوة أيضاً. إذا وصلت نسبة المكونات إلى حوالي ٩، فيكون هناك اتجاهاً لزيادة الكمية بحيث تكون أكبر من الجزء الذي له فجوة أضيق بين الأنابيب الداخلية والأنابيب الخارجي. وعلى العكس من ذلك، يكون للجزء الأوسع نسبة ارتفاع أصغر وتتزايد الاختلافات الخاصة به.

وفي هذه الوثيقة، تم تقييم نتيجة الاختبار بطريقة أوضحت أن مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder يكون له قيم مرجعية مُرضية (قيم قياسية)وذلك باستخدام العلامة ◎ ، ويمكن أن يشتمل مسحوق السبيكة المصهورة على أي قيمة قريبة للقيمة المرجعية التي تم توضيحها بالعلامة ○ ويشتمل مسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder على واحدة من القيم التي لا تصل

إلى القيمة المرجعية التي تم توضيحها باستخدام العلامة Δ ، ومسحوق السبيكة المصهورة التي تشتمل على كل القيم التي لا تصل إلى القيم المرجعية التي تم توضيحها بالعلامة ×.

يمكن تأكيد أن مجموعات مساحيق السبائك المصهورة في أي من الأمثلة أظهرت قابلية ممتازة للترطيب، وكان لها أداء ممتاز للحام كمسحوق سبيكة مصهورة. علاوة على ذلك فإنه اتضح أيضاً أن مقدار تكوين طور بوريد خشن وهش من حيث البنية كان صغيراً وكان ثبات البنية ممتازاً.

المثال رقم (٢)

تم تحضير مجموعات مساحيق السبيكة غير المصهورة في الأمثلة والأمثلة المقارنة ولها التركيبة الموضحة في الجدول رقم (٣أ). علاوة على ذلك، تم تحضير مجموعات مساحيق السبيكة المصهورة في الأمثلة والأمثلة المقارنة ولها التركيبة الموضحة في الجدول رقم (٣ب). تم خلط مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ومسحوق السبيكة غير المصهورة عند نسبة وزنية ٥: ٧، وبالتالي تحضير مواد الإصلاح باللحام brazing repairing المناظرة.

من جهة أخرى، تم تشكيل مادة أساسية متكونة من مادة FSX414 وبها فجوات وكل منها له اتساع ٦ مم، وبالتالي يتم تحضير جزء الإصلاح (الجزء المطلوب إصلاحه) كقطعة تخضع للاختبار والخروج بتقييم. ومن ثم، تتم تعبئة مواد الإصلاح باللحام (مسحوق مخلوط) في الفجوات. وبعد ذلك تتم المعالجة بنشر الحرارة لمدة ٢٠ دقيقة عند درجة حرارة ١٢٠٠° م وبعد هذا يتم إخمادها. بالتالي، تمت المعالجة الحرارية بالمحلول solution heat treatment عند درجة حرارة ١١٥٠° م لمدة ٤ ساعات ومعالجة حرارية heat treatment بالتعتيق عند درجة حرارة ٩٨٢° م لمدة ٤ ساعات وذلك على هيئة معالجة حرارية للمادة الأساسية FSX414، وتم تقييم سمات الجزء الذي تم إصلاحه.

كمسحوق سبيكة مصهورة مُستخدم لمقارنة مسحوق السبيكة غير المصهورة ٨ الموضحة في الجدول رقم (٣ب)، تم استخدام مسحوق تم تحضيره بإضافة نفس المقدار من aluminum على هيئة مقدار مسحوق السبيكة المصهورة المحددة في الاختراع الحالي.

بعد تعريض أجزاء الإصلاح التي تمت فيها تعبئة مادة الإصلاح باللحام brazing repairing للمعالجة الحرارية بالانتشار، تم قياس مقاومة الأكسدة oxidation ، وشدة التزحف وزمن الإجهاد ذي الدورة المنخفضة للجزء الذي تم إصلاحه الذي تعرض للمعالجة الحرارية بالمحلول والمعالجة الحرارية بالتعتيق aging heat treatment .

في هذا الصدد، تم قياس مقاومة الأكسدة oxidation للجزء الذي تم إصلاحه على هيئة المقدار الزائد للأكسدة (بالجرام) عند تسخين الجزء المطلوب إصلاحه حتى درجة حرارة ١٠٠٠° م لمدة ١٠٠٠ ساعة. وتم قياس شدة التزحف على هيئة زمن التمزق بالتزحف (بالساعات) في الحالة التي فيها يتم استخدام إجهاد شد ١٠٣,٤ ميجا بسكال عند درجة حرارة ٨١٦° م.

تم قياس زمن الإجهاد ذي الدورة المنخفضة كأزمان متكررة للعملية إلى أن يحدث الإجهاد الكلي ٠,٤٪ عند ٨١٦° م.

نتيجة للقياس الموضح في الجدل رقم (٣أ) والأشكال من (١ إلى ٣). يتم في الجدول رقم (٣أ)، توضيح النتيجة والتي تم فيها استخدام مجموعات مساحيق السبيكة في المثال المقارن والنتيجة عندما يتم فقط استخدام المادة الأساسية في حد ذاتها كما هي.

علاوة على ذلك، يتم أيضاً توضيح النتيجة حيث تتم عملية الإصلاح باللحام brazing repairing TIG التقليدية في الجدول رقم (٣أ) والشكل رقم (٣).

[الجدول رقم ٣] - أ

المادة	C	Nickel	Chromium	w	Cobalt	Ta	Iron	Ai	مقاومة الأكسدة	مقاومة التزحف	مقاومة الاجهاد	التقييم الكلي
مسحوق السبيكة المصهورة للاختراع ١	٠,٠٠٢٦	٢٠,٧٠	١٩,٢٠	٠	Bel.	٦,٦	٠	٠,٠	O		O	O
مسحوق السبيكة المصهورة للاختراع ٢	٠,٠٤٠٠	٢٤,٥٠	٤٤,٠٠	٠	Bel	٧,٥	٠	٠,٠		O	O	O
مسحوق السبيكة المصهورة للاختراع ٣	٠,٠٠١٠	١٠,٠٠	١٥,٠٠	٠	Bel	٦,٠	٠	٠,٠	O		O	O
مسحوق السبيكة المثال المقارن رقم ٤ (تركيبة المادة الاساسية)	٠,٢٦٠٠	١٠,٦٠	٢٩,٥٠	٧,٠٤	Bel	٠	٠,٦٢	٠,٠	O	Δ	×	×
مسحوق السبيكة المثال المقارن ٥	٠,٠٠٣٠	٣٠,٠٠	٢٠,٠٠	٠	Bel	٦,٥	٠	٠,٠	O	Δ	×	×
مسحوق السبيكة المثال المقارن ٦	٠,٠٠٣٠	١٥,٠٠	٤٩,٠٠	٠	Bel	٦,٥	٠	٠,٠		Δ	×	×
مسحوق السبيكة المثال المقارن ٧	٠,٠٠٢٠	٢١,٠٠	١٠,٠٠	٠	Bel	٥,٠		٠,٠	×	O	Δ	×
مسحوق السبيكة المثال المقارن ٨	٠,٠٠٢٦	٢٠,٧٠	١٩,٢٠	٠	Bel	٦,٦	٠	٣,٠	O	Δ	×	×
مسحوق السبيكة المثال المقارن ٩	٠,٠٦٠٠	٢٠,٧٠	١٩,٢٠	٠	Bel	٦,٦	٠	٠,٠	Δ	Δ	Δ	Δ
مسحوق السبيكة المثال المقارن ١٠	٠,٠٤٠٠	٢٠,٧٠	١٩,٢٠	٠	Bel	٩,٠	٠	٠,٠	Δ	Δ	O	Δ
المادة الاساسية (FSX414)	٠,٢٦٠٠	١٠,٥٩	٢٩,٥٣	٧,٠٤	Bel	٠	٠,٦٢	٠,٠			O	-
لحام TIG	-	-	-	٠	-	-	-	-	-		O	-

- ب -

المادة	C	Silicon	Nickel	Chromium	Cobalt	B	Ai
مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder للاختراع	٠,٠٠٢٠	٣,٢	Bal.	١٧,٠	٢٠,٠	٢,٥	٠,٠
مسحوق السبيكة المثال المقارن ٨	٠,٠٠٢٠		Bal.	١٧,٠	٢٠,٠	٢,٦	٣,٠

على النحو الموضح في الجدول رقم (٣أ) والأشكال من ١ إلى ٣، عندما يكون محتوى chromium أقل من ١٥٪ كما في مسحوق السبيكة المقارن ٧، فإنه تأكد تدهور مقاومة الأكسدة oxidation . علاوة على ذلك، عند استخدام سبيكة تمت إضافة ٣٪ بالوزن من aluminum إليها كما في مسحوق السبيكة المقارن ٨، كان مقدار الأكسدة الزائدة صغيراً وكانت مقاومة الأكسدة ممتازة. على الرغم من ذلك فإنه تشكل أكسيد عند الحد البيني للجزء الذي تم إصلاحه، ونتيجة لذلك، تدهورت مقاومة التزحف بدرجة طفيفة وتدهورت مقاومة الإجهاد ذي الدورة المنخفضة بدرجة طفيفة.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن أيضاً تأكيد أنه إذا ما تمت إضافة nickel ، وchromium ، وC بدرجة زائدة، فإن بنية السبيكة الناتجة تتعرض لعدم الثبات. وبصفة خاصة، يمكن أيضاً تأكيد أنه إذا ما تجاوز محتوى chromium ٤٥٪ بالوزن كما في مسحوق السبيكة المقارن ٦، يترسب الطور الهش مثل طور σ، لذا تدهورت مقاومة التزحف ومقاومة الإجهاد ذي الدورة المنخفضة.

(المثال رقم (٣))

بنفس الطريقة في المثال رقم (١)، تمت إضافة كربون ، وبرون، وsilicon على هيئة عناصر تقليل نقطة الصهر إلى مسحوق السبيكة الموضح في المثال رقم (٢) الذي له التركيبة المشابهة للمادة

الأساسية، لذا تم تحضير العديد من مجموعات مساحيق السبيكة المنصهرة في الجدول رقم (٤). بعد ذلك، تم تقيم الترطيب wettability (خاصية الربط) للمادة المستخدمة في اللحام.

في المثال الحالي أيضاً، تم اختبار ترطيب الفجوة بناء على طريقة اختبار الترطيب المحددة في JIS Z3191 بنفس طريقة المثال رقم (١). بالإضافة إلى ذلك تم اختبار النشر لمادة اللحام، وكذلك الترطيب، والقابلية لتدفق مادة اللحام.

إن اختبار نشر المادة لمادة اللحام هو طريقة يتم فيها احتجاز ٠,١ جرام من مادة اللحام لمدة ٣٠ ثانية عند درجة حراة اللحام وبعد ذلك يتم إخمادها، وتتم مقارنة القابلية للترطيب طبقاً لحجم مساحة الانتشار. نظراً لأنه من المفترض أن لمسحوق السبيكة في هذا المثال ٣ خواص ترطيب وتدفق متدنية، فإنه يتم بصورة إضافية اختبار الانتشار لمادة اللحام. وتم توضيح نتيجة تقيم القياس في الجدول رقم (٤).

[الجدول رقم (٤)]

المادة	C	Si	Ni	C	C	B	Ta	Si+1.5(C+B)	نتيجة اختبار ترطيب الفجوات	اختبار الانتشار
مسحوق السبيكة المصهورة ٥ وفقاً للاختراع	٠,٠٠	٣,	٢٠,	١٩,	Bal.	٢,٦	٦,	٧,	◎	◎
مسحوق السبيكة المصهورة ٦ وفقاً لاختراع	٠,٠٥	٣,	٢١,	٢٠,	Bal.	٢,٥	٧,	٦,	◎	◎
مسحوق السبيكة المصهورة ٧ وفقاً لاختراع	٠,٠٠	٤,	١٩,	١٨,	Bal.	٢,٩	٦,	٨,٤	○	◎
مسحوق السبيكة المقارنة ١١	٠,٠٠	٢,	٢٠,	١٩,	Bal.	٣,٥	٦,٦	٧,	◎	◎
مسحوق السبيكة المقارنة ١٢	٠,٠٠٣	٥,	٢٠,	١٩,	Bal.	٢,٦	٦,٦	٩,١	×	◎
مسحوق السبيكة المقارنة ١٣	٠,٠٣	٣,	٢٠,	١٩,	Bal.	٢,٦	٦,٦	٧,	◎	◎

على النحو الموضح من النتائج في الجدول رقم (٤)، يمكن تأكيد أنه إذا ما تمت إضافة C، وB، وSilicon بمقادير ضمن المدى المحدد مسبقاً كعناصر تقليل نقطة الانصهار بنفس الطريقة كما في المثال رقم (١)، ويمكن استخدام السبيكة المنصهرة دون التسبب في أية مشكلات خاصة بالقابلية للتدفق، والقابلية للترطيب واللتين تمتعتا بأهمية كبيرة في المرحلة الأولية.

بعد ذلك، تم خلط مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder المشتمل على سبيكة أساسها cobalt ومسحوق السبيكة غير المنصهرة ٤ المشتمل على السبيكة التي أساسها تركيبة مشابهة للمادة الأساسية وبالتالي لتحضير مادة إصلاح باللحام brazing repair material ، ونفس اختبار الإصلاح كما في المثال رقم (٢).

يتم توضيح أن تركيبات مسحوق السبيكة المصهورة ٨ ومسحوق السبيكة غير المصهورة ٤ المستخدمة في الاختراع الحالي في الجدول رقم (٥) (يناظر مسحوق السبيكة المصهورة ٥ للاختراع الحالي المبين في الجدول رقم (٤) مسحوق السبيكة المصهورة ٨ للاختراع الحالي الموضح في الجدول رقم (٥)).

يتم خلط مسحوق السبيكة المصهورة ٨ ومسحوق السبيكة غير المصهورة ٤ بحيث تصبح النسبة بالوزن ٥: ٧، لذا تم تحضير مادة الإصلاح باللحام brazing repairing . تشكلت مادة أساسية من المادة FSX414 وبها فجوات وكل منها له اتساع ٦ مم، وبالتالي يتم تشكيل جزء إصلاح لتقييم الاختبار. وبعد ذلك تمت تعبئة مواد الإصلاح باللحام (المساحيق المخلوطة) وتم حقنها في الفجوات. وبعد ذلك، تمت المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment عند نفس الظروف كما في المثال رقم (٢)، وتم تقيم سمات الجزء الذي تم إصلاحه. وتم توضيح نتيجة القياس في الجدول رقم (٥) فيما يلي.

[الجدول رقم (٥)]

المادة	C	S	N	Cr	Co	B	T	Si+1.5(C+B	مقاومة الأكسدة	مقاومة التزحف	مقاومة الإجهاد منخفض الدورة	التقيم الكلي
مسحوق السبيكة المصهورة ٨ وفقاً للاختراع	٠,٠٠٣	٣,٩	٢٠,٧	١٩,٢	Bal.	٢,٦	٦,٦	٧,٨	○	◎	◎	◎
مسحوق السبيكة غير المصهورة ٤ وفقاً للاختراع	٠,٠٠٢٦	—	٢٠,٧	١٩,٢	Bal.	—	٦,٦	—				

على النحو الموضح من نتائج الجدول رقم (٥)، حتى في الحالة التي يتم فيها خلط مسحوق من مادة الإصلاح باللحام brazing repairing المشتملة على مسحوق السبيكة المصهورة الذي أساسه Cobalt ويُستخدم مسحوق السبيكة غير المصهورة ٤، فإنه يمكن أيضاً تأكيد إمكانية الحصول على نفس السمات أو أكثر تميزاً من تلك التي يتم الحصول عليها عند استخدام مسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder الذي أساسه Nickel .

المثال رقم (٤)

بعد ذلك يتم شرح مخطط سير عمليات طريقة الإصلاح باللحام brazing repairing بواسطة مادة الإصلاح باللحام وفقاً للاختراع. بالإضافة إلى ذلك، سوف يتم شرح درجة حرارة المعالجة، عمليات المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment التي يجب إجراؤها في العديد من الأوقات، وعملية خلط مادة الإصلاح في جزء منبسط دون استخدام معجون.

يشتمل إجراء المعالجة لطريقة الإصلاح باللحام brazing repairing وفقاً للاختراع على الخطوات التالية كما هي موضحة في أيضاً في الشكل رقم (٤).

يشتمل إجراء المعالجة بطريقة الإصلاح باللحام وفقاً للاختراع الحالي على خطوات:

(١) تأكيد الوصول؛ ←

(٢) تفكيك لوحة الاصطدام/ سدادة القلب؛ ←

(٣) عملية إزالة طبقة الأكسيد removing an oxide layer السطحية/ النمو الالتحامي بالنفخ؛ ←

(٤) فحص عدم التدمير مثل اختبار الكشف عن العيوب بالموجات فوق الصوتية واختبار الكشف عن العيوب بأشعة X؛ ←

(٥) ترقيق سطح الجزء المطلوب إصلاحه؛ ←

(٦) تنظيف hydrogen ؛ ←

(٧) معالجة لمنع التقطير لمادة الإصلاح المستخدمة في إحكام السد وعمليات اللحام للصدع النافذ؛ ←

(٨) عملية منع تدفق مادة الإصلاح، خلط المسحوق المنصهر والمسحوق غير المنصهر، وتعبئة مادة الإصلاح في جزء الإصلاح؛ ←

(٩) المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment والتي فيها تتكرر الخطوة (٨) و(٩) لأجزاء الإصلاح المناظرة (أسطح المعالجة)؛ ←

(١٠) فحص عدم التدمير والإصلاح بالملء للجزء الذي يتعرض لفشل الإصلاح؛ ←

(١١) معالجة HIP؛ ←

(١٢) فحص عدم التدمير والإصلاح بالملء للجزء الذي يتعرض لفشل الإصلاح؛ ←

(١٣) عملية التشطيب finishing ؛ ←

(١٤) تبريد تكوين الفتحات cooling hole forming ؛ ←

(١٥) المعالجة الحرارية بالمحلول solution heat treatment ؛ ←

(١٦) المعالجة الحرارية بالتعتيق aging heat treatment ؛ ←

(١٧) تجميع سدادة القلب core plug assembling ؛ ←

(١٨) الفحص قبل الشحن inspection prior to shipment

في الخطوة السابقة للإصلاح باللحام brazing repairing ، لتوضيح تأثير المعالجة بـ HIP بدرجة كافية والذي يتم لضغط وتكثيف الجزء الذي تم إصلاحه عند معالجة تالية، فإنه يُفضل استخدام مادة الإصلاح باللحام ، ومسحوق مخلوط ميكانيكياً والذي فيه يتم فقط خلط مسحوق السبيكة المصهورة ومسحوق السبيكة غير المصهورة دون استخدام مادة معجون paste material

في هذه الحالة، تكون اللزوجة الظاهرة لمادة الإصلاح باللحام brazing repairing صغيرة وتتدفق بسهولة. بالتالي، لمنع مادة الإصلاح باللحام من التحرك، فإنه من المفضل ضبط زاوية ميل لسطح المعالجة للجزء المطلوب إصلاحه بالنسبة للسطح الأفقي حيث تكون عبارة عن ٣٠° أو أقل، وتتم معالجات التعبئة لمادة الإصلاح باللحام والمعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment .

نظراً لإجراء منع مادة الإصلاح من التدفق، فإنه يمكن استخدام مسحوق مخلوط والذي يتم فيه خلط عامل المعجون في مادة الإصلاح باللحام (المسحوق المخلوط) لتعزيز اللزوجة، أو يمكن استخدام الإجراء الذي فيه تتم إحاطة محيط الجزء المطلوب إصلاحه بواسطة شريط واقي من الحرارة.

على النحو الموصوف فيما سبق لمنع مادة الإصلاح باللحام brazing repairing من التدفق أو التحرك، فإن من الفعال الاحتفاظ بسطح المعالجة أفقياً أو تقريباً على نحو أفقي. عند توليد العديد

من الأجزاء التالفة في جزء ذي درجة حرارة عالية، فإن من الضروري تكرار الإجراء في الخطوة (٨) (عملية منع تدفق مادة الإصلاح، خلط المسحوق المصهور والمسحوق غير المصهور، وتعبئة مادة الإصلاح في الجزء المطلوب إصلاحه) والإجراء في الخطوة (٩) (المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment) بالعديد من التوقيتات المناظرة لعدد أسطح المعالجة. عند وجوب إصلاح التلف في الفوهة الأولى والتي هي عبارة عن جزء ذي درجة حرارة عالية للتوربين الغازي الفعلي، فإن عملية الإصلاح باللحام تتم وفقاً لإجراء المعالجة المبين في الشكل رقم (٤).

سوف يتم شرح إجراء ضبط درجة حرارة المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment في معالجة الإصلاح باللحام brazing repairing . وتم قياس نقاط صهر العديد من مجموعات مساحيق السبيكة المصهورة ومجموعات مساحيق السبيكة غير المصهورة والتي لها التركيبة الموضحة في الجدول رقم (٦) بطريقة التحليل الحراري التفاضلي differential thermal analysis .

تم وضع عينة (مسحوق السبيكة alloy powder) والعينة المرجعية بصورة متماثلة في الفرن، وتمت زيادة درجة الحرارة عند سرعة ثابتة (معدل التسخين heating rate). وبعد ذلك، تم قياس الفرق في درجة الحرارة بين العينة والعينة المرجعية، وتم تحضير مقياس التحليل الحراري التفاضلي differential thermal analysis والذي هو عبارة عن جهاز لعمل المخطط بالنسبة لتسجيل الوقت. تم قياس نقاط الصهر للسبيكة المصهورة والسبيكة غير المصهورة باستخدام منحنى التحليل الحراري التفاضلي differential thermal analysis (منحنى DTA) بواسطة مقياس التحليل الحراري التفاضلي. يتم توضيح نقاط الصهر المناظرة في الشكل رقم (٦) بالإضافة إلى نقطة صهر المادة FSX414 والتي هي عبارة عن المادة الأساسية.

فيما يتعلق بالمادة FSX414 والتي هي عبارة عن المادة الأساسية، تم الحصول على درجة حرارة والتي عندها تم توليد الصهر المحلي، وذلك بواسطة ملاحظة البنية بعد تسخين العينة حتى درجة حرارة محددة مسبقاً وتم إخمادها وذلك مع نقطة الصهر التي تم الحصول عليها من منحنى DTA. وكانت درجة حرارة الصهر المحلية ١٢٦١° م.

من البيانات السابقة، تم اتخاذ درجة حرارة ١٢٠٠° م كدرجة حرارة المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment والتي كانت أعلى من نقطة انصهار مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder والتي تكون أدنى من درجة حرارة الصهر المحلي للمادة الأساسية.

الجدول رقم (٦)

المادة	C	Si	Ni	Cr	W	Co	B	Ta	Fe	نقطة الصهر° م
السبيكة المصهورة ١	٠,٠٠٢	٣,٩٠	Bal.	١٣,٠	٠	٢٠	٢,	٠	٠	١١٣٠
السبيكة المصهورة ٢	٠,٠٠١	٣,٠٠	Bal.	١٢,٠	٠	١٨	٢,	٠	٠	١١٨٣
السبيكة المصهورة	٠,٠٠٣	٣,٠٠	Bal.	١٢,٠	٠	٢١	٢,	٠	٠	١١٥١
السبيكة المصهورة	٠,٠٠٢	٤,٧٠	Bal.	١٢,٠	٠	٢٠	٢,	٠	٠	١١١٢
السبيكة غير المصهورة ١	٠,٠٠٣	٠,٠٠	٢٠,٧	١٩,٢	٠	Bal.	٠	٦,٦	٠	١٣٣١
السبيكة غير المصهورة ٢	٠,٠٤٠	٠,٠٠	٢٤,٥	٤٤,٠	٠	Bal.	٠	٧,٥	٠	١٢٤٥
السبيكة غير المصهورة ٣	٠,٠٠١	٠,٠٠	١٠,٠	١٥,٠	٠	Bal.	٠	٦	٠	١٣٥٣
المادة الأساسية (FSX414)	٠,٢٦٠	0.78	١٠,٦	٢٩,٥	٧	Bal.	٠,٠١٢	٠	٠,٦٢	١٣٦٦

المثال رقم (٥)

بعد ذلك، تعد نسبة الخلط ونسبة الحبيبات بين مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ومسحوق السبيكة غير المصهورة عوامل مهمة في تقنية الإصلاح باللحام brazing repairing عند

درجة حرارة عالية، لذا سوف يتم شرح تأثير نسبة الخلط ونسبة حجم الحبيبات (نسبة قطر الجسيمات) على سمات الجزء الذي تم إصلاحه بناء على الأمثلة التالية.

في البداية فيما يتعلق بنسبة الخلط بين مسحوق السبيكة المصهورة ومسحوق السبيكة غير المصهورة، فإنه إذا ما زادت نسبة مسحوق السبيكة المصهورة ، فإن القابلية للاحتفاظ بالشكل لمادة الإصلاح تتدهور. ومن جهة أخرى، إذا ما زادت نسبة مسحوق السبيكة غير المصهورة، فإن القابلية للتدفق لمادة الإصلاح تتدهور.

نتيجة لذلك، فإن هناك اتجاه إلى أن مادة الإصلاح لا تتدفق بسهولة حتى النهاية الطرفية للتصدع، وبالتالي تتدهور خاصية تعبئة مادة الإصلاح، ولذا تزيد مسامية (نسبة فتحة الهواء، وفشل المعالجة باللحام) للجزء الذي تم إصلاحه.

تتنوع على نحو مادي نسبة الخلط بين مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ومسحوق السبيكة غير المصهورة على النحو الموضح في الجدول رقم (٧)، حيث تم تحضير العديد من مواد الإصلاح باللحام brazing repairing ، وتأكدت القابلية للحفاظ على الشكل (الاحتفاظ بالشكل) لمادة الإصلاح في الحالة التي تغيرت فيها زاوية الميل للجزء المطلوب إصلاحه (سطح المعالجة)

بالإضافة إلى ذلك فإنه تمت عملية المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment في الحالة التي فيها تم ضبط سطح المعالجة ليكون أفقياً (زاوية الميل صفر° م)، وتمت ملاحظة القطاع العرضي لبنية الجزء الذي تم إصلاحه، وتم فحص حالة توليد الفشل مثل فتحات الهواء (المسام). وتم توضيح النتائج في الجدول رقم (٧).

الجدول رقم (٧)

حالة البنية عند زاوية الميل صفر	زاوية الميل (°) والاحتفاظ بشكل مادة الإصلاح							نسبة الخلط
	٩٠	٧٥	٦٠	٤٥	٣٠	١٥	١٠	مسحوق السبيكة غير المصهورة/ مسحوق السبيكة المصهورة
مسام كبيرة	Δ	Δ	o	o	o	o	o	١٠ /٩٠
مسام كبيرة	Δ	Δ	Δ	o	o	o	o	٢٠/٨٠
مسام متوسطة	Δ	Δ	Δ	Δ	o	o	o	٣٠/٧٠
مسام صغيرة	Δ	Δ	Δ	Δ	o	o	o	٤٠/٦٠
مسام صغيرة	×	×	×	×	o	o	o	٥٠/٥٠
مسام صغيرة	×	×	×	×	o	o	o	٦٠/٤٠
مسام صغيرة	×	×	×	×	×	×	o	٧٠/٣٠

o: كان الاحتفاظ بشكل مادة الإصلاح جيداً

Δ: في حالة استخدام معجون، تحقق احتفاظ مادة

×: حتى في حالة استخدام معجون، لا يمكن تحقيق الحفاظ على شكل مادة الإصلاح

على النحو الموضح من النتائج المبينة في الشكل رقم (٧)، عندما تكون نسبة الخلط بين مسحوق السبيكة غير المصهورة ومسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder عبارة عن ٤٠/ ٦٠ أيضاً، فإنه يمكن الاحتفاظ بشكل مادة الإصلاح إلى حد ما. على الرغم من ذلك، يُفضل أن يتم تقييد نسبة الخلط بحيث لا تتجاوز ٤٠/ ٦٠، ويمكن تأكيد أن نسبة فتحات الهواء (المسامية) أصغر ومثالية عندما تتراوح نسبة الخلط من ٥٠/ ٥٠ إلى ٦٠/ ٤٠.

من جهة أخرى، تؤثر بدرجة كبيرة أيضاً نسبة قطر جسيمات (نسبة الحجم الحبيبي) لمسحوق السبيكة غير المصهورة وقطر الجسيمات (الحجم الحبيبي) لمسحوق السبيكة المصهورة المُشكلّين لمادة الإصلاح باللحام brazing repairing على جودة الجزء الذي تم إصلاحه.

تم ضبط قطر الجسيمات لمسحوق السبيكة غير المصهورة إلى حوالي ٤٥ ميكرون، وتم تنويع قطر الجسيمات لمسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder من ١/ ٢ إلى ٣ أضعاف قطر الجسيمات في مسحوق السبيكة غير المصهورة، في حين أنه تم تحضير أربعة أنواع من مواد

الإصلاح باللحام brazing repairing . من خلال استخدام مواد الإصلاح باللحام ، فإنه تتم عملية الإصلاح باللحام عند نفس ظروف المثال رقم (٢).

تمت عملية الإصلاح مع الاحتفاظ ببقاء الجزء المطلوب إصلاحه على نحو أفقي (زاوية الميل صفر). تمت دراسة نسبة القطر المثالي (حجم الحبيبات grain size) بواسطة ملاحظة بنية الأجزاء التي يتم إصلاحها ومقارنة قمم نسبة فتحات الهواء (المسامية). ويتم توضيح نتيجة الدراسة في الجدول رقم (٨).

الجدول رقم (٨)

البنية عند زاوية الميل صفر	نسبة حجم الحبيبات (نسبة قطر الجسيمات) مسحوق السبيكة غير المصهورة/ مسحوق السبيكة المصهورة
مسام صغيرة	٣
مسام صغيرة	٢
مسام صغيرة	١
مسام كبيرة	٠,٥

على النحو الموضح في النتائج المبينة في الجدول رقم (٨)، عندما كانت نسبة قطر الجسيمات لمسحوق السبيكة غير المصهورة ومسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder من ١ إلى ٣، فإنه يتم الحصول على بنية مضغوطة متكثفة لها نسبة فتحات هواء صغيرة (مسامية)، وعندما كانت نسبة قطر الجسيمات ٢، فإنه يتم الحصول على البنية المضغوطة.

المثال رقم (٦)

بعد ذلك، تمت دراسة التأثير على بنية الجزء المطلوب إصلاحه عند إجراء عملية الإصلاح باللحام brazing repairing عند درجة حرارة مرتفعة باستخدام مادة الإصلاح باللحام والتي فيها تمت إضافة مقدار محدد مسبقاً من الرابط وذلك في المثال رقم (٦).

في الجزء ذي درجة الحرارة العالية الذي به تلف خفيف، عند وجوب إصلاح جزء له زاوية ميل كبيرة بالنسبة للسطح الأفقي لسطح المعالجة، حتى مع تشكيل كتلة من مادة الإصلاح باللحام ، فإنه من الصعب احتجاز مقدار كافٍ من مادة الإصلاح على الجزء المطلوب إصلاحه في بعض الحالات.

في تلك الحالة، من الضروري استخدام مادة الإصلاح والتي فيها يتم خلط رابط له مدى جودة الجزء المطلوب إصلاحه.

في هذا المثال، تم تنويع نسبة الخلط (النسبة بالوزن) للرابط بالنسبة لمادة الإصلاح باللحام (المسحوق المخلوط mixed powder) في مدى من ٢ إلى ٢٠٪ على النحو الموضح في الجدول رقم (٩) وبالتالي يتم تحضير مواد الإصلاح التي لها لزوجات مختلفة (القابلية للتدفق flowability).

من خلال استخدام مواد الإصلاح باللحام brazing repairing ، فإن عملية الإصلاح باللحام تتم بنفس الظروف كما في المثال رقم (٢). تم بفحص تأثير نسبة الخلط للرابط على البنية بعد المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment من خلال ملاحظة أنسجة الأجزاء التي تمت إصلاحها ومقارنة سعات نسبة فتحات الهواء (المسامية porosity). ويتم توضيح نتيجة الدراسة في الجدول رقم (٩).

الجدول رقم (٩)

القطاع العرضي للبنية	النسبة المئوية بالكتلة للرابط (رابط/ مسحوق السبيكة غير المصهورة/ مسحوق السبيكة المصهورة)
مسام كبيرة	٢٠
مسام متوسطة	١٥
مسام صغيرة	١٢
مسام صغيرة	١٠
مسام صغيرة	٥
لايمكن إتمام الخلط	٢

على النحو الموضح من نتائج الجدول رقم (٩)، يمكن تأكيد أنه عند ضبط نسبة خلط الرابط بالنسبة لمادة الإصلاح باللحام brazing repairing من حوالي ٥ إلى ١٢٪، فإن نسبة فتحة الهواء (المسامية) تكون صغيرة ويكون الفشل في اللحام طفيفاً وصغيراً.

المثال رقم (٧)

بعد ذلك تمت دراسة المعالجة بالضغط الساكن المتساوي في حالة السخونة hot isostatic pressing (HIP). في المثال رقم (٧)، تم خلط مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ١ وفقاً للاختراع الحالي ومسحوق السبيكة غير المصهورة ١ وفقاً للاختراع الحالي بنسبة من ٥: ٧ لتحضير مادة الإصلاح باللحام brazing repairing . وبعد ذلك تمت عملية الإصلاح باللحام عند نفس ظروف المثال رقم (٢) باستخدام مادة الإصلاح باللحام.

تعرضت أجزاء الاختبار بما في ذلك الأجزاء السابقة التي تم إصلاحها للمعالجة بـ HIP عند الظروف المبينة في الجدول رقم (١٠). وعلى نحو ملموس تم ضبط الضغط حتى ١٠٠٠ ضغط جوي، وتم تنويع درجة حرارة التسخين في المدى من ١٠٠٠ إلى ١٣٥٠° م وتمت المعالجة بـ HIP. تمت ملاحظة بنية من الجزء الذي تم إصلاحه لكل قطعة اختبار، وتم فحص حالة التعبئة لمادة الإصلاح في الشقوق. علاوة على ذلك، تم اختبار شد الجزء الذي تم إصلاحه، وتم قياس مقاومة الشد، واستطالة الشد للجزء الذي تم إصلاحه. ويتم توضيح نتيجة القياس في الجدول رقم (١٠).

الجدول رقم (١٠)

نتيجة اختبار الشد للجزء الذي تم إصلاحه		نتيجة مراقبة البنية			حالة المعالجة بـ HIP		
شد الاستطالة (%)	مقاومة شد (ميجا بسكال)	حالة تعبئة مادة الإصلاح في الشق	بنية الجزء الذي تم إصلاحه	بنية المادة الاساسية	الضغط الجوي	درجة الحرارة (°م)	
٨	٥٩٧	○	△: لا يوجد تغير في البنية ○: تم تقليل المسامية	◎	١٠٠٠	١٠٠٠	حالة المعالجة ١ بـ HIP وفقاً للاختراع
١٠,٨	٦٦٩	◎	○: تمت ملاحظة إندماج تركيبي للسبيكة غيرالمنصهرة والسبيكة المنصهرة ○: تم تقليل المسامية	◎	١٠٠٠	١١٠٠	حالة المعالجة ٢ بـ HIP وفقاً للاختراع
١٥,٩	٧٢٤	◎	○: تمت ملاحظة إندماج تركيبي للسبيكة غيرالمنصهرة والسبيكة المنصهرة ○: تم تقليل المسامية	◎	١٠٠٠	١٢٠٠	حالة المعالجة ٣ بـ HIP وفقاً للاختراع
١٧,٠	٧٠٠	◎	○: تمت ملاحظة إندماج تركيبي للسبيكة غيرالمنصهرة والسبيكة المنصهرة ○: تم تقليل المسامية	○: تمت ملاحظة علامة التهدم الجزئي لبنية الخلية.	١٠٠٠	١٢٦٠	حالة المعالجة ٤ بـ HIP وفقاً للاختراع
١٤,٦	٦٥٤	◎	○: تمت ملاحظة إندماج تركيبي للسبيكة غيرالمنصهرة والسبيكة المنصهرة ○: تم تقليل المسامية	△: تمت ملاحظة علامة التهدم الجزئي لبنية الخلية.	١٠٠٠	١٢٦٥	المثال المقارن ١
٢,	٥٩٧	△	○: تمت ملاحظة علامة الانصهار وتدفق المادة.	△: تمت ملاحظة علامة التهدم الجزئي لبنية الخلية.	١٠٠٠	١٣٠٠	المثال المقارن ٢
١,	٤٨٥	△	×: انصهر جزء من المادة وتدفق	×: تمت ملاحظة التهدم الجزئي لبنية الخلية.	١٠٠٠	١٣٥٠	المثال المقارن ٣

على النحو الموضح من النتائج المبينة في الجدول رقم (١٠)، يمكن يمكن تأكيد أنه عند إتمام المعالجة بـ HIP عند درجة حرارة أعلى من ١٢٦٠° م، فإن بنية المادة الأساسية تتهدم. علاوة على ذلك، عندما تتم المعالجة بـ HIP عند درجة حرارة أعلى من ١٣٠٠° م، فإن بعض الجزء الذي تم إصلاحه انصهر وتدفق بعيداً.

من ناحية أخرى، عند إتمام المعالجة عند درجة حرارة ١٠٠٠° م، فإنه لم تحدث تغيرات على بنيات مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ومحسوق السبيكة غير المصهورة بعد اكتمال المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment ، وتم تجانس البنيات من درجة حرارة ١١٠٠° م.

تعرضت القطع المختبرة للمعالجة بـ HIP عند ظروف المعالجة ٣ بـ HIP (الضغط: ١٠٠٠ ضغط جوي، درجة الحرارة: ١٢٠٠° م) وفقاً للاختراع الحالي بعد عملية الإصلاح باللحام brazing repairing باستخدام مواد الإصلاح باللحام المستعملة في المثالين (٢ و٣) ومسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ٨ ومسحوق السبيكة غير المصهورة ٤ وفقاً للاختراع والمستعملة في المثال رقم (٣) وذلك بنسبة من ٥: ٧ لتحضير مادة الإصلاح باللحام ، وذلك باستخدام مادة الإصلاح باللحام ، وتمت عملية الإصلاح باللحام ، وبعد ذلك تعرضت للمعالجة بـ HIP في ظروف التفاعل ٣، وتم قياس زمن الإجهاد ذي الدورة المنخفضة للقطعة المختبرة. على النحو الموضح في المثال رقم (٢)، يتم توضيح زمن الإجهاد ذي الدورة المنخفضة بعدد مرات عمليات قابلة للتكرار إلى أن يتم التوصل إلى إجهاد كلي ٠,٤٪ عند درجة حرارة ٨١٦° م. يتم توضيح نتيجة القياس في الشكل رقم (٥) بالإضافة إلى نتيجة المثال رقم (٢).

على النحو الموضح من النتائج في الشكل رقم (٥)، عند إتمام المعالجة بـ HIP (المعالجة) عند ظروف محددة مسبقاً بعد عملية الإصلاح باللحام ، فإنه يتم المضي في ظاهرة الانضغاط (التكثيف) للجزء الذي يتم إصلاحه بغض النظر عن نوعية السبيكة. بالتالي، يمكن توفير زمن إجهاد ذي دورة منخفضة يساوي أو يفوق المادة الأساسية.

المثال رقم (٨)

فيما يلي يتم في طريقة الإصلاح باللحام brazing repairing وفقاً للاختراع الحالي، شرح تأثير نسبة قطر الجسيمات في مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ومسحوق السبيكة غير المصهورة على سمات جزء الإصلاح بناء على المثال التالي رقم (٨). تشتمل مادة الإصلاح باللحام المستخدمة في المثال رقم (٨) على مسحوق سبيكة مصهورة ومسحوق سبيكة غير مصهورة

non-molten alloy لهما التركيبة الموضحة في الجدول رقم (١١)، ويتم ضبط قطر الجسيمات (حجم الحبيبات) لمسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder إلى حوالي نصف قطر جسيمات مسحوق السبيكة غير المصهورة، وبالتالي يتم تحسين القدرة على تدفق السبيكة المصهورة عند زمن المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment .

من خلال استخدام مادة الإصلاح باللحام التي تم تحضيرها بالطريقة السابقة، تمت عملية الإصلاح بنشر اللحام عند نفس الظروف كما في المثال رقم (٢). تمت ملاحظة بنية الجزء الذي تم إصلاحه ونتيجة لذلك، تم الحصول على البنية على النحو المبين في الشكل رقم (٦). وعلى هذا النحو فإن الشكل رقم (٦) هو عبارة عن قطاع عرضي تخطيطي يبين حالة توزيع السبيكة غير المصهورة والسبيكة المصهورة في الجزء الذي تم إصلاحه بواسطة طريقة نشر اللحام. تأكد أنه إذا ما تمت تعبئة مادة الإصلاح باللحام ٣ والمشتملة على مسحوق سبيكة مصهورة (○) ومسحوق سبيكة غير مصهورة non-molten alloy (●) في التصدع ٢ المتولد في المادة الأساسية ١ فإنه تتم المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment ، ونظراً لأن القابلية لتدفق السبيكة المصهورة عند زمن المعالجة الحرارية بالانتشار قد تم تحسينها، فإن مادة الإصلاح التي اخترقت بفاعلية جزء السطح P1 للمادة الأساسية إلى الطرف النهائي P4 للتصدع ٢ عبر الأجزاء المتوسطة P2 و P3 ، وخاصية التعبئة لمادة الإصلاح في التصدع ٢ تكون ممتازة.

يتم توضيح نتيجة تحليل تركيبة السبيكة على السطح P1 للمادة القاعدية base materiAluminum ، والأجزاء الوسيطة P2 و P3 للتصدع ٢ عند الطرف النهائي P4 للصدع ٢ في الجزء الذي تم إصلاحه في الشكل رقم (٦) في الجدول رقم (١١).

الجدول رقم (١١)

المادة		C		Ni	Cr	Co	B	Ta
مسحوق السبيكة غير المصهورة		٠,٠٠٢٦	٠,٠	٢٠,٧	١٩,٢	٥٣,٥	٠,٠	٦,٦
مسحوق السبيكة المصهورة		٠,٠٠٢٠	٣,٩	٦٠,٥	١٣,٠	٢٠,٠	٢,٦	٠,٠
نتائج التحليل	الجزء:P1 (جزء السطح)	٠,٠٠٢٤	١,٢	٣٢,٦	١٧,٣	٤٣,٤	٠,٧	٤,٦
	الجزء:P2 (الجزء	٠,٠٠٢٤	١,٦	٣٧,٣	١٦,٦	٣٩,٥	٠,٩	٣,٩
	الجزء:P3	٠,٠٠٢٣	٢,٠	٤٠,٦	١٦,١	٣٦,٧	١,١	٣,٣
	الجزء:P4 (جزء الطرف النهائي للتصدع)	٠,٠٠٢٢	٢,٧	٤٨,٦	١٤,٩	٣٠,٠	١,٨	٢,٠

على النحو الموضح من النتائج المبينة في الجدول رقم (١١) والشكل رقم (٦)، يمكن تأكيد أنه نظراً لتحسين القابلية لتدفق السبيكة المصهورة عند زمن المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment ، فإن مادة الإصلاح التي اخترقت بفاعلية جزء السطح P1 للمادة الأساسية إلى الطرف النهائي P4 للتصدع ٢ عبر الأجزاء المتوسطة P2 وP3 ، وخاصية التعبئة لمادة الإصلاح في التصدع ٢ تكون ممتازة جداً.

نتيجة لذلك، على النحو الموضح في نتائج التحليل المبينة في الجدول رقم (١١)، تأكد أن تركيبة السبيكة تصبح أكثر قرباً لتركيبة مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder من تركيبة مسحوق السبيكة غير المصهورة وذلك نحو الطرف النهائي P4 للتصدع ٢ من الطبقة السطحية P1 في الجزء المطلوب إصلاحه. على الرغم من أن مقادير المكونين Silicon وB كانت أقل بدرجة طفيفة من تركيبة السبيكة المصهورة الأصلية بالمعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment ، فإن هناك اتجاه على أن تقترب مقادير مكوني Silicon وB من تركيبة مسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder نحو الطرف النهائي للتصدع.

المثال رقم (٩)

فيما يلي يتم توضيح مثالاً تم تشكيله بحيث تتم تعبئة مادة الإصلاح باللحام brazing repairing المشتملة على مسحوق سبيكة مصهورة ومسحوق سبيكة غير مصهورة non-molten alloy في الجزء المطلوب إصلاحه بواسطة تدفق غاز ذي سرعة عالية جداً في طريقة إعادة الإصلاح باللحام brazing repairing وفقاً للاختراع الحالي بناء على المثال التالي رقم (٩). في المثال رقم (٩)، يُستخدم جهاز الغلاف غير المصهور على النحو الموضح في الشكل رقم (٧) كجهاز تعبئة لمادة الإصلاح باللحام في الجزء المطلوب إصلاحه.

يشتمل جهاز الغلاف المصهور على بنية مشابهة ويشابه جهاز الرش الحراري المُستخدم في عملية التغليف للشفرة القابلة للتحرك في التوربين الغازي gas turbine (الريشة الدوارة). يشتمل جهاز الغلاف غير المنصهر على وسيلة تزويد بالطاقة ٤ والتي توفر مادة الإصلاح باللحام ٣، ووسيلة تسخين الغاز ٥ والتي تقوم بتسخين الغاز المضغوط (الغاز ذي الضغط العالي) مثل النيتروجين وغاز He أو ما شابه، وفوهة الصوت الفائق ٧ التي تقوم بطرد مادة الإصلاح باللحام ٣ المتوفرة من وسيلة التزويد بالطاقة ٤ وعلى هيئة نفث الغاز ذي السرعة العالية المشتت بواسطة الغاز المسخن ذي الضغط العالي.

عندما تتم تعبئة مادة الإصلاح باللحام brazing repairing ٣ في جزء الإصلاح للمادة الأساسية التي لديها فشل أو عيب مثل التصدع، فإنه يتم تشتيت مادة الإصلاح ويتم نقلها بواسطة تدفق الغاز ذي السرعة العالية وله درجة حرارة لا ينصهر عندها مسحوق السبيكة المُشكِّل لمادة الإصلاح باللحام ٣ ولا تتم أكسدته.

بعد ذلك، يتم تصنيع مادة الإصلاح كي تصطدم بجزء الإصلاح، ويتم التصاق المسحوق المخلوط بالجزء المتبقي بواسطة طاقة التصادم، ويتم دفع مادة الإصلاح في جزء عميق من التصدع.

ويتم تسريع سرعة التدفق للهواء المضغوط أو الغاز المضغوط مثل غاز النيتروجين وHe أو ما شابه من خلال وسيلة تسخين الغاز ٥ ويتم تزويد الغاز للفوهة التي تعمل بالموجات فوق الصوتية ٧، ويتم خلط الغاز مع مسحوق من مادة الإصلاح باللحام brazing repairing ٣ والذي يتم توفيره بصورة منفصلة، ويتم أيضاً تضيق مسار التدفق في الفوهة التي تعمل بالموجات فوق الصوتية ٧، وبالتالي يتم إسراع سرعة تدفق الغاز، ويتم السماح للغاز بالاصطدام مع جزء الإصلاح وتتم تغطيته بالمادة.

وفقاً لعمليات التعبئة، فإنه يمكن أن تلتصق مادة الإصلاح بفاعلية دون رابط والذي يؤدي بسهولة على الفشل ودون توفير أي من المعايير المعقدة لمنع التدفق. ونظراً لأنه بصفة خاصة يمكن لصق مادة الإصلاح باللحام brazing repairing بقوة بأسطح المواد الأساسية وداخل التصدع بواسطة عملية التعبئة السابقة، حتى لو كان التلف مثل التصدع قد نتج على سطح الشفرة الثابتة بالكامل في التوربين الغازي gas turbine (الريشة الساكنة)، فإنه يمكن تقييد عدد مرات المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment ليكون مرتين، أي مرة عند توجيه بطن سطح الشفرة للأعلى والمرة الثانية عندما يتم توجيه بطن سطح الشفرة للأسفل، ويمكن أن يتم بدرجة كبيرة تحسين كفاءة عملية الإصلاح.

الشكل رقم (٨) عبارة عن مخطط يوضح العلاقة بين سرعة الجسيمات وكفاءة الالتصاق للجسيمات عندما يتم تصنيع مادة الإصلاح باللحام brazing repairing لتصطدم ببعضها البعض وتلتصق بسطح المادة الأساسية باستخدام جهاز الغلاف غير المصهوز. على النحو الموضح من نتائج

الشكل رقم (٨)، نظراً لتعزيز كفاءة الالتصاق بالمدى الذي تكون فيه سرعة جسيمات مادة الإصلاح باللحام ٣٠٠ م/ ثانية أو أعلى، فإن من الفعال بشدة أن يتم رش الغاز الحامل الذي لديه جسيمات بسرعة ٣٠٠ م/ ثانية أو أعلى، ولتعبئة جسيمات مادة الإصلاح على سطح المادة الأساسية أو داخل التصدع.

في الطلب الحالي يتم تعريف كفاءة الالتصاق بأنها نسبة مقدار مادة الإصلاح الملتصقة بالفعل بسطح المادة الأساسية وداخل التصدع بالنسبة لمقدار مادة الإصلاح المنقولة بتدفق الغاز ذي السرعة العالية.

الشكل رقم (٩) عبارة عن مخطط يوضح العلاقة بين درجة الحرارة للغاز المضغوط عند مخرج الفوهة للجهاز ذي الغلاف غير المصهور وسرعة الجسيمات. هناك اتجاه ظاهر إلى زيادة سرعة الجسيمات تناسبياً مع زيادة درجة حرارة الغاز المضغوط عند مخرج الفوهة. لضبط سرعة الجسيمات حتى ٣٠٠ م/ ثانية أو أعلى، فإنه يكفي أن يتم ضبط درجة حرارة الغاز المضغوط على هيئة الغاز الحامل عند مخرج الفوهة حتى ٢٠٠° م أو أعلى.

على الرغم من ذلك فإن درجة حرارة الغاز المضغوط تتجاوز ٨٠٠° ، وينصهر مسحوق السبيكة المُشكِّل لمادة الإصلاح أو تتم أكسدته بسهولة وبالتالي من المفضل أن يتم ضبط أعلى حد لدرجة الحرارة عند ٨٠٠° م.

الشكل رقم (١٠) عبارة عن رسم يبين العلاقة بين كفاءة الرش الحراري لمسحوق مادة الإصلاح باللحام brazing repairing وقطر جسيمات المسحوق (حجم حبيبات المسحوق) عندما يتم عمل مسحوق مادة الإصلاح باللحام بحيث تصطدم معاً وتلتصق بسطح قاعدة المادة عند سرعة عالية باستخدام الجهاز ذي الغلاف غير المصهور. ونظراً لأنه يتضح عندما يكون قطر المسحوق في

المدى من ١٠ إلى ١٥ ميكرو متر، فإن كفاءة الرش الحراري تزيد بفاعلية، لذا يُفضل أن يتم اختيار أقطار الجسيمات لمسحوق السبيكة المصهورة molten alloy powder ومسحوق السبيكة غير المصهورة المُشكلين مادة الإصلاح باللحام من المدى السابق.

تتحدد كفاءة الرش الحراري على أساس نسبة مقدار مادة الإصلاح التي يتم رشها حرارياً بالفعل على سطح المادة الأساسية وداخل التصدع بالنسبة لمقدار مادة الإصلاح المنقولة بتدفق الغاز ذي السرعة العالية.وفقاً لمادة الإصلاح باللحام brazing repairing في الأمثلة وطريقة الإصلاح باستخدام مادة الإصلاح باللحام فإنه نظراً لاستخدام مادة الإصلاح المشتملة على مسحوق السبيكة غير المصهورة والتي لها تركيبة مشابهة للمادة الأساسية لجزء مسحوق السبيكة المصهورة للتركيبة المحددة مسبقاً، فإنه من السهل إصلاحها وإعادة توليد جزء ذي درجة حرارة عالية والذي فيه يتم توليد فشل مثل صدع وتآكل، ومن الممكن أن يتم بدرجة كبيرة تعزيز الاقتصاد في العملية والقدرة على التعامل مع التوربين الغازي gas turbine والذي يستخدم جزء ذي درجة حرارة عالية كمادة مُشكِّلة.

عناصر الحماية

١ ١- طريقة إصلاح باللحام brazing repairing تشتمل على:

٢ خطوة لإجراء فحص لمادة أساسية من جزء التوربين الغازي gas turbine الذي حدث به عيباً

٣ يمكن أن يشتمل على تصدع أو تآكل بعد عملية تشغيل التوربين الغازي gas turbine ، ويلي ذلك

٤ إعادة التجميع وتنظيف جزء السطح من المادة الأساسية ويلي ذلك إجراء معالجة حرارية heat

٥ treatment لمحلول المادة الأساسية ويلي ذلك كشط جزء السطح والجزء المنخفض الذي يخترق

٦ الشق ويلي ذلك إزالة طبقة الأكسيد removing an oxide layer من جزء السطح الخاص بالمادة

٧ الأساسية ويلي ذلك إجراء معالجة أولية لعملية التقطير drip -الاختراق TIG وذلك حتى يتم

٨ اختراق التصدع penetrating crack ؛

٩ خطوة لتحضير مادة إصلاح باللحام brazing repair materi aluminum مكونة من خليط يشتمل

١٠ على: مسحوق سبيكة غير منصهرة ذو تركيبة مماثلة لتلك الموجودة في المادة الأساسية؛

١١ ومسحوق سبيكة منصهرة تم صهره عند درجة حرارة محددة للمعالجة الحرارية بالانتشار، وحيث

١٢ يكون مسحوق السبيكة المنصهرة عبارة عن سبيكة إصلاح باللحام brazing repairing تحتوي

١٣ على ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٥٪ بالكتلة من كربون ، ٢ إلى ٥٪ بالكتلة من silicon ، ١٠ إلى ٢٥٪

١٤ بالكتلة من chromium ، ١٥ إلى ٢٥٪ بالكتلة من cobalt ، ١ إلى ٥٪ بالكتلة من B، وتوازن

١٥ nickel ، واستثناء aluminum ؛

١٦ وخطوة تشكيل تدفق مخترق يحيط بمادة الإصلاح من خلال اللحام والموجودة حول جزء

١٧ الإصلاح؛

١٨ وخطوة تعبئة مادة الإصلاح باللحام brazing repairing وذلك في التدفق الذي يخترق الجزء

١٩ المحيط بمادة الإصلاح من خلال اللحام والتي تشتمل على خليط من مسحوق سبيكة غير

منصهرة يشتمل على تركيبة مشابهة للمادة الأساسية ومسحوق السبيكة المنصهرة والذي يتم صهره عند درجة حرارة خاصة بالمعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment ؛

وخطوة إصلاح باللحام brazing repairing عن طريق تكرار الخطوة السابقة عدة مرات أو المعالجة الحرارية بالانتشار diffusion heat treatment عند درجة حرارة مساوية أو أقل من درجة حرارة الانصهار الخاصة بالمادة الأساسية من جزء التوربين الغازي gas turbine وتكون مساوية أو أعلى من نقطة الانصهار الخاصة بمسحوق السبيكة المنصهرة وبالتالي، يتم ربطها بشكل متكامل بمادة الإصلاح باللحام brazing repairing في جزء الإصلاح، وذلك من خلال الدمج وتشريب المادة الخاصة بالإصلاح باللحام brazing repairing عن طريق إجراء المعالجة الحرارية تحت جو مضغوط heat treatment under pressurized atmosphere ؛

وخطوة إجراء التشطيب finishing بما في ذلك الجزء الذي تم إصلاحه باللحام؛ ويمكن إجراء عملية إصلاح إضافية للأجزاء المعيبة بشكل جزئي ويتم بعد ذلك عملية إصلاح للثقب البارد cooling hole؛ وخطوة إجراء المعالجة للمحلول والمعالجة الحرارية بالتعتيق aging heat treatment الخاصة بجزء مراد إصلاحه يتم تعريضه لعملية تشطيب finishing ؛ خطوة إعادة تجميع أجزاء التوربين الغازي gas turbine التي تم إصلاحها، حيث يتم ضبط النسبة الوزنية الخاصة بمسحوق السبيكة غير المصهور من مادة الإصلاح باللحام brazing repairing عند ٠,٨ أو أكثر من مسحوق السبيكة منصهرة ويتم ضبط قطر الجسيم من مسحوق السبيكة غير منصهرة عند مرتين أو أكثر من القطر الخاص بمسحوق السبيكة المنصهرة ، وبالتالي يتم تحسين درجة الملء الخاصة بمادة الإصلاح باللحام brazing repairing لجزء الإصلاح وتحسين قدرة التدفق الخاصة بمسحوق السبيكة في المسحوق غير المصهور وعند نهاية طرف جزء التصدع end portion of the crack .

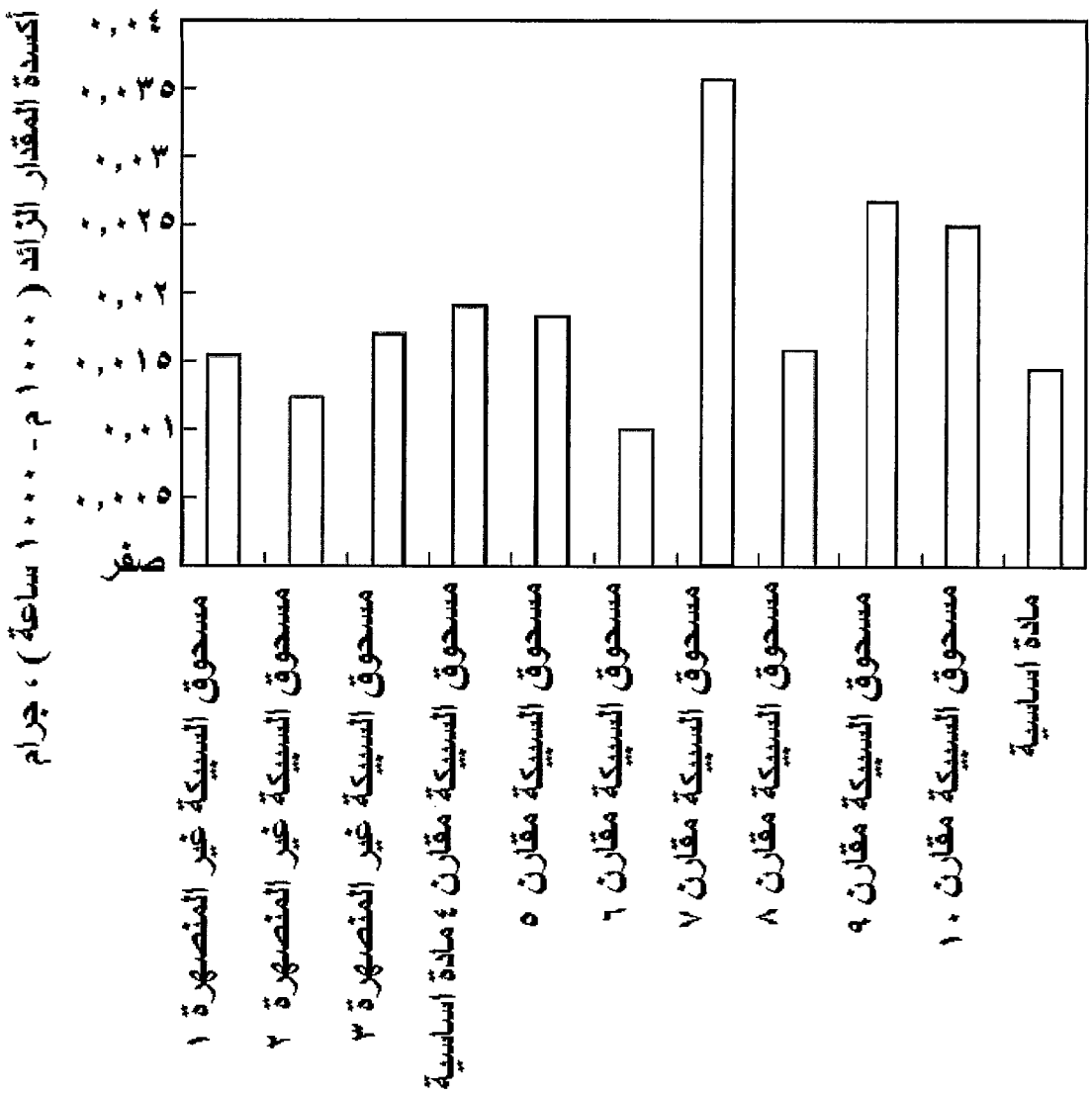
٢- طريقة الإصلاح باللحام brazing repairing طبقاً لعنصر الحماية ١ حيث يتم ضبط النسبة الوزنية لمسحوق السبيكة غير المنصهرة من مادة الإصلاح بالصهر بالنسبة لمادة الإصلاح باللحام brazing repairing من ١ إلى ١,٥ مرة من مسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder .

٣- طريقة إصلاح باللحام brazing repairing طبقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم إجراء خطوة الإصلاح باللحام brazing repairing من خلال طريقة الضغط الأيزو ستاتيكي الساخن hot isostatic pressing (HIP) والتي تكون فيها درجة حرارة التسخين قد تم ضبطها عند ١٠٠٠ م أو أكبر و١٣٠٠ م أو أقل ويتم ضبط قوة الضغط عند ١٠٠٠ ضغط جوي أو أعلى وعند ٢٠٠٠ ضغط جوي أو أقل ويتم إجراء معالجة المحلول والمعالجة بالتعتيق بعد خطوة الإصلاح عن طريق اللحام.

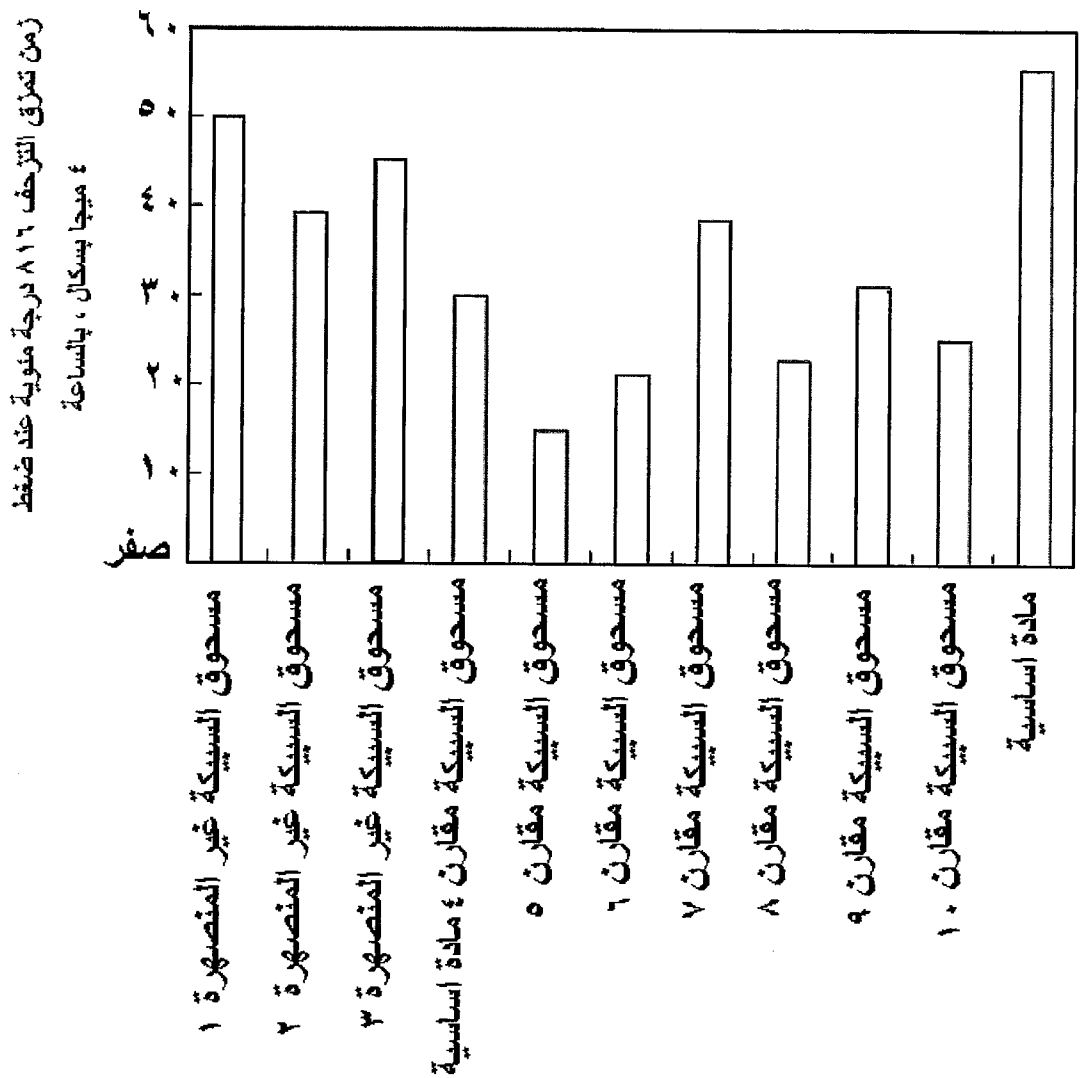
٤- طريقة الإصلاح باللحام brazing repairing طبقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم ضبط حرارة التسخين في طريقة الضغط الأيزوستاتيكي الساخن hot isostatic pressing (HIP) عند ١١٠٠ م أو أعلى و١٢٦٠ م أو أقل.

٥- طريقة الإصلاح باللحام brazing repairing طبقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم تشكيل التصدع في جزء الإصلاح وتتم تعبئة تركيبة مادة الإصلاح باللحام brazing repairing بداخل التصدع ويكون التصدع قريباً لتركيبة مسحوق السبيكة المصهور molten alloy powder نحو الطرف العلوي من الشق من ناحية السطح الجانبي الخاص به.

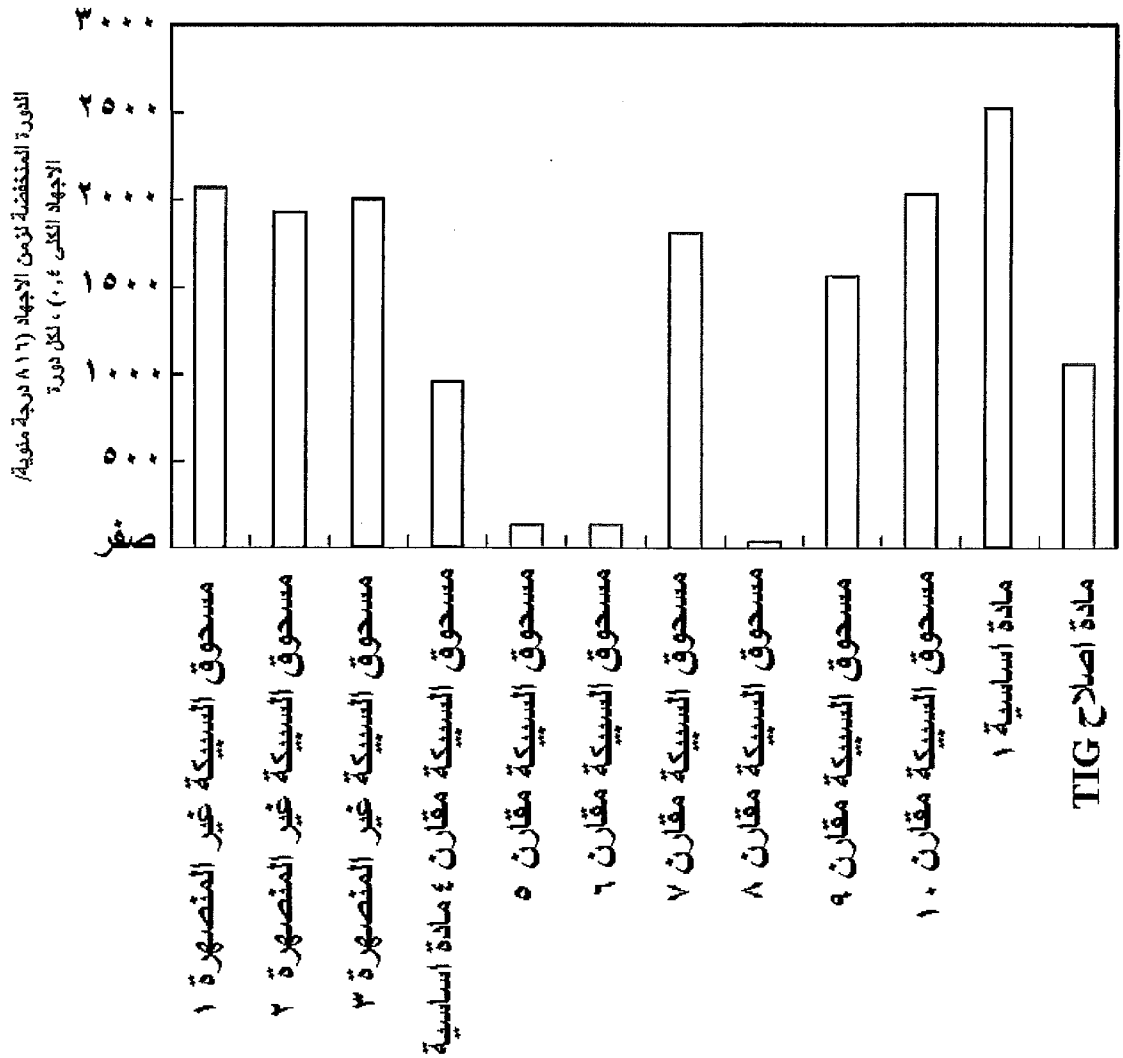
١ ٦- طريقة إصلاح باللحام brazing repairing طبقاً لعنصر الحماية ١، حيث يتم إجراء طريقة
٢ التعبئة الخاصة بمادة الإصلاح باللحام brazing repairing في الجزء المراد إصلاحه وباستخدام
٣ مادة الإصلاح باللحام brazing repairing عن طريق استخدام تدفق غازي حامل له سرعة عالية
٤ عند درجة حرارة ٨٠٠° م أو أقل، حيث لا يتم صهر المسحوق أو أكسدته ويتم ضبط سرعة
٥ الجسيم الخاص بمادة الإصلاح باللحام brazing repairing عند ٣٠٠ مل/الثانية أو أعلى ويتم
٦ التصاق المادة بجزء الإصلاح أو يتم تعبئتها في الجزء المكسور.


أكسدة المقدار الزائد (١٠٠٠ م - ١٠٠٠ ساعة) ، جرام
٠,٠٤٠
٠,٠٣٥
٠,٠٣٠
٠,٠٢٥
٠,٠٢٠
٠,٠١٥
٠,٠١٠
٠,٠٠٥
٠,٠٠٠
مسحوق السيبكة غير المنصهرة ١
مسحوق السيبكة غير المنصهرة ٢
مسحوق السيبكة غير المنصهرة ٣
مسحوق السيبكة مقارن ٤ مادة اساسية
مسحوق السيبكة مقارن ٥
مسحوق السيبكة مقارن ٦
مسحوق السيبكة مقارن ٧
مسحوق السيبكة مقارن ٨
مسحوق السيبكة مقارن ٩
مسحوق السيبكة مقارن ١٠
مادة اساسية

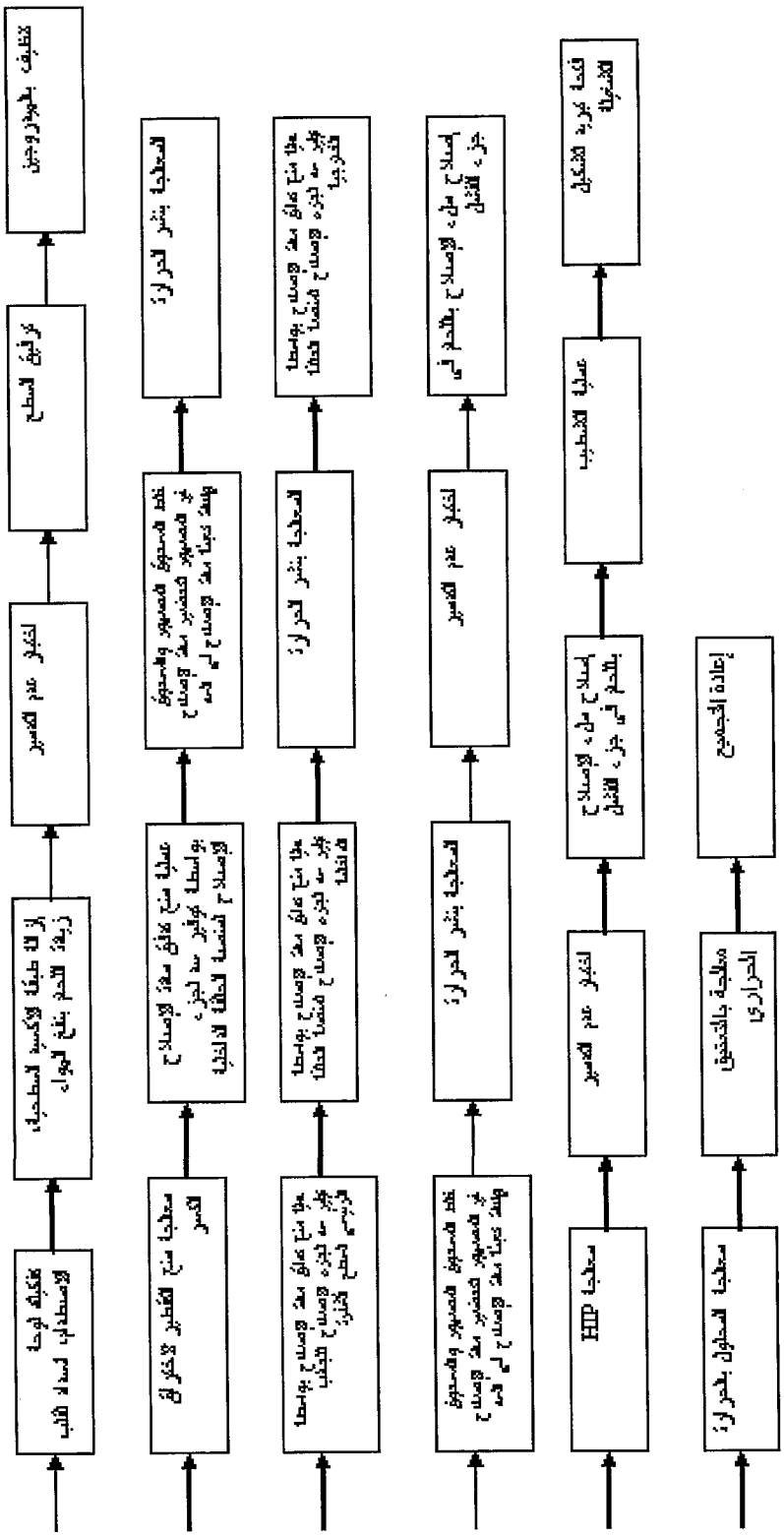
شكل ١


زمن تمزق التزحف ٨١٦ درجة مئوية عند ضغط
٤ ميجا بسكال ، بالساعة
صفر
مسحوق السيبكة غير المنصهرة ١
مسحوق السيبكة غير المنصهرة ٢
مسحوق السيبكة غير المنصهرة ٣
مسحوق السيبكة مقارن ٤ مادة اساسية
مسحوق السيبكة مقارن ٥
مسحوق السيبكة مقارن ٦
مسحوق السيبكة مقارن ٧
مسحوق السيبكة مقارن ٨
مسحوق السيبكة مقارن ٩
مسحوق السيبكة مقارن ١٠
مادة اساسية

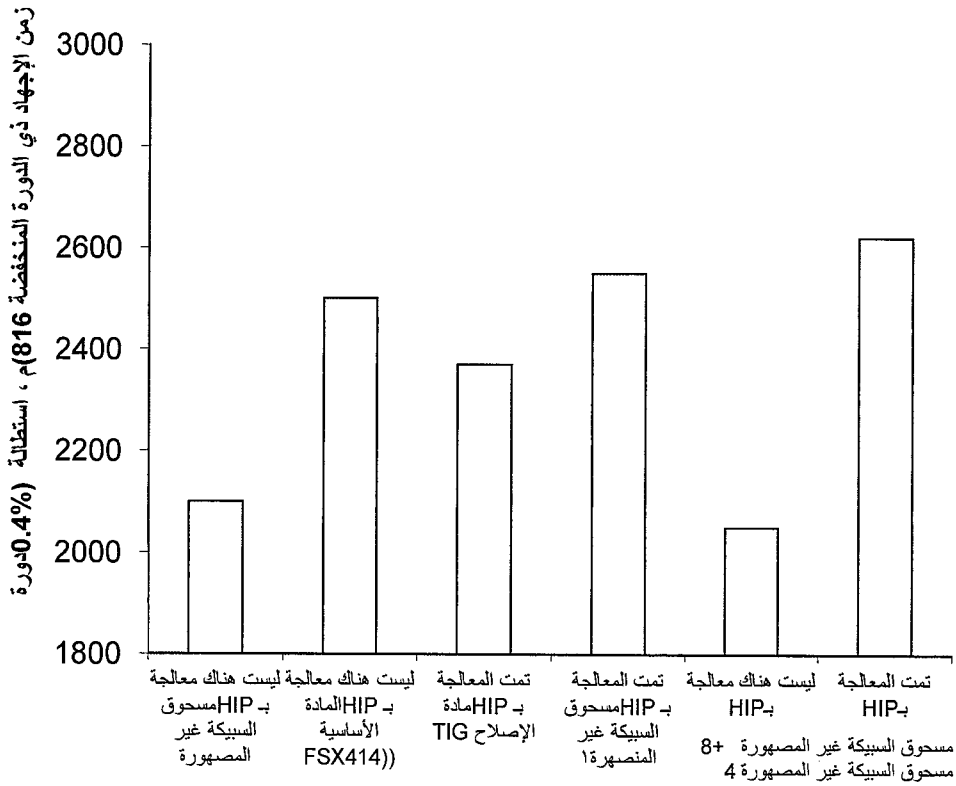
شكل ٢


الدورة المنخفضة لزمن الاجهاد (٨١٦ درجة مئوية/
الاجهاد الكلي ٠,٤) ، لكل دورة
صفر
٥٠٠
١٠٠٠
١٥٠٠
٢٠٠٠
٢٥٠٠
٣٠٠٠
مسحوق السبيكة غير المنصهرة ١
مسحوق السبيكة غير المنصهرة ٢
مسحوق السبيكة غير المنصهرة ٣
مسحوق السبيكة مقارن ٤ مادة اساسية
مسحوق السبيكة مقارن ٥
مسحوق السبيكة مقارن ٦
مسحوق السبيكة مقارن ٧
مسحوق السبيكة مقارن ٨
مسحوق السبيكة مقارن ٩
مسحوق السبيكة مقارن ١٠
مادة اساسية ١
مادة اصلاح TIG

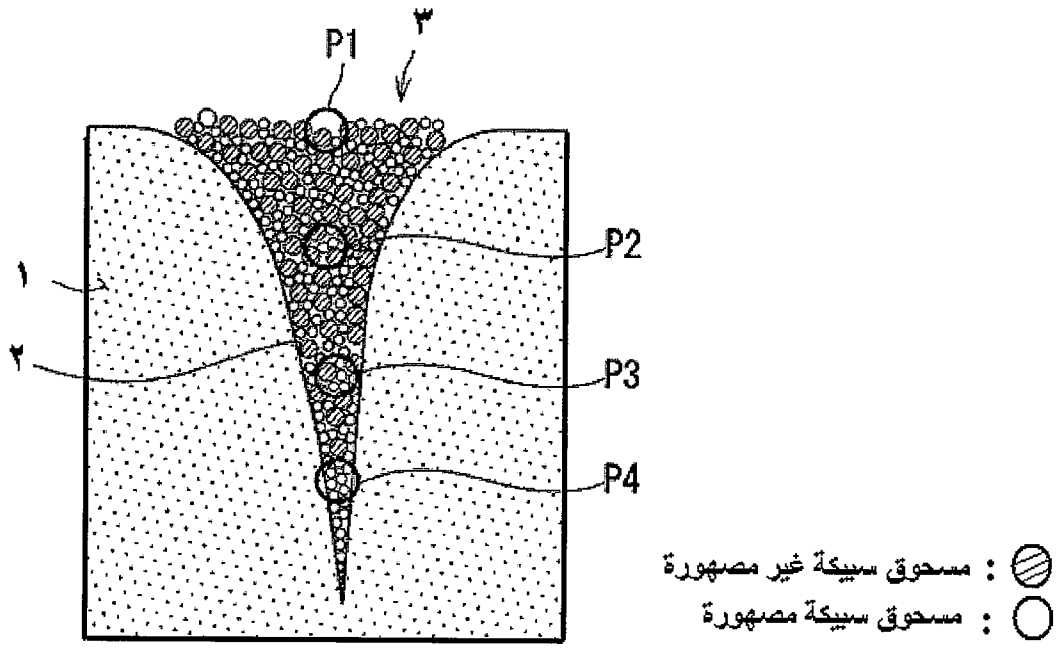
شكل ٣



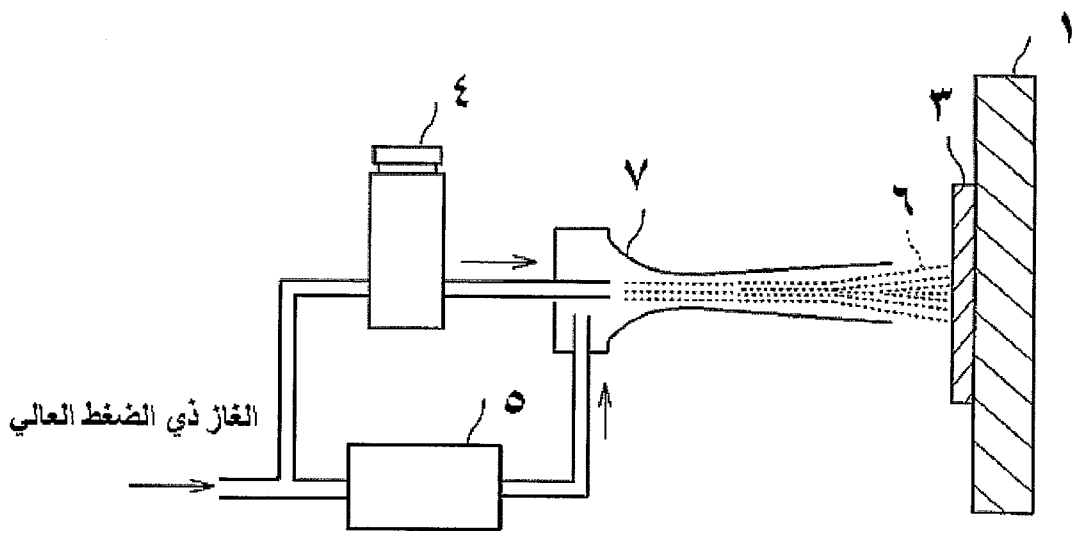
شكل ٤


زمن الإجهاد ذي الدورة المنخفضة 816)م ، استطالة (0.4%دورة
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
ليست هناك معالجة بـ HIPمسحوق السبيكة غير المصهورة
ليست هناك معالجة بـ HIPالمادة الأساسية FSX414))
تمت المعالجة بـ HIPمادة الإصلاح TIG
تمت المعالجة بـ HIPمسحوق السبيكة غير المنصهرة١
ليست هناك معالجة بـHIP
تمت المعالجة بـHIP
مسحوق السبيكة غير المصهورة +8
مسحوق السبيكة غير المصهورة 4

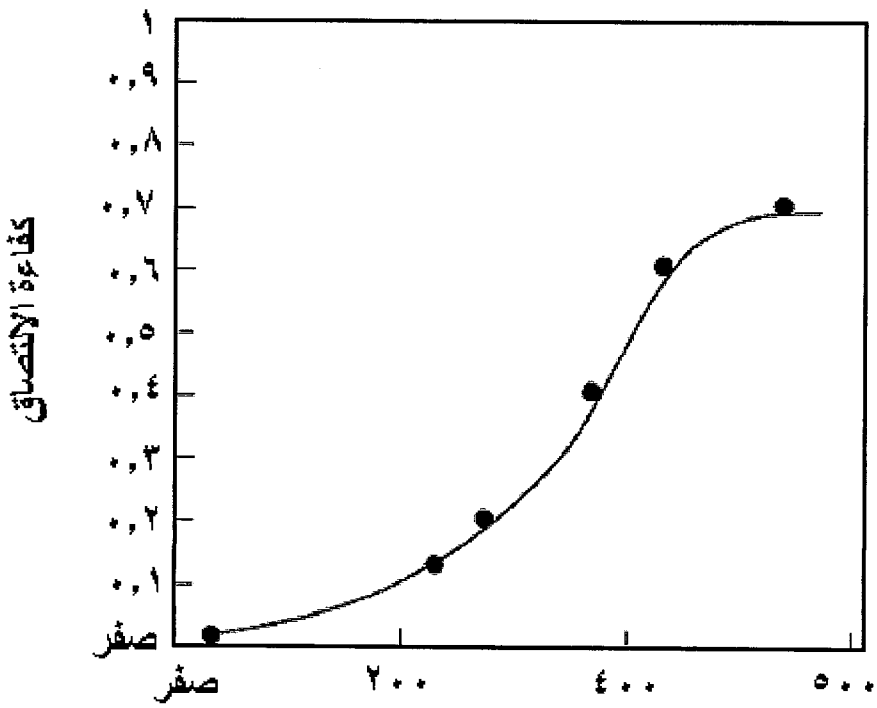
شكل ٥



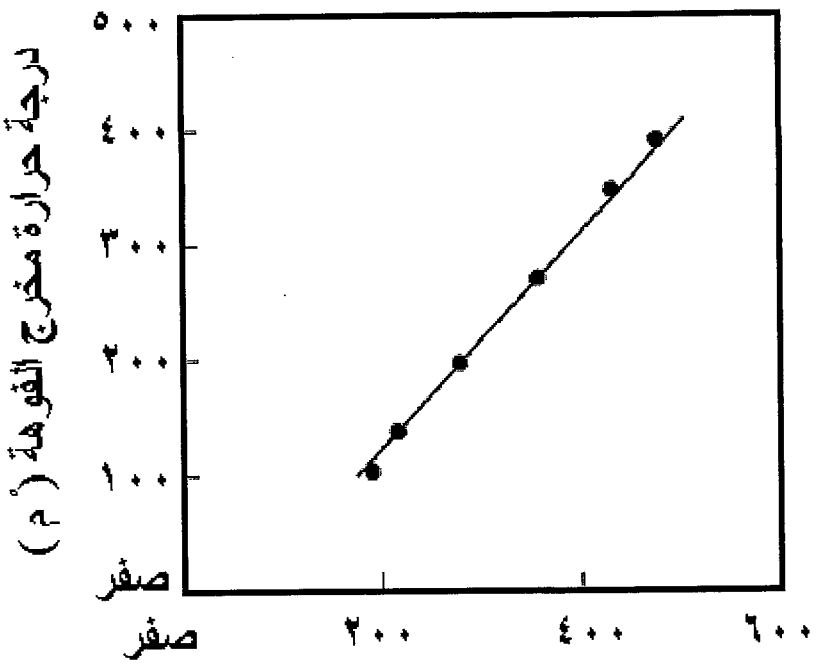
شكل ٦


١
٣
٤
٥
٦
٧
الغاز ذي الضغط العالي

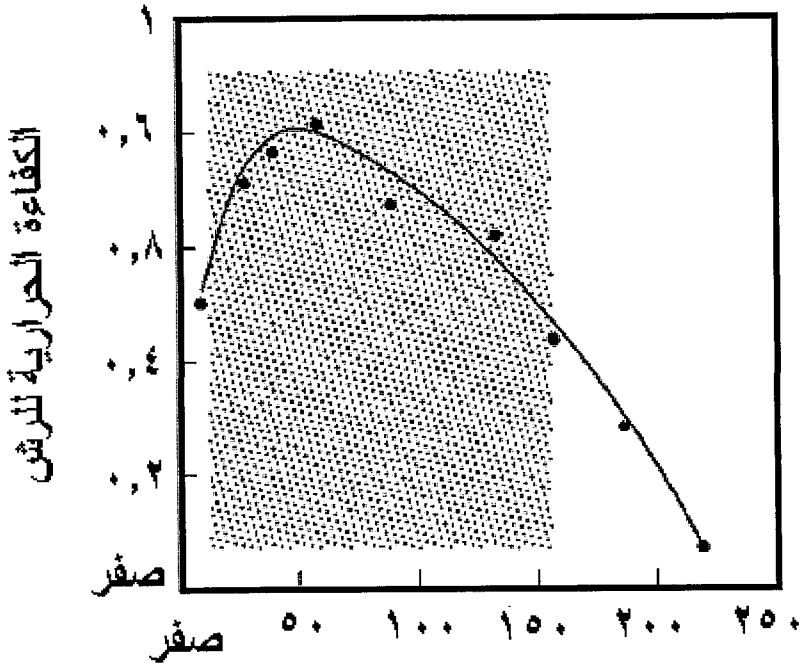
شكل ٧


كفاءة الالتصاق
١
٠,٩
٠,٨
٠,٧
٠,٦
٠,٥
٠,٤
٠,٣
٠,٢
٠,١
صفر
صفر
٢٠٠
٤٠٠
٥٠٠
سرعة الجسيمات (ملي / ثانية)

شكل ٨


درجة حرارة مخرج الفوهة (°م)
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠
صفر
صفر
٢٠٠
٤٠٠
٦٠٠

شكل ٩


الكفاءة الحرارية للرش
١
٠,٦
٠,٨
٠,٤
٠,٢
صفر
صفر
٥٠
١٠٠
١٥٠
٢٠٠
٢٥٠
قطر الجسيمات (بالميكرومتر)

شكل ١٠