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 28794 B1

(43) Date de publication :
01.08.2007

(51) Cl. internationale :
B22D 13/02; B22F 3/12; B22F 5/10; B22F 7/08; B32B 15/01; C10G 9/20; C23C 24/08; F16L 9/18; F28F 1/40; F28F 19/06

(21) N° Dépôt :
29669

(22) Date de Dépôt :
07.02.2007

(30) Données de Priorité :
12.08.2004 DE 10 2004 039 356.7

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/EP2005/008813 12.08.2005

(71) Demandeur(s) :
SCHMIDT+ CLEMENS GMBH CO. KG, EDELSTAHLWERK KAISERAU 51779 LINDLAR (DE)

(72) Inventeur(s) :
JAKOBI, Dietlinde ; DÜSTER, Hans-Peter ; MARTURET, Carlos

(74) Mandataire :
ABU-SETTA & PARTNERS

(54) Titre : **TUBE COMPOSITE , SON PROCEDE DE PRODUCTION ET SON UTILISATION**

(57) Abrégé : L'OBJECTIF DE L'INVENTION EST DE CRÉER UN TUBE COMPOSITE PARTICULIÈREMENT BIEN ADAPTÉ AUX EXIGENCES SPÉCIFIQUES IMPOSÉES DANS DES DOMAINES D'UTILISATION PARTICULIERS, TELS QUE L'HYDROPYROLYSE. A CET EFFET, LE TUBE COMPOSITE SELON L'INVENTION PRÉSENTE UNE PREMIÈRE ET UNE DEUXIÈME PARTIE DE TUBE. UNE PARTIE DE TUBE EST PLACÉE DANS L'AUTRE PARTIE; LA PREMIÈRE PARTIE EST UN TUBE EN FONTE CENTRIFUGÉE; ET LA DEUXIÈME PARTIE EST PRODUITE PAR COMPRESSION À PARTIR D'UNE POUDRE.

أنبـــوب مـــركـــب Composite Tube، طريقـــة لإنتاجـــه، واستخدامـــه

الملخص

يتعلق الاختراع الراهن بأنبوب مركب composite tube يلائم بشكل خاص الحاجات المحددة المفروضة في مجالات تطبيق معين، مثل التحلل الحراري المائي hydropyrolysis، حيث يشتمـــل الأنبـــوب المركـــب علـــى جـــزء أنبوبـــي أول first part-tube وجزء أنبوبي ثانٍ second part-tube، حيث

- يتم ترتيب أحد الجزأين الأنبوبيين في الجزء الأنبوبي الآخر،
- يكـــون الجـــزء الأنبوبـــي الأول عبـــارة عـــن أنبوب مصبوب بالطرد المركزي centrifugally cast tube، و
- يتم إنتاج الجـــزء الأنبوبـــي الثانـــي مـــن مسحـــوق بإجـــراء معالجـــة بالضغط pressure treatment.

MA 28794B1

01 AOUT 2007

أنبـــوب مـــركـــب Composite Tube، طريقـــة لإنتاجـــه، واستخدامـــه

مجال الاختراع

يتعلق الاختراع بأنبوب مركب composite tube، بعملية إنتاجه وباستخداماته.

خلفية الاختراع

لقد أثبتت الأفران الأنبوبية tube furnaces التي يتدفق فيها مزيج من هيدروكربون hydrocarbon وبخار ماء خلال سلسلة من الأنابيب المستقلة أو المتعرجة (ملفات التكسير الأنبوبية cracking tube coils) عند درجات حرارة تزيد عن 750°م المصنوعة من سبيكة كروم-نيكل-فولاذ chromium-nickel-steel alloy الصامدة للحرارة وذات المقاومة العالية للأكسدة oxidation والتقشر بفعل غازات المداخن flue gases والمقاومة العالية للكربنة carburization بأنها ملائمة للاستخدام عند التحلل الحراري pyrolysis للهيدروكربونات hydrocarbons (مشتقات النفط الخام crude oil derivatives) عند درجة حرارة مرتفعة. وتشتمل الملفات الأنبوبية، على سبيل المثال، على أقسام أنبوبية مستقيمة ممتدة عمودياً ومرتبطة ببعضها البعض بواسطة حنيات أنبوبية على شكل حرف U U-shaped tube bends؛ وعادةً ما يتم تسخينها باستخدام أجهزة حرق توضع على الجدران الجانبية side-wall burners وفي بعض الأحيان باستخدام أجهزة حرق سفلية bottom burners أيضاً ولذلك يكون لها ما يعرف بجانب متوهج light side، يواجه أجهزة الحرق وما يعرف بجانب غير متوهج dark side ينزاح بزاوية مقدارها 90° عنها، أي يمتد باتجاه صفوف الأنابيب. وفي بعض الأحيان قد يزيد متوسط درجات حرارة فلز الأنبوب tube metal temperatures (TMT) عن 1000°م.

وتعتمد مدة صلاحية service life أنابيب التكسير إلى حد كبير جداً على مقاومتها للكربنة وهذا يعتمد بدوره على معدل التحوّل إلى فحم الكوك (التكويك) coking rate. ويتمثل العامـــل الحـــرج في تحديد معدّل التكويك، أي تكوّن طبقـــة من الرواســـب الكربـــونيـــة carbon deposits (فحم الكوك الناتج عن التحلل الحراري) على الجدار الداخلي للأنبوب، بالإضافـــة إلى نـــوع الهيدروكربونات hydrocarbons المستخدم، في درجة حرارة غاز التكسير في منطقـــة الجـــدار الداخلـــي وهو ما يعرف بشـــدة التشغيـــل operating severity،

التي تغطـــي على تأثير ضغط النظام system pressure وزمن البقاء residence time في نظام الأنبوب على معدّل إنتاج الإثيلين ethylene yield. وتضبط شدة التشغيل على أساس متوسط درجة حرارة غازات التكسير عند المخرج (مثلاً، درجة حرارة تبلغ 850°م). وكلما زادت درجة حرارة الغاز بالقرب من الجدار الداخلي للأنبوب عن درجة الحرارة هذه، كلما أصبح تكوّن طبقـــة فحم الكوك الناتج عن التحلل الحراري مكلفاً أكثر، ويسمح تأثير العزل الذي تسببه هذه الطبقة بزيادة درجة حرارة فلز الأنبوب بشكل إضافي أيضاً. ومع أن سبائك الكروم–النيكل–الفولاذ chromium-nickel-steel alloy التي تحتوي على كربون carbon بنسبة تبلغ 0.4%، وكروم chromium بنسبة تزيد عن 25% ونيكل nickel بنسبة تزيد عن 20%، على سبيل المثال كروم chromium بنسبة تبلغ 35%، نيكل nickel بنسبة تبلغ 45% ونيوبيوم niobium بنسبة تبلغ 1% إذا كان ذلك ملائماً، وتستخدم بصفتها مادة الأنبوب تكون ذات مقاومة عالية للكربنة، إلا أن الكربون carbon ينتشر على جدار الأنبوب في مواقع الخلل في طبقة الأكسيد oxide layer، مما يؤدي إلى حدوث كربنة بشكل كبير، قد تـــُنتج محتوى من الكربون carbon يتراوح من 1% إلى 3% عند أعماق في الجدار تتراوح من 0.5 إلى 3 ملم. ويصاحب هذا حدوث تقصف كبير في مادة الأنبوب، مع خطر تكون الشقوق في حالة الأحمال الحرارية المتراوحة fluctuating thermal loads، وبشكل خاص عند بدء تشغيل الفرن وإيقافه.

ولتفكيك الرواسب الكربونية (فحم الكوك) على الجدار الداخلي للأنبوب، من الضروري إيقاف تشغيل عملية التكسير بين الحين والآخر وإحراق فحم الكوك الناتج عن التحلل الحراري باستخدام مزيج من بخار الماء والهواء. ويتطلب هذا إيقاف تشغيل العملية لمدة لا تزيد عن 36 ساعة، ويكون لهذا تأثير عكسي كبير على الجدوى الاقتصادية للعملية.

وتكشف براءة الاختراع البريطانية رقم 969796 عن استخدام أنابيب تكسير ذات زعانف داخلية inner fins. ومع أن استخدام زعانف داخلية من هذا النوع يـــُنتج مساحة سطح داخلية internal surface area بنسبة مئوية جيدة، على سبيل المثال نسبة مئوية تبلغ 10%، أو أكثر، مع تحسين مناظر في النقل الحراري heat transfer، إلا أن استخدامها يرتبط كذلك بالفقد المتزايد بشكل كبير في الضغط مقارنة بأنبوب أملس، بسبب الاحتكاك على السطح الداخلي المكبـــَّر. ويتطلب فقد أكبر في الضغط تطبيق ضغط نظام أعلى وهذا يكون له تأثير عكسي

على معدّل الإنتاج. ويتمثل عامل إضافي في أنه لا يمكن تشكيل جانبية من مواد الأنبوب المعروفة التي تحتوي على الكربون carbon والكروم chromium بنسب مرتفعة على البارد، وعلى سبيل المثال الكبس على البارد cold-pressing. ولهذه المواد عيب يتمثل في الانخفاض الكبير في قابلية التشوه deformability عند زيادة الصمود للحرارة ومقاومة الكربنة والأكسدة. ويؤدي هذا الى ارتفاع كبير في درجات حرارة فلز الأنبوب، فعلى سبيل المثال قد تصل إلى 1050°م، وهذا يعد مرغوباً بالنسبة لمعدّل إنتاج الإثيلين ethylene، مما يطلب استخدام أنابيب تم صبها بالطرد المركزي centrifugally cast tubes.

وفي عملية الصب بالطرد المركزي centrifugal casting، يتم صب السبيكة المصهورة في طرف قالب صب أنبوبي tubular casting mould يدور بسرعة عالية بحيث تـُشكـّل السبيكة المصهورة طبقة من سبيكة سائلة على الجانب الداخلي من قالب الصب. وبعد تصلـّب السبيكة، يتم إيقاف دوران قالب الصب، وبعد ذلك يمكن إخراج الأنبوب الذي تم تشكيله بهذه الطريقـة. ويتم ثقب الأنبوب على امتداد طوله بحيث يتم الحصول على القطر الداخلي internal diameter المطلوب. وستكون أي شوائب أكسيدية oxide impurities موجودة أقل وزناً من السبيكة ولذلك ستطفو على السطح الداخلي للأنبوب، وتتم إزالتها بالثقب.

ومن ناحية أخرى، بما أنه لا يمكن إنتاج الأنابيب المصبوبة بالطرد المركزي إلا بجدران اسطوانية، فإنه تلزم عملية تشكيل آلي معينة بالتقطيع أو بإزالة المادة الكتروليتياً special cutting or electrolytically material-removing machining operation لإنتاج أنبوب ذي زعانف داخلية.

وتصف براءة الاختراع الأوروربية رقم 0980729 B1 هذا النوع من التشكيل الآلي الإلكتروليتي للأنبوب المصبوب بالطرد المركزي. ولهذا الغرض، يتم إدخال الغفل الأنبوبي tube blank في أداة تثبيت holding device حيث يتم إغلاق ما حول طرفيها المفتوحين بإحكام. ويتيح هذا الإغلاق فقط تدفق الكتروليت electrolyte إلى الداخل وإلى الخارج ومرور قضيب الكتروديي electrode bar، يتصل بطرفه الكترود؛ ويمكن تحريك الالكترود باستخدام قضيب الكتروديي على طول الأنبوب المراد تشكيله آلياً من الداخل، بالاتجاه المحوري للأنبوب. ويوجد على السطح الخارجي للالكترود سلسلة من القمم peaks والتجاويف valleys. وتزال

مادة الجانب الداخلي للأنبوب الكتروليتياً بتطبيق فرق جهد بين الالكترود والأنبوب بواسطة أطراف توصيل كهربائية electrical terminals، يتم ترتيبها بحيث تكون متباعدة على طول الأنبوب، وبواسطة كتلة لتوصيل التيار current connection block عند طرف القضيب الالكترودي. وبهذه الطريقة، يتم تزويد الجزء الداخلي من الأنبوب بجانبية لها الشكل الهندسي للسطح الخارجي للالكترود. إلا أنه تبين أن إجراء هذه العملية يكون معقداً.

ويعرف إنتاج الأنابيب المركبة عن طريق الصب بالطرد المركزي، حيث يتم إنتاج الأجزاء الأنبوبية في خطوات تشكيل آلي منفصلة ويتم وصلها ببعضها البعض فلزياً، في براءة الاختراع الأمريكية رقم 6406800 B1، التي تصف حنية أنبوبية تستخدم في صنع خطوط أنابيب لنقل المواد الصلبة. ويتم إنتاج الأنبوب المركب المستخدم بصفته المنتج الأولي للأنبوب المنحني عن طريق الصب بالطرد المركزي. وفي البداية، يتم صب المادة التي تشكل الأنبوب الخارجي في الحالة المصهورة molten state في قالب الصب، الذي يدور بسرعة عالية، بحيث تـُشكـّل السبيكة المصهورة طبقة من سبيكة سائلة على الجانب الداخلي لقالب الصب. وقبل تصلب السبيكة بشكل كامل بقليل أو مباشرة بعد التصلب الكامل، تصب السبيكة المصهورة التي تشكل الأنبوب الداخلي بطريقة مماثلة في قالب صب دوّار، بحيث تـُشكـّل السبيكة الثانية المصهورة طبقة من سبيكة سائلة على الجانب الداخلي للسبيكة المتصلبة فعلياً في البداية. ثم تخلط المادتين في المنطقة الانتقالية بين الأنبوب الخارجي والأنبوب الداخلي وبالتالي ينتج اتصال فلزي بين الأنبوبين. ولا تعد السبائك الموصوفة في براءة الاختراع الأمريكية رقم 6406800 B1 ملائمة للاستخدام أثناء التحلل الحراري عند درجة حرارة مرتفعة. ويتمثل عيب آخر في أنه يمكن فقط استخدام السبائك الملائمة لعملية الصب بالطرد المركزي لتشكيل الأنابيب الداخلية والخارجية.

وعلاوة على ذلك، يعرف في براءة الاختراع الأمريكية رقم 5069866 إنتاج أنبوب يشتمل على أنبوب خارجي وأنبوب داخلي متصل بالأنبوب الخارجي عن طريق الكبس إسوي التضاغط على الساخن hot isostatic pressing (HIP) باستخدام مسحوقين. وتكون أنواع الفولاذ الأوستنيتي austenitic steels أو سبائك النيكل nickel الموصوفة في تلك الوثيقة، أيضاً غير ملائمة للاستخدام أثناء التحلل الحراري عند درجة حرارة مرتفعة.

وبالنظر إلى هذه الخلفية، يقوم الاختراع على أساس تقديم أنبوب يلائم بشكل خاص الحاجات المحددة المفروضة في مجالات تطبيق معين، مثل التحلل الحراري المائي hydropyrolysis. وعلاوة على ذلك، من المقصود تقديم عملية لإنتاج أنابيب تتضمن أنبوب داخلي وأنبوب خارجي.

ويحل موضوع عناصر الحماية الرئيسية هذه المشكلة، بينما يتم تزويد أشكال مفيدة في عناصر الحماية الفرعية.

الكشف عن الاختراع

يقوم الاختراع على الفكرة الأساسية لتشكيل أنبوب مركب يشتمل على جزء أنبوبي أول first part-tube وجزء أنبوبي ثانٍ second part-tube، حيث يتم ترتيب أحد الجزأين الأنبوبيين في الجزء الأنبوبي الآخر، ويكون الجزء الأنبوبي الأول عبارة عن أنبوب مصبوب بالطرد المركزي، ويتم إنتاج الجزء الأنبوبي الثاني من مسحوق بإجراء معالجة بالضغط pressure treatment. وبجمع الجزأين الأنبوبيين، يكون من المحتمل أن يلائم الأنبوب وفقاً للاختراع بشكل خاص الحاجات المفروضة في مجال تطبيق معين، مثل التحلل الحراري المائي.

ويمكن استخدام الجزء الأنبوبي الثاني بشكل خاص لتحسين خواص التآكل corrosion properties، حتى عند درجات حرارة لا تزيد عن 1200°م، مقاومة البلى wear resistance، سلوك الكربنة والتكويك عند استخدامها في أجهزة تكسير الإثيلين ethylene وتحسين النقل الحراري للأنابيب المصبوبة بالطرد المركزي.

وعند استخدامها للنقل في أوساط عالية التآكل، يمكن أن يكون الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي مصنوعاً من مادة مقاومة للتآكل تكون، على سبيل المثال، ذات خواص ميكانيكية محدودة، بينما يكون الجزء المتبقي من سماكة الجدار مصنوعاً من مادة أقل ثمناً وذات خواص ميكانيكية جيدة.

ونظراً لبنيته الصغرية المتجانسة وإمكانية صنعه من أنواع الفولاذ الكرومي-النيكلي chromium-nickel steels، يكون الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي ملائماً بشكل خاص لعملية التكسير الحراري للهيدروكربونات hydrocarbons. إلا أنه بتشكيل جزء أنبوبي ثانٍ، يتم إنتاجه

من مسحوق، على سبيل المثال بالكبس إسوي التضاغط على الساخن، يمكن إضفاء خواص إضافية لا يمتلكها الأنبوب بحد ذاته على الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي. وعلى سبيل المثال، يمكن صنع الجزء الأنبوبي الثاني من مواد لا تكون ملائمة لعملية الصب بالطرد المركزي ولكن يمكن إنتاجه في صورة مسحوق. وعلاوة على ذلك، يمكن تزويد الجزء الأنبوبي الثاني بشكل هندسي، على سبيل المثال جانبية سطحية، أثناء معالجة المسحوق بالضغط.

وباستخدام أنابيب نقية مصبوبة بالطرد المركزي، يمكن الحصول على أشكال هندسية من هذا النوع بطريقة أخرى بإجراء خطوات إعادة تشكيل آلي معقدة فقط، وعلى سبيل المثال، عملية إعادة تشكيل آلي بالتقطيع أو إزالة المواد الكتروليتياً. وقد يكون للأنبوب المركب وفقاً للاختراع، من ناحية أخرى، سطح أملس أيضاً. وفي هذه الحالة، تصبح فوائد الخيار الأوسع من المواد المصنوعة بصورة محتملة من مسحوق متاحة. وفي ظروف معينة، من الممكن أيضاً الاستغناء عن المعالجة الإضافية المكلفة للأنبوب المصبوب بالطرد المركزي، وعلى سبيل المثال عملية ثقب الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي المراد استخدامه في الأنبوب المركب.

ويقصد بأنبوب مركب أنبوب يتضمن منطقتين على الأقل، بناءً على مقطعه العرضي، تختلفان عن بعضهما البعض استناداً إلى طريقة إنتاجهما.

ويقصد بمعالجة المسحوق بالضغط أي عملية رص للمسحوق تنتج، إذا كان ذلك يتلائم مع تسخين المسحوق، مادة صلبة متماسكة من المسحوق أو المسحوق الذي تم رصه مسبقاً. ومن المفضل بشكل خاص أن يتم إنتاج الجزء الأنبوبي الثاني بواسطة الكبس إسوي التضاغط على الساخن (HIP).

وفي تجسيد مفضل، يتم ترتيب الجزء الأنبوبي الأول بحيث يكون ملاصقاً بشكل مباشر للجزء الأنبوبي الثاني، كما يظهر في الاتجاه نصف القطري للأنبوب المركب، ويكون أحد أسطحه متصلاً بشكل ثابت بسطح الجزء الأنبوبي الثاني. إلا أنه من الممكن أيضاً تزويد أجزاء أنبوبية أخرى، وبشكل خاص أنابيب مصبوبة بالطرد المركزي أو أجزاء أنبوبية أخرى

يتم إنتاجها بمعالجة المسحوق بالضغط. وبهذه الطريقة يكون من الممكن إنتاج طبقات مختلفة لأنبوب مركب ذات خواص مفضلة تتعلق بموقعها الخاص في المقطع العرضي للأنبوب.

وفي تجسيد مفضل، يكون للجزء الأنبوبي الثاني جانبية، وبشكل خاص زعنفة داخلية واحدة أو أكثر، وقد تكون الجانبية كذلك عبارة عن جانبية خارجية. ويمكن استخدام جانبية للتأثير على تدفق الأوساط داخل الأنبوب المركب وفقاً للاختراع أو تدفق الأوساط على طول الجانب الخارجي للأنبوب المركب، وعلى سبيل المثال بتدويمها باتجاه الأعلى. ويكون التجسيد المفضل بشكل خاص الذي يتضمن الزعانف الداخلية ملائماً جداً للاستخدام في عملية التكسير الحراري للهيدروكربونات hydrocarbons في وجود بخار الماء.

واعتماداً على جانب الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي المراد تزويده بالخواص المحددة بواسطة الجزء الأنبوبي الثاني (الجانب الخارجي، الجانب الداخلي)، من الممكن إنتاج الجزء الأنبوبي الثاني داخل الجزء الأنبوبي الأول أو حول الجزء الأنبوبي الأول.

ويمكن تشكيل جانبية تدفق مفضلة من التدفق القلبي core flow والتدفق الدوامي swirling flow في الأنبوب المركب وفقاً للاختراع الذي يتضمن زعانف داخلية باستخدام أنبوب مركب حيث تتراوح زاوية الجنب flank angle للزعانف، التي تكون متصلة من بداية الأنبوب إلى نهايته، أي الزاوية الخارجية بين جوانب الزعانف ونصف قطر الأنبوب tube radius، من 16° إلى 20°، ويفضل من 17.5° إلى 18.5°؛ وبالتالي تكون أكبر من الزاوية التي تعرف بزاوية فنتوري venturi angle، أي زاوية الفتحة لفوهة فنتوري venturi nozzle باتجاه التدفق، التي لا تزيد عادةً عن 15°. وتضمن زاوية الجنب من هذا النوع، وتحديداً عند جمعها مع زاوية ميل الزعنفة التي تتراوح من 20° إلى 40°، ويفضل من 22.5° إلى 32.5°، عدم تكوّن تدفق مضطرب متواصل أكبر أو أصغر نحو تجاويف الزعانف التي تقع خلف جوانب الزعانف، مما يؤدي إلى تشكل حركات التوائية twisters غير مرغوبة، أي تشكل التواءات متقاربة من التدفق الاضطرابي plaits of turbulence، في تجاويف الزعانف. وبدلاً من ذلك، ينفصل الاضطراب المتشكل في تجاويف الزعانف عن جوانب الزعانف ويزال بفعل التدفق الدوامي. ولذلك يُحتفظ بطاقة التدويم المستحثة بفعل الزعانف بصفة جوهرية ولا تستهلك في

تجاويف الزعانف. وهذا يؤدي إلى تخفيض درجة حرارة فلز الأنبوب ويجعلها متماثلة أكثر وأيضاً يجعل درجة الحرارة عبر المقطع العرضي للأنبوب أكثر تماثلاً.

ويمكن تصميم الزعانف وتجاويف الزعانف الواقعة بينها بحيث تكون متماثلة مرآوياً من حيث المقطع العرضي ومتصلة مع بعضها البعض أو قد تشكل خطاً لولبياً حيث تكون أنصاف أقطار الانحناءات فيه متماثلة في كل حالة. ومن ثم تتشكل زاوية الجنب بين المماس tangent في تجويف الزعنفة/النقطة الانتقالية للزعنفة ونصف قطر الأنبوب المركب. وفي هذه الحالة، تكون الزعانف قليلة العمق نسبياً؛ ولذلك، يكون ارتفاع الزعنفة fin height، أي المسافة نصف القطرية radial distance بين تجاويف الزعانف وقمم الزعانف، عبارة عن نسبة مساحة سطح الزعنفة fin surface area داخل الدائرة الغلافية envelope circle والمقطع العرضي للحيز الخالي clear cross section. وينبغي أن تتراوح النسبة من 0.06 إلى 0.01 (ويفضل من 0.08 إلى 0.1). وبناءً على ذلك، يزداد ارتفاع الزعنفة مع زيادة القطر، بحيث يبقى التدفق الدوامي بالقوة والاتجاه المطلوبين للحصول على تأثير الجانبية.

وبعبارة أخرى، لا تزيد نسبة تصغير مساحة الحيز الخالي، لأنبوب أملس له نفس القطر بصفته الدائرة الغلافية للجانبية، عن 3%، ويفضل أن تتراوح من 1.5% إلى 2.5%.

وينتج عن سرعة تدفق أكبر تنظيف ذاتي في تجاويف الزعانف وبالتالي رواسب أقل من فحم الكوك الناتج عن التحلل الحراري.

ولقد أظهرت الاختبارات أنه، بصرف النظر عن القطر الداخلي للأنابيب، يكون ما مجموعه 6 إلى 20، ويفضل 8 زعانف كافياً للحصول على جانبية التدفق وفقاً للاختراع.

وفي الأنبوب المركب ذي الزعانف الداخلية وفقاً للاختراع، يفضل أن تتراوح نسبة خارج قسمة معاملات النقل الحراري heat transfer coefficients (Q_R/Q_0) إلى خارج قسمة المقادير المفقودة من الضغط pressure losses ($\Delta P_R/\Delta P_0$) في اختبار الماء water test، بتطبيق وملاحظة قوانين التماثل similarity laws واستخدام أعداد رينولدز Reynolds numbers التي تم تحديدها لمزيج النفثا naphtha وبخار الماء، من 1.4 إلى 1.5، حيث R يشير إلى أنبوب ذي زعانف و 0 يشير إلى أنبوب أملس.

ويتم توضيح تفوق الأنبوب المركب وفقاً للاختراع (الجانبية 3) مقارنة بأنبوب أملس (الجانبية صفر) وأنبوب ذي زعانف حيث تكون الزعانف متوازية محورياً (الجانبية 1)، حيث تبلغ المسافة نصف القطرية بين تجاويف الزعانف وقمم الزعانف 4.8 ملم، بالبيانات المذكورة في الجدول أدناه. وتحتوي جميع الأنابيب ذات الزعانف على 8 زعانف ويكون لها نفس الدائرة الغلافية.

الجانبية	صفر	1	3
درجة حرارة المائع عند 9950 ملم في المركز T_m (°م)	843.6	848.1	843.0
درجة حرارة المائع عند 9950 ملم عند الحافة T_r (°م)	888.9	894	874.8
مدى درجة الحرارة عند 9950 ملم ($\Delta T = T_r - T_m$) (°م)	45.3	45.9	31.8
عامل التماثل Homogeneity factor بالنسبة لأنبوب أملس ($H_t = \Delta T_0/\Delta T_x$) H_t	1	0.9869281	1.4245283
القطر الهيدرولي d_h (م)	0.0380	0.0326	0.0358
عامل التماثل فيما يتعلق بالقطر الهيدرولي بالنسبة للأنبوب الأملس ($H_{t\varnothing}:H_{t\varnothing} = \Delta T_0 > d_x/\Delta T_x > d_0$)	1	0.8477193	1.3420556

حيث ∅ يمثل القطر الهيدرولي hydraulic diameter.

وفي الجدول أعلاه، يعرّف القطر الهيدرولي كالتالي:

D_{hydr} = 4 x (المقطع العرضي للحيز الخالي)/المحيط الداخلي؛

وهو يناظر على نحو مفضل القطر الداخلي لأنبوب أملس مكافىء وبالتالي يزود عامل تماثل مقداره 1.425.

وفي اختبار الماء، يزود الأنبوب المركب وفقاً للاختراع نقل حراري (Q_R) يكون أعلى بمعامل مقداره 2.56 مقارنة بالأنبوب الأملس، وفقد في الضغط (ΔP_R) يكون أكبر بمعامل مقداره 1.76 فقط.

وفي تجسيد مفضل، يكون تحليل تركيب الجزء الأنبوبي الأول كما يلي:

العنصر	% بالوزن
C	من 0.1 إلى 0.5
Cr	من 20 إلى 50
Ni	من 20 إلى 80
Nb	من صفر إلى 2
Si	من صفر إلى 3
W	من صفر إلى 5
عناصر أخرى	من صفر إلى 1
Fe	الجزء المتبقي

ويفضل بشكل خاص بالنسبة للجزء الأنبوبي الأول أن يتكون من مواد من النوع DIN EN 10027 الجزء 1 وهي GX40CrNiSi25-20؛ GX40NiCrSiNb35-25؛ GX45NiCrSiNbTi35-25؛ GX35CrNiSiNb24-24؛ GX45NiCrSi35-25؛ GX43NiCrWSi35-25-؛ GX10NiCrNb32-20؛ GX50CrNiSi30-30؛ G-NiCr28W؛ G-NiCrCoW؛ GX45NiCrSiNb45-35؛ GX13NiCrNb45-35؛ GX13NiCrNb37-25؛ GX55NiCrWZr33-30-04.

ولقد تبين أن هذه المواد ملائمة بصفة خاصة للاستخدام عند درجة حرارة مرتفعة في عمليات التكسير الحراري للهيدروكربونات hydrocarbons.

وفي تجسيد مفضل، يتكون الجزء الأنبوبي الثاني من نفس مادة الجزء الأنبوبي الأول. إلا أنه، لضبط خواص محددة، من الممكن كذلك أن يتكون الجزء الأنبوبي الثاني من مادة خزفية ceramic material، مادة سبيكية intermetallic material أو مادة ODS. ويمكن تحضير المواد السبيكية بحيث تكون خاملة في الأجواء الشديدة، في حين أن مواد ODS تتيح مقاومة تمزق تزحفي creep rupture strength جيدة باستخدام أكاسيد oxides مشتتة بصورة دقائق.

وتزود العملية وفقاً للاختراع لإنتاج أنبوب مركب مسحوقاً يكون في تلامس مع السطح الداخلي أو الخارجي للأنبوب المصبوب بالطرد المركزي، والمسحوق المراد رصه بإجراء معالجة بالضغط لتشكيل الجزء الأنبوبي الثاني ووصله بالأنبوب المصبوب بالطرد المركزي، وبشكل خاص وصله فلزياً. ويمكّن استخدام مسحوق لإنتاج الجزء الأنبوبي الثاني

من إنتاج الجزء الأنبوبي من المواد أو توليفات المواد التي لا تكون ملائمة لعملية الصب بالطرد المركزي أو يمكن إنتاجها في ظروف مرتفعة التكاليف فقط (مثل جو خامل). وفضلاً عن ذلك، من الممكن إنتاج أنابيب لا يمكن صبها بالطرد المركزي بسبب شكلها الهندسي، مثل أنبوب داخلي ذي سماكة جدار مقدارها بضعة مليمترات فقط. وهذا يؤدي تحديداً إلى إمكانية تكييف السطح الخارجي أو الداخلي لأنبوب مصبوب بالطرد المركزي باستخدام مواد خاصة بمجالات التطبيق حيث تتطلب المواد المصبوبة بالطرد المركزي حماية خاصة، على سبيل المثال حماية من التآكل أو التكويك.

ويمكن رش المسحوق على سطح الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي الذي يتصل به الجزء الأنبوبي الثاني. ويتم تحقيق ذلك على نحو مفيد بصفة خاصة إذا كانت درجة حرارة الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي مرتفعة. ولهذا الغرض، يمكن رش الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي بالمسحوق مباشرة بعد صبه أو يمكن إعادة تسخينه بصفة خاصة لوضع المسحوق.

ومن المفضل بصفة خاصة تسخين المسحوق أثناء إنتاج الأنبوب المركب. ويفضل على نحو خاص أن يتم ذلك بنفس وقت المعالجة بالضغط، مثلاً عن طريق الكبس إسوي التضاغط على الساخن الذي يفضل استخدامه بصفة خاصة. إلا أنه، من الممكن كذلك أن يسبق تسخين المسحوق المعالجة بالضغط. وإذا أجريت المعالجة بالضغط وتسخين المسحوق في نفس الوقت، تكون النتيجة جزء أنبوبي ثاني ذي كثافة مرتفعة، مسامية منخفضة وارتباط فلزي جيد.

وقد يحدث تسخين المسحوق بنقل الحرارة من الخارج، مثلاً بتسخين الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي أو بواسطة تيار غازي يتدفق فوق المسحوق أو بواسطة عنصر تسخين يكون في حالة تلامس مع المسحوق. غير أنه، من الممكن كذلك تسخين المسحوق بشكل تحريضي.

ويمكن رص المسحوق مسبقاً قبل المعالجة بالضغط. ويفضل على نحو خاص إجراء ذلك عن طريق الرج shaking. ولتحسين معالجة المسحوق، فإنه يمكن رصه مسبقاً خارج الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي لتشكيل جسم ذي شكل، مثلاً لتشكيل أنبوب أو أسطوانة.

ويمكن إجراء عملية الرص المسبق بدرجة تكفل بأن يكون الجسم المشكل ملائم للمعالجة، أي مثلاً ذاتي الدعم. وبالتالي يكون من السهل إدخال المسحوق الذي تم رصه مسبقاً الذي في صورة جسم مشكل في الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي.

ويمكن تحسين خواص معالجة المسحوق بشكل إضافي أو بديل إذا كان المسحوق مرتبطاً برابط binder، لتشكيل جسم مشكل مثلاً. وينفصل الرابط على نحو مفضل عن المسحوق أثناء المعالجة بالضغط، وبالتحديد أثناء معالجة بالضغط مع التسخين.

ومن المفضل على وجه التحديد إنتاج أنبوب مركب يشتمل على جزء أنبوبي مرتب في الجزء الأنبوبي الأول بواسطة عملية يدخل بها قلب في أنبوب مصبوب بالطرد المركزي، ويملأ حيز خالي متبقي بين السطح الداخلي للأنبوب المصبوب بالطرد المركزي والقلب بمسحوق، ويتم إدخال الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي مع القلب والمسحوق في حجيرة ضغط، وتضغط حجيرة الضغط مع تسخين المسحوق في نفس الوقت، وبعد انتهاء المعالجة بالضغط، يزال القلب من الأنبوب المركب الناتج بهذه الطريقة. وقد أثبتت طريقة إدخال المسحوق في الحيز الخالي المتبقي بين السطح الداخلي للأنبوب المصبوب بالطرد المركزي والقلب فائدة في المعالجة، خصوصاً في حالة أنبوب مصبوب بالطرد المركزي عمودي. واعتماداً على الظروف الحيزية، من الممكن أن يتم إدخال القلب و/أو المادة المالئة بالإضافة إلى المسحوق أثناء وجود أنبوب مصوب بالطرد المركزي داخل حجيرة ضغط pressure chamber.

ومن المفضل إنتاج قلب ذي جانبية معاكسة لجانبية زعنفة على الجانب الداخلي للأنبوب المركب المراد إدخاله في الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي. وبذلك يستقبل الأنبوب المركب جزء أنبوبي ثاني ذي جانبية داخلية حيث يمكن استخدامه على نحو مفضل في عملية تكسير حراري للهيدروكربونات hydrocarbons في وجود بخار الماء.

ويمكن إزالة القلب من الأنبوب المركب جزئياً على الأقل بواسطة التنميش etching أو بواسطة عمليات ميكانيكية. وهذا يجعل من السهل تحرير القلب من الأنبوب المركب الناتج حتى إن كان القلب موصول فلزياً بشكل جزئي بالجزء الأنبوبي الثاني.

وبالإضافة إلى ذلك أو بشكل بديل، من الممكن تزويد المسحوق، على الجانب المواجه للقلب أو القالب، مع مادة مُباعِـدة spacer material، مثل رابط خاص، يمنع الاتصال الفلزي مع القلب أو القالب أثناء معالجة المسحوق بالضغط، وبالتحديد أثناء التسخين. ويفضل إجراء ذلك بتبخير المادة المباعدة عند الانتقال من المسحوق إلى القلب أو القالب.

ولإنتاج أنبوب مركب يحتوي على الجزء الأنبوبي الثاني على الجانب الخارجي للأنبوب المصبوب بالطرد المركزي، فإنه وفقاً لتجسيد مفضل يتم إدخال الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي في قالب، ويملأ حيز خالي متبقي بين السطح الخارجي للأنبوب المصبوب بالطرد المركزي والقالب بمسحوق، ويدخل الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي داخل حجيرة ضغط، وتضغط حجيرة الضغط مع تسخين المسحوق في نفس الوقت، وبعد انتهاء المعالجة بالضغط، يزال الأنبوب المركب الناتج بهذه الطريقة من القالب باستخدام جزء أنبوبي أول وجزء أنبوبي ثاني.

ويمكن رص المسحوق في الحيز الخالي بين القلب والأنبوب المصبوب بالطرد المركزي أو القالب والأنبوب المصبوب بالطرد المركزي عن طريق الرج.

ولتحسين معالجة أنبوب مصبوب بالطرد المركزي باستخدام مسحوق تم إدخاله في الحيز الخالي بين القالب والأنبوب المصبوب بالطرد المركزي أو القلب والأنبوب المصبوب بالطرد المركزي، يفضل إغلاق الحيز الخالي عند أحد الطرفين. ويتيح ذلك بصفة خاصة معالجة الأنبوب العمودي دون سقوط المسحوق خارج الحيز الخالي.

وتجرى المعالجة بالضغط بصفة محددة عند ضغوط لا تقل عن 450 بار، وبصفة محددة 1000 بار أو أكثر. وأثناء التسخين، يفضل بصفة محددة تسخين المسحوق إلى درجة حرارة لا تقل عن 450°م، وبصفة محددة 1000°م أو أكثر.

ويمكن رص المسحوق أثناء المعالجة بالضغط في جو خامل. حيث أن ذلك يمنع بصفة خاصة أكسدة المسحوق أثناء إنتاج الجزء الأنبوبي الثاني. ومن المفيد بصفة خاصة ملء حجيرة الضغط بغاز خامل.

ويمكن إنتاج الأنابيب المركبة وفقاً للاختراع على نحو فعال بصفة خاصة إذا تم إنتاج مجموعة من أنابيب مركبة معاً في حجيرة ضغط واحدة.

وفي حالة أنبوب مركب يراد إنتاجه باستخدام أنابيب ذوات زعانف ممتدة داخلياً بشكل لولبي، يمكن إنتاج الشكل اللولبي بإنتاج أنبوب مركب ذو زعانف مستقيمة ثم لي أطراف الأنبوب المركب بالنسبة لبعضها البعض بعد الإنتاج.

ويمكن تحسين اقتصاديات التكسير الحراري للهيدروكربونات hydrocarbons في الأفران الأنبوبية ذوات الأنابيب المسخنة خارجياً باستخدام أنبوب مركب، حيث أنه يمكن ضبط الخواص المفضلة للوضع المحدد للجزء الأنبوبي بواسطة أشكال الإنتاج والمواد المختلفة المستخدمة للأجزاء الأنبوبية للأنبوب المركب. ومن المفضل بصفة خاصة استخدام أنبوب مركب وفقاً للاختراع بحيث يكون الجزء الأنبوبي الأول عبارة عن أنبوب مصبوب بالطرد المركزي ويتم إنتاج الجزء الأنبوبي الثاني من مسحوق بالمعالجة بالضغط.

ويمكن تصميم واستخدام الأنبوب المركب وفقاً للاختراع بصفة محددة بكيفية يتم فيها توليد تدفق دوّامي في المنطقة المجاورة مباشرة للزعانف ويحوّل إلى منطقة قلبية بحيث يكون التدفق عبارة عن تدفق محوري بشكل غالب عند تزايد المسافة نصف القطرية عن الزعانف. ويتم الانتقال بين المنطقة الخارجية ذات التدفق الدوّامي والمنطقة القلبية ذات التدفق المحوري بشكل غالب تدريجياً، مثلاً أسياً exponentially.

وأثناء الاستخدام وفقا للاختراع، يقلل التدفق الدوّامي من الاضطراب الفاصل detaching turbulence عند جوانب الزعانف، بحيث لا تتم إعادة تدوير الاضطراب موضعياً إلى تجاويف الزعانف في صورة تدفق دائري متواصل. ويرتبط ذلك بزيادة في متوسط زمن البقاء بنسبة تتراوح من 10% إلى 20%، مثلاً 15%. ويمكن ضمان ذلك بصفة خاصة إذا كان التدفق الدوّامي في منطقة الزعانف أو الزعانف نفسها يمتد بزاوية تتراوح من 20° إلى 40°، مثلاً لا تزيد عن 32°، ويفضل أن تتراوح من 22.5° إلى 32.5°، بالنسبة لمحور الأنبوب.

وأثناء الاستخدام وفقاً للاختراع، يتم تعويض تزويد الحرارة في جدار الأنبوب والجزء الداخلي له، حيث تتفاوت بشكل لا يمكن تجنبه عبر محيط الأنبوب بين الجانب المتوهج والجانب غير المتوهج، وتتبدد الحرارة بسرعة للداخل نحو المنطقة القلبية. ويرتبط ذلك بانخفاض خطر حدوث تسخين مفرط موضعي لغاز المعالجة عند جدار الأنبوب، مما يؤدي

إلى تشكل فحم كوك ناتج عن التحلل الحراري. وعلاوة على ذلك، يقل الإجهاد الحراري لمادة الأنبوب بسبب التعويض الحراري بين الجانب المتوهج والجانب غير المتوهج، مما يزيد من أجل الخدمة. وأخيراً، أثناء الاستخدام وفقاً للاختراع، تتم كذلك معادلة درجة الحرارة عبر المقطع العرضي للأنبوب، مما يؤدي إلى إنتاج الإثيلين ethylene بشكل أفضل أو شدة تشغيل أفضل. وسبب ذلك قابلية انعكاس تفاعل التكسير، حيث أن عدم تعويض الحرارة نصف القطرية وفقاً للاختراع في الجزء الداخلي للأنبوب يؤدي إلى تكسير جدار الأنبوب الساخن وإعادة الدمج في مركز الأنبوب.

وبالإضافة إلى ذلك، يتم تشكل طبقة تدفق صفحي laminar flow layer، حيث أنها صفة مميزة للتدفقات المضطربة، مع انخفاض كبير في انتقال الحرارة في حالة أنبوب أملس وبدرجة أكبر في حالة جانبيات زعانف بمحيط داخلي يزيد بنسبة تزيد عن 10%. ويؤدي هذا التدفق الصفحي إلى زيادة تشكل فحم الكوك الناتج عن التحلل الحراري، وبالمثل توصيل حراري رديء. وتتطلب الطبقتين معاً إدخال مقدار كبير من الحرارة أو سعة أكبر لجهاز الحرق. وذلك يزيد من درجة حرارة الفلز للأنبوب (TMT) وعليه تقليل أجل الخدمة.

ويقلل التدفق الدوّامي بشكل كبير جداً من الطبقة الصفحية؛ ويرتبط بمتجه سرعة باتجاه مركز الأنبوب ويقلل زمن بقاء الجذور أو المنتجات الناتجة من عملية التكسير عند جدار الأنبوب الساخن وتحويلها الكيميائي والحفزي إلى فحم كوك ناتج عن التحلل الحراري. وبالإضافة إلى ذلك، يتم تعويض الفروقات في درجات الحرارة بين تجاويف الزعانف والزعانف، والتي تؤخذ بعين الاعتبار في حالة أنابيب مشكلة الجانبية داخلياً مزودة بزعانف عالية، عن طريق التدفق الدوّامي وفقاً للاختراع. وهذا يزيد من الفاصل الزمني بين الحاجة لإجراء عمليتي إزالة لفحم الكوك. ويتم تحسين أدنى زمن بقاء لمنتجات التكسير التي تميل لأن تتكوك في حالة أنابيب تكسير مزودة بزعانف داخلية. وذلك مهم بصفة خاصة لأنه بدون التدفق الدوّامي وفقاً للاختراع ينتج فرق في درجات الحرارة كبير بين قمم الزعانف وقاعدة تجاويف الزعانف.

وأثناء الاستخدام وفقاً للاختراع، من المفضل أن تزيد السرعة المحيطية للتدفق الغازي في تجاويف الزعانف عن تلك عند قممها.

الوصف التفصيلي

ويتضمن الرسم البياني المبين في الشكل 1 مقارنة بين السرعات الدوّامية أو المحيطية في أنبوب ذي زعانف وفقاً للاختراع (الجانبية 3) يحتوي على 8 زعانف وتميل الزعنفة بزاوية 30° وفي أنبوبين مقارنين (الجانبية 4 والجانبية 6)، لكل منهما 3 أو 8 زعانف تميل بزاوية 16°، على الترتيب، خلال المقطع العرضي للأنبوب. وتوضح المنحنيات على نحو واضح السرعة المحيطية المرتفعة جداً في المنطقة الطرفية للأنبوب المركب وفقاً للاختراع التي تبلغ حوالي 2.75 أو 3 متر/ثانية على الأكثر مقارنة مع السرعة القصوى التي تبلغ حوالي 1.5 متر/ثانية فقط في المناطق الطرفية للأنبوبين المقارنين.

ويبين الرسم البياني في الشكل 2 توزيع السرعة المحيطية مقابل نصف قطر الأنبوب للجانبية 3 لأنبوب مركب وفقاً للاختراع. وتم قياس المنحنيين العلويين على طول نصف قطر يمتد خلال تجويف زعنفة على الجانب المتوهج والجانب غير المتوهج، على الترتيب، بينما تم قياس كل من المنحنيين السفليين على طول أنصاف الأقطار الممتدة خلال قمم الزعانف على الجانب المتوهج والجانب غير المتوهج، على الترتيب.

ويوضح الشكل 3 مقطع عرضي لثلاثة أنابيب اختبارية، بما في ذلك بياناتها، والجانبية 3 وفقاً للاختراع. ويشير كل رسم من الرسوم البيانية إلى جانبية درجة الحرارة عبر نصف قطر الأنبوب على الجانب المتوهج والجانب غير المتوهج. ويظهر من مقارنة الرسوم البيانية الفرق القليل في درجات الحرارة بين جدار الأنبوب ومركزه ودرجة الحرارة المنخفضة لفلز الأنبوب في حالة الجانبية 3 وفقاً للاختراع.

ويضمن التدفق الدوّامي الناتج عن استخدام الأنبوب المركب وفقاً للاختراع أن يكون التقلب في درجة حرارة الجدار الداخلي عبر محيط الأنبوب، أي بين الجانب المتوهج والجانب غير المتوهج، أقل من 12°م، بالرغم من تسخين الملفات الأنبوبية، المرتبة بشكل اعتيادي في صفوف متوازية، لفرن أنبوبي أو التأثير عليها بغازات الاحتراق بمساعدة أجهزة حرق على الجدران الجانبية في جوانب متقابلة وبذلك يكون للأنابيب جانب متوهج، يواجه أجهزة الحرق، وجانب غير متوهج، مزاح بزاوية مقدارها 90° بالنسبة لها. ويؤدي متوسط درجة حرارة فلز الأنبوب، أي الفرق في درجة حرارة فلز الأنبوب على الجانب المتوهج والجانب غير

المتوهج، إلى إجهادات داخلية وبذلك تحديد أجل خدمة الأنابيب. وعليه، ينتج عن الانخفاض في متوسط درجة حرارة فلز الأنبوب لأنبوب مركب وفقاً للاختراع مزود بثماني زعانف تميل بزاوية مقدارها 30°م، وذي قطر داخلي مقداره 38.8 ملم وقطر خارجي مقداره 50.8 ملم، أي الفرق في الارتفاع بين تجاويف الزعانف وقممها مقداره 2 ملم، ومقدار هذا الانخفاض 11°م مقارنة بأنبوب أملس له نفس القطر، واعتماداً على متوسط أجل الخدمة البالغ 5 سنوات، الذي يمكن ملاحظته من الرسم البياني المبين في الشكل 4، وعند درجة حرارة تشغيل مقدارها 1050°م، زيادة محسوبة في أجل الخدمة إلى 8 سنوات تقريباً.

ويمكن إيجاد توزيع درجات الحرارة بين الجانب المتوهج والجانب غير المتوهج للجانبيات الثلاث المبينة في الشكل 3 في الرسم البياني في الشكل 5. ويمكن ملاحظة مستوى درجة الحرارة الأقل لمنحنى درجة الحرارة للجانبية 3 مقارنة بالأنبوب الأملس (الجانبية صفر) ومدى التقلب الأضيق على نحو كبير لمنحنى الجانبية 3 مقارنة بمنحنى الجانبية 1.

ويتم الحصول على توزيع لدرجات الحرارة ملائم بصفة خاصة إذا كانت خطوط تساوي درجات الحرارة isotherms على شكل دوائر في المنطقة القلبية وتتبع الجانبية الداخلية للأنبوب المركب في منطقة التدويم فقط.

وينتج بصفة خاصة توزيع منتظم بدرجة أكبر لدرجات الحرارة خلال المقطع العرضي إذا ازداد التدفق الدوّامي بمقدار يتراوح من 1.8 إلى 20 متر/ثانية لكل متر من طول الأنبوب وإذا شمل ما نسبته 7 إلى 8% من المقطع العرضي للحيز الخالي، المحسوب من دخول خليط الغازات للأنبوب المشكل جانبياً.

وباستخدام الأنبوب المركب وفقاً للاختراع، بفكرة لتحقيق معدل إنتاج مرتفع للإثيلين ethylene في أنبوب قصير الطول نسبياً، ينبغي أن يزيد عامل تماثل درجة الحرارة عبر المقطع العرضي وعامل تماثل درجة الحرارة بالنسبة للقطر الهيدرولي hydraulic diameter عن 1 بالنسبة لعوامل التماثل للأنبوب الأملس. وفي هذا السياق، تحدد عوامل التجانس كالتالي:

$$H_{t\varnothing}:H_{t\varnothing} = \Delta T_0 > d_x/\Delta T_x/d_o$$

ويمكن استخدام الأنبوب المركب وفقاً للاختراع على نحو ناجح بصفة خاصة في كل العمليات التي تجرى عند درجات حرارة مرتفعة، مثل تلك التي يُعرَّض فيها الأنبوب، عند الجانب الخارجي له بصفة خاصة، إلى درجات حرارة مرتفعة، تتراوح مثلاً من 800 إلى 1000°م. وبالتحديد، يمكن استخدام الأنبوب المركب وفقاً للاختراع في إنتاج الأصباغ الملونة، في أتونات أنبوبية دوّارة rotary tubular kilns، لإحراق مواد من الصناعة الكيميائية أو الصيدلية على سبيل المثال، أو وحدات صناعية لترميد الفضلات refuse incineration plants.

ويوضح الشكل 6 تجسيد تمثيلي للأنبوب المركب وفقاً للاختراع. حيث يشتمل على جزء أنبوبي أول 10 وجزء أنبوبي ثاني 20 مزود بـ 30 زعنفة تم إنتاجه من مسحوق بالمعالجة بالضغط.

عناصـــر الحمايـــة

1 1- أنبوب مركب composite tube يشتمل على جزء أنبوبي أول first part-tube (10) وجزء
2 أنبوبي ثانٍ second part-tube (20)، حيث
3 - يتم ترتيب أحد الجزأين الأنبوبيين في الجزء الأنبوبي الآخر،
4 - يكون الجزء الأنبوبي الأول (10) عبارة عن أنبوب مصبوب بالطرد المركزي
5 centrifugally cast tube، و
6 - يتم إنتاج الجزء الأنبوبي الثاني (20) من مسحوق بإجـــراء معالجـــة بالضغـــط
7 pressure treatment.

1 2- أنبوب مركب composite tube وفقاً لعنصر الحماية 1، يتميز بأن الجزء الأنبوبي الأول
2 first part-tube (10) يتصل بالجزء الأنبوبي part-tube (20) الآخر فلزياً.

1 3- أنبوب مركب composite tube وفقاً لعنصر الحماية 1 أو 2، يتميز بأنه يكون للجزء
2 الأنبوبي الثاني second part-tube (20) جانبية profile.

1 4- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 1 إلى 3، يتميز بأنه يتم
2 ترتيب الجـــزء الأنبـــوبي الثانـــي second part-tube (20) في الجـــزء الأنبوبـــي الأول
3 first part-tube (10).

1 5- أنبوب مركب composite tube وفقاً لعنصر الحماية 3 أو 4، يتميز بأن الجزء الأنبوبي
2 الثاني second part-tube (20) يحتوي على زعنفة داخلية internal fin (30) واحدة على
3 الأقل.

1 6- أنبـــوب مركب composite tube وفقاً لعنصر الحماية 5، يتميز بأن الزعنفة الداخلية

internal fin تمتد باتجاه لولبي.

7- أنبـــوب مركب composite tube وفقاً لعنصر الحماية 5 أو 6، يتميز بأن زاوية الجنب flank angle للزعنفة fin تتراوح من 16° إلى 20°.

8- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 5 إلى 7، يتميز بأن زاوية الميل pitch angle للزعنفة fin تتراوح من 20° إلى 40°.

9- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 5 إلى 8، يتميز بأنه يتم تصميم مجموعة من الزعانف fins وتجاويف الزعانف fin valleys التي تقع بين الزعانف بحيث تكون متماثلة مرآوياً من حيث المقطع العرضي.

10- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 5 إلى 9، يتميز بأن قمم الزعانف fin peaks وتجاويف الزعانف fin valleys لمجموعة من الزعانف fins تكون متصلة مع بعضها البعض في كل حالة.

11- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 5 إلى 10، يتميز بأنه يكون للزعانف fins وتجاويف الزعانف fin valleys في مجموعة من الزعانف نفس نصف قطر الانحناء.

12- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 5 إلى 11، يتميز بأنه يحتوي على زعانف fins يتراوح عددها الكلي من 6 إلى 20.

13- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحمايـــة من 5 إلى 12، يتميز بأن نسبة مساحـــة سطـــح الزعنفـــة fin surface area ضمـــن الدائـــرة الغلافيـــة للجانبيـــة

profile envelope circle إلى المقطع العرضي للحيز الخالي clear cross section للجانبية profile تتراوح من ما يقل عن 0.06 إلى 0.1.

14- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 5 إلى 13، يتميز بأن نسبة خارج قسمة معاملات النقل الحراري heat transfer coefficients (Q_R/Q_0) إلى خارج قسمة المقادير المفقودة من الضغط pressure losses ($\Delta P_R/\Delta P_0$) في اختبار الماء water test تتراوح من 1.4 إلى 1.5، حيث R يشير إلى أنبوب مركب ذي زعانف fins و 0 يشير إلى أنبوب أملس.

15- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 5 إلى 14، يتميز بأن القطر الهيدرولي hydraulic diameter يناظر القطر الداخلي internal diameter لأنبوب أملس مكافىء.

16- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 1 إلى 15، يتميز بأن الجزء الأنبوبي الأول first part-tube (10) يتكون من مادة يكون تحليل تركيبها كالتالي:

العنصر	% بالوزن
C	من 0.1 إلى 0.5
Cr	من 20 إلى 50
Ni	من 20 إلى 80
Nb	من صفر إلى 2
Si	من صفر إلى 3
W	من صفر إلى 5
عناصر أخرى	من صفر إلى 1
Fe	الجزء المتبقي

وبشكل خاص يتكون من إحـدى المواد من النوع DIN EN 10027 الجزء 1 وهي GX40CrNiSi25-20؛ GX40NiCrSiNb35-25؛ GX45NiCrSiNbTi35-25؛ GX35CrNiSiNb24-24؛ GX45NiCrSi35-25؛ GX43NiCrWSi35-25-4؛ GX10NiCrNb32-20؛ GX50CrNiSi30-30؛ G-NiCr28W؛ G-NiCrCoW؛ GX45NiCrSiNb45-35؛ GX13NiCrNb45-35؛ GX13NiCrNb37-25؛ GX55NiCrWZr33-30-04.

17- أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 1 إلى 16، يتميز بأن الجـزء الأنبوبـي الثانـي second part-tube يصنع من نفس مادة الجزء الأنبوبـي الأول first part-tube و/أو من مادة خزفيـة ceramic material، مـادة سبيكية intermetallic material أو مادة ODS.

18- عملية لإنتاج أنبوب مركب composite tube وفقاً لأحد عناصر الحماية من 1 إلى 17، يتميز بأنه تتم ملامسة مسحوق مع السطح الداخلي أو الخارجي لأنبوب مصبوب بالطرد المركـزي centrifugally cast tube، ويتم رص المسحـوق بإجـراء معالجـة بالضغـط pressure treatment لتشكيل الجزء الأنبوبي الثاني second part-tube ووصله بالأنبوب المصبوب بالطرد المركزي.

19- عملية وفقاً لعنصر الحماية 18، تتميز بأنه يتم تسخين المسحوق.

20- عملية وفقاً لعنصر الحماية 18 أو 19، تتميز في أنه يتم رص المسحوق مسبقاً قبل المعالجة بالضغط pressure treatment.

21- عمليـة وفقاً لعنصـر الحماية 20، تتميز في أنه يتم رص المسحوق مسبقاً بواسطة الرج shaking.

22- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 19 إلى 21، تتميز في أنه
- يتم إدخال قلب core في أنبوب مصبوب بالطرد المركزي centrifugally cast tube،
- يملأ حيز خالي clear space متبقي بين السطح الداخلي للأنبوب المصبوب بالطرد والقلب بمسحوق،
- يوضع الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي تحت ضغط مع تسخين المسحوق في نفس الوقت،
- بعد انتهاء المعالجة بالضغط pressure treatment، يزال القلب من الأنبوب المركب composite tube الناتج بهذه الكيفية.

23- عملية وفقاً لعنصر الحماية 22، تتميز بأنه يتم إدخال قلب core، له جانبية زعنفة fin profile معاكسة لجانبية زعنفة يراد إنتاجها في الجزء الداخلي للأنبوب المركب composite tube، في الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي centrifugally cast tube.

24- عملية وفقاً لعنصر الحماية 22 أو 23، تتميز في أنه يزال القلب core من الأنبوب المركب composite tube بشكل جزئي على الأقل بواسطة التنميش etching.

25- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 19 إلى 21، تتميز في أنه
- يتم إدخال أنبوب مصبوب بالطرد المركزي centrifugally cast tube في قالب mould،
- يملأ حيز خالي clear space متبقي بين السطح الخارجي للأنبوب المصبوب بالطرد المركزي والقالب بمسحوق،
- يوضع الأنبوب المصبوب بالطرد المركزي تحت ضغط مع تسخين المسحوق في نفس الوقت،
- بعد انتهاء المعالجة بالضغط pressure treatment، يزال الأنبوب المركب composite tube الناتج بهذه الكيفية من القالب.

26- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 22 إلى 25، تتميز في أنه يتم إغلاق الحيز الخالي clear space عند طرف واحد على الأقل للأنبوب.

27- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 18 إلى 26، تتميز في أنه يتم توليد ضغط لا يقل عن 450 بار للمعالجة بالضغط pressure treatment.

28- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 19 إلى 27، تتميز في أنه يسخن المسحوق إلى درجة حرارة لا تقل عن 450°م.

29- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 19 إلى 28، تتميز في أنه يسخن المسحوق في جو خامل.

30- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 18 إلى 29، تتميز في أنه تجرى المعالجة بالضغط pressure treatment في جو خامل.

31- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 20 إلى 30، تتميز في أنه يتم إنتاج مجموعة من الأنابيب في حجيرة ضغط pressure chamber واحدة

32- عملية وفقاً لأي من عناصر الحماية من 18 إلى 31، تتميز في أنه يتم لي أطراف أنبوب مركب composite tube بالنسبة لبعضها البعض مزود بزعانف fins متوازية محورياً تم إنتاجه باستخدام جزء أنبوبي أول first part-tube وجزء أنبوبي ثاني second part-tube.

33- استخدام أنبوب مركب composite tube للتكسير الحراري thermal cracking للهيدروكربونات hydrocarbons في وجود بخار ماء.

34- استخدام أنبوب مركب composite tube وفقاً لأي من عناصر الحماية من 1 إلى 17 للتكسير الحراري thermal cracking للهيدروكربونات hydrocarbons في وجود بخار ماء.

35- استخدام أنبوب مركب composite tube وفقاً لأي من عناصر الحماية من 1 إلى 17 للتكسير الحراري thermal cracking للهيدروكربونات hydrocarbons في وجود بخار ماء، حيث يمرر خليط التغذية charge mixture خلال الأنابيب المسخنة خارجياً المزودة بزعانف داخلية حلزونية helical internal fins، يتميز في أنه يتم توليد تدفق دوّامي swirling flow في المنطقة المجاورة للزعانف ويحول إلى منطقة قلبية core zone بحيث يكون التدفق عبارة عن تدفق محوري بشكل غالب عند تزايد المسافة نصف القطرية عن الزعانف.

36- استخدام وفقاً لعنصر الحماية 35، يتميز في أن التدفق الدوّامي swirling flow يقلل من الاضطراب الفاصل detaching turbulence عند جوانب الزعانف fin flanks.

37- استخدام وفقاً لعنصر الحماية 35 أو 36، يتميز في أن السرعة المحيطية circumferential velocity للتدفق الغازي gas flow في تجاويف الزعانف fin valleys تزيد عن تلك عند قمم الزعانف fin peaks.

38- استخدام وفقاً لأي من عناصر الحماية من 35 إلى 37، يتميز في أن التدفق الدوّامي swirling flow عند الزعانف fin يمتد بزاوية تتراوح من 20° إلى 40°، ويفضل من 22.5 إلى 32.5°، بالنسبة لمحور الأنبوب.

39- استخدام وفقاً لأي من عناصر الحماية من 35 إلى 38، يتميز في أن التقلب fluctuation في درجة حرارة الجدار الداخلي على طول محيط الأنبوب يقل عن 12°م.

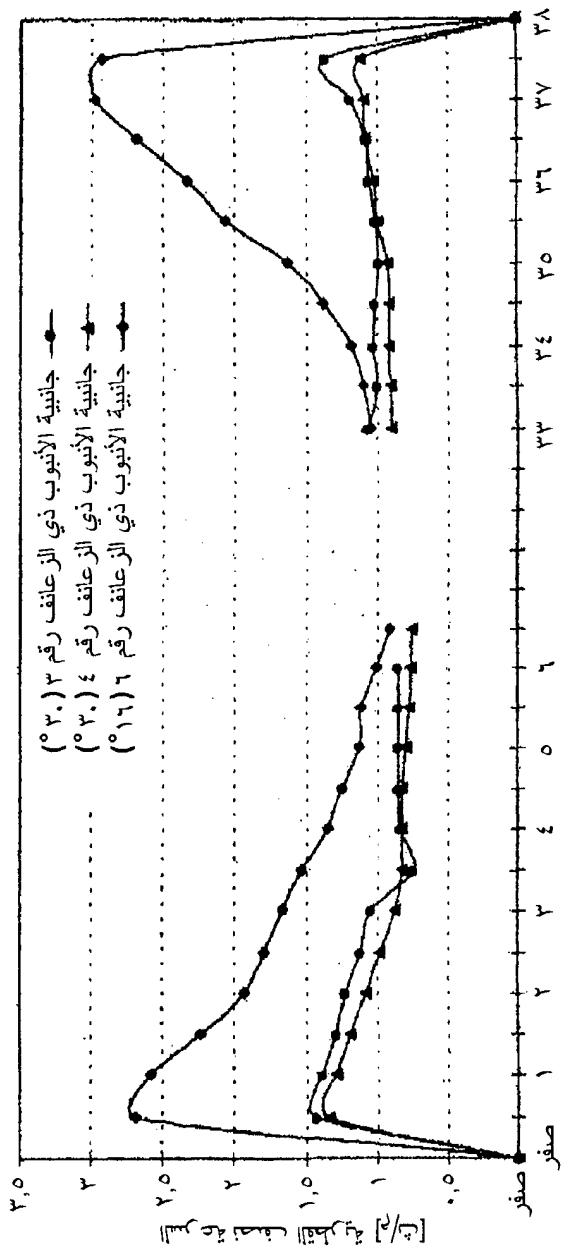
40- استخدام وفقاً لأي من عناصر الحماية من 35 إلى 39، يتميز في أنه تكون خطوط تساوي درجة الحرارة isotherms في المنطقة القلبية core zone دائرية.

41- استخدام وفقاً لأي من عناصر الحماية من 35 إلى 40، يتميز في أنه تزداد سرعة التدفق الدوّامي swirling flow بمقدار يتراوح من 1.8 إلى 2.0 متر/ثانية لكل متر من طول الأنبوب.

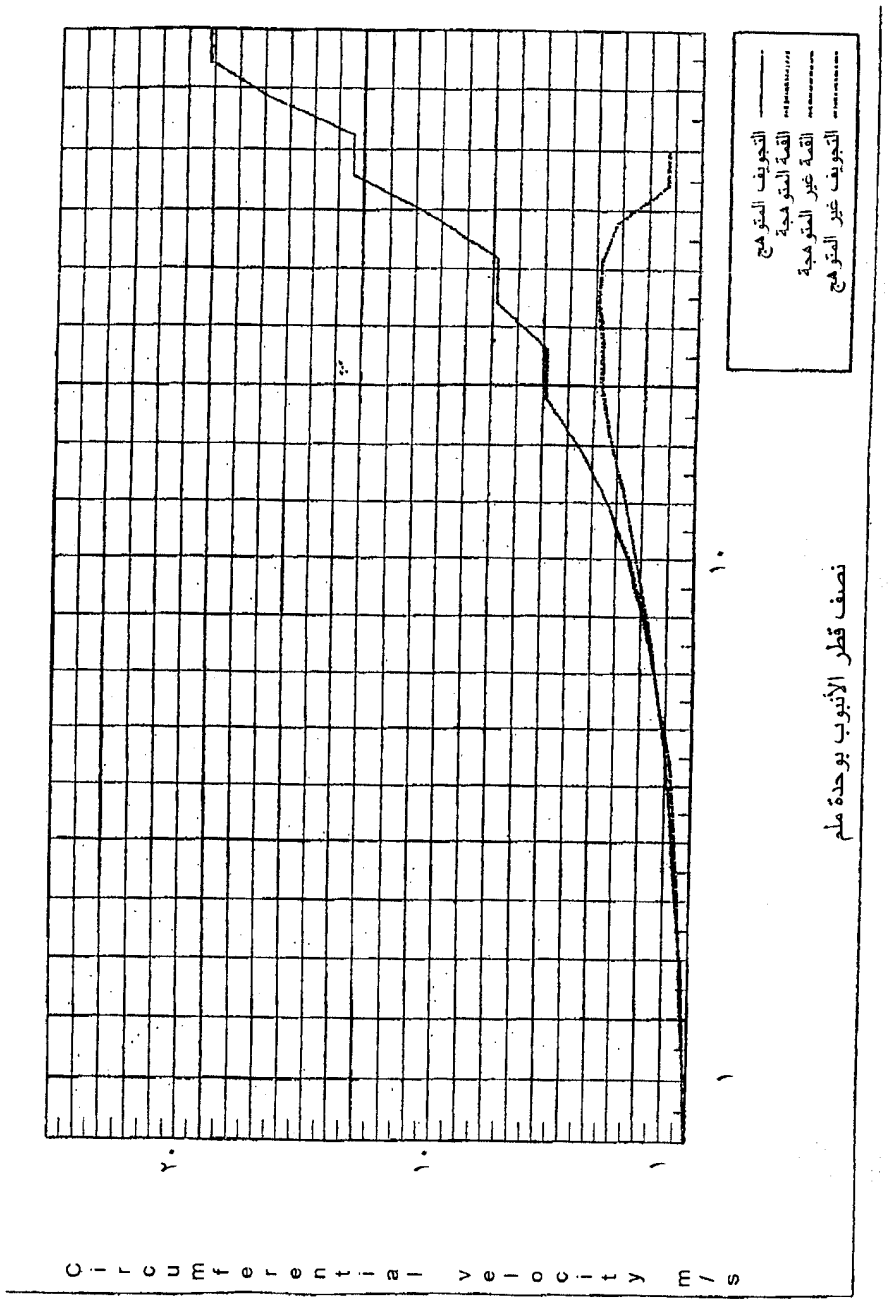
42- استخدام وفقاً لأي من عناصر الحماية من 35 إلى 41، يتميز في أن سرعة التدفق الدوّامي swirling flow تغطي نسبة تتراوح من 7% إلى 8% من المقطع العرضي للحيز الخالي clear cross section لكل متر من طول الأنبوب.

43- استخدام وفقاً لأي من عناصر الحماية من 35 إلى 42، يتميز في أنه يزيد عامل تماثل درجة الحرارة temperature homogeneity factor عبر المقطع العرضي وعامل تماثل درجة الحرارة بالنسبة للقطر الهيدرولي hydraulic diameter عن 1 بالنسبة لعوامل تجانس درجة الحرارة لأنبوب أملس.

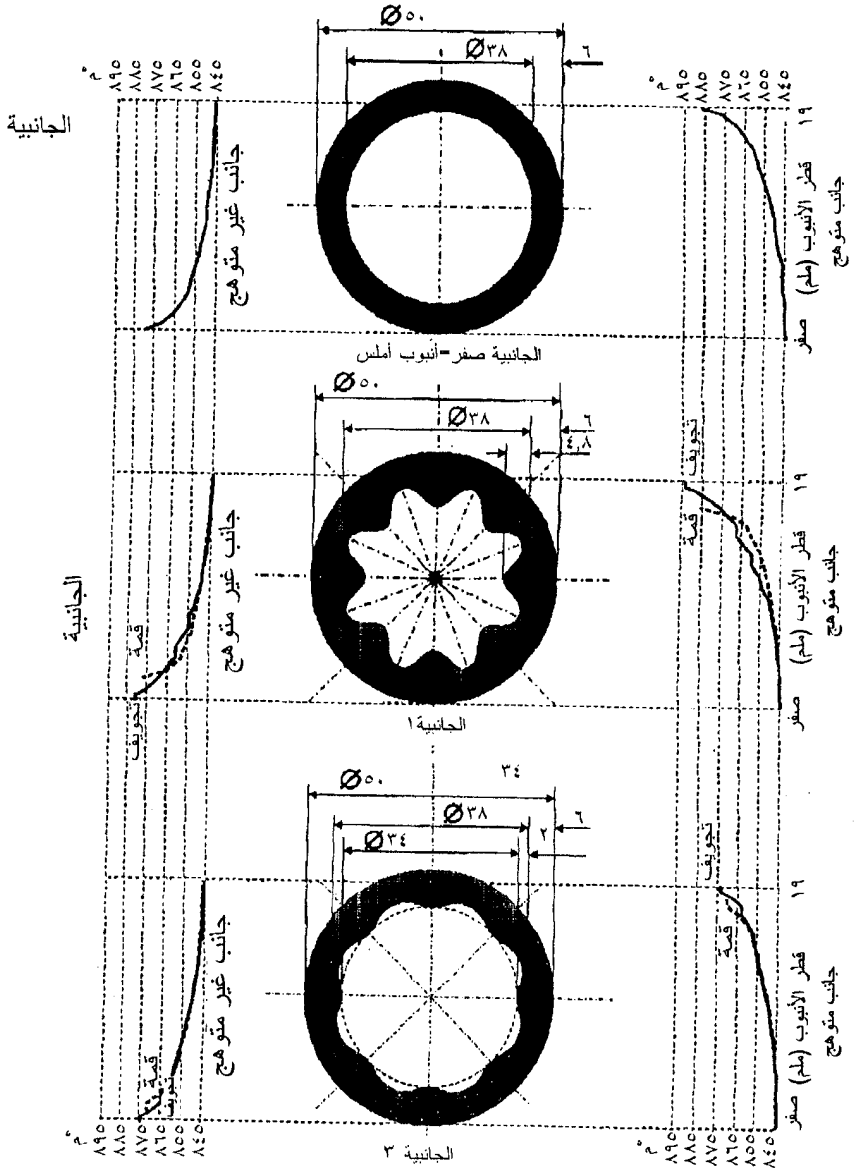
44- استخدام أنبوب مركب composite tube وفقاً لأي من عناصر الحماية من 1 إلى 17 في تطبيقات تجرى عند درجة حرارة مرتفعة، خصوصاً في أتون أنبوبي دوّار rotary tubular kiln أو وحدة صناعية لترميد الفضلات refuse incineration plant.


جانبية الأنبوب ذي الزعانف رقم ٣ (٣٠°)
جانبية الأنبوب ذي الزعانف رقم ٤ (٣٠°)
جانبية الأنبوب ذي الزعانف رقم ٦ (١٦°)
٣,٥
٣
٢,٥
٢
١,٥
١
٠,٥
صفر
١
٢
٣
٤
٥
٦
٣٣
٣٤
٣٥
٣٦
٣٧
٣٨
صفر
المسافة عبر المقطع العرضي للأنبوب [ملم]
السرعات نصف القطرية في جانبيات
تميل عن محور الأنبوب

الشكل ١

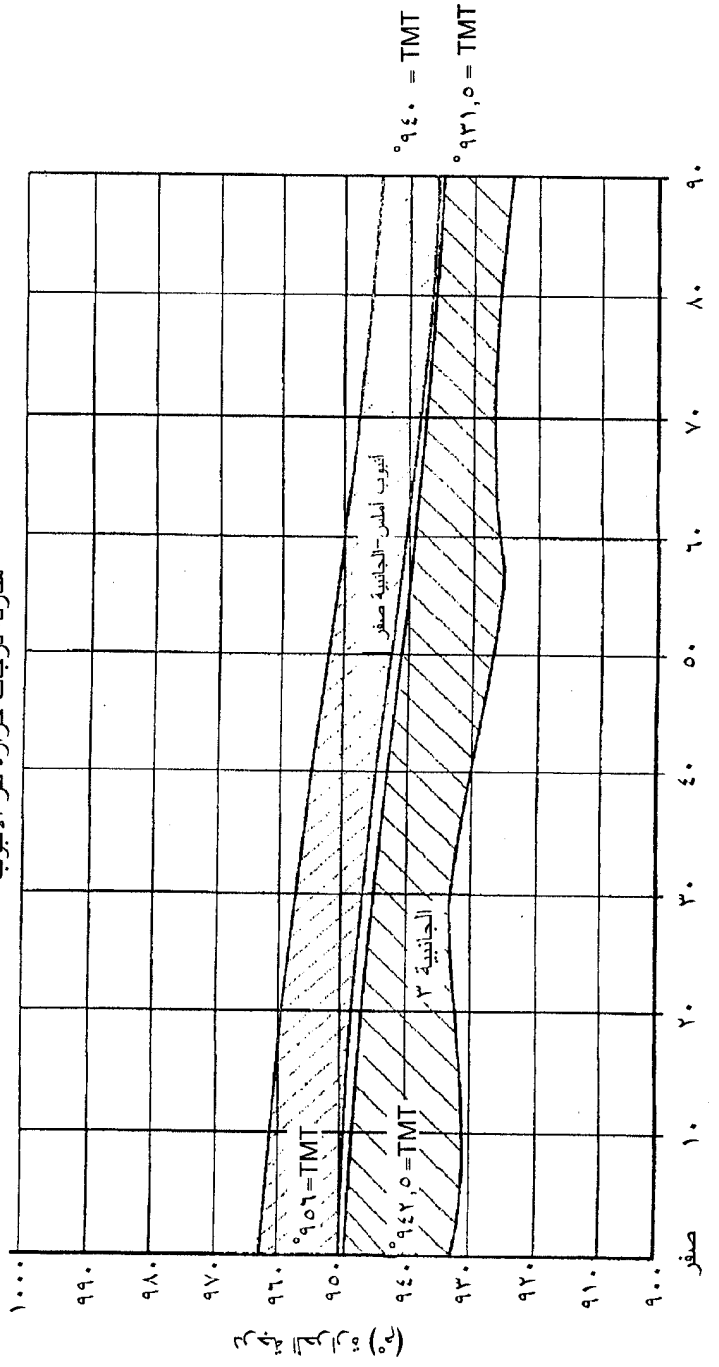

التحويف المتوهج
القمة المتوهجة
القمة غير المتوهجة
التحويف غير المتوهج
نصف قطر الأنبوب بوحدة ملم
١٠
١
٢٠
١٠
١
Circumferential velocity m/s

الشكل ٢



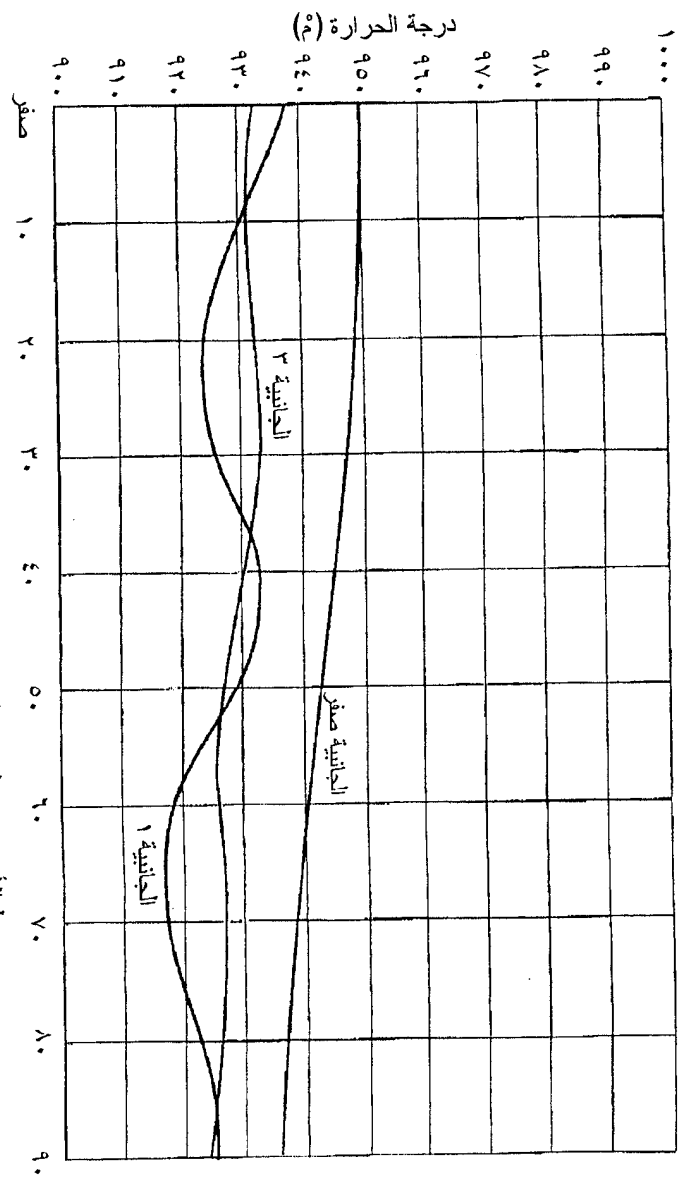
أشكال الجانبيات
بالإضافة إلى جانبية درجة الحرارة في المائع (نفثا)
عند ٩٩٥٠ ملم الممثلة بالنسبة لنصف قطر الأنبوب،
القمة= قمة الجانبية،التجويف=تجويف الجانبية

الشكل ٣



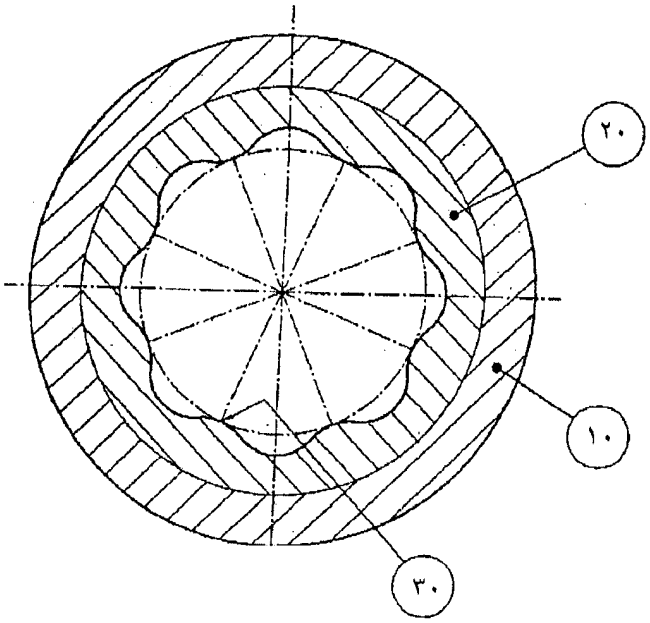
الشكل ٤

محيط الأنبوب من الجانب المتوهج إلى الجانب غير المتوهج (بالدرجات)
ينتج عن الجانبية ٣ متوسط درجات حرارة لفلز الأنبوب (TMT) مقدارها ١١°م أو أقل



الشكل ٥

محيط الأنبوب من الجانب المتوهج إلى الجانب غير المتوهج (بالدرجات)
توزيع درجات الحرارة على الجدار الداخلي للأنبوب عند ٩٩٥٠ ملم
تمت مراكبة الرسوم البيانية P3.5.8 و P1.5.8، P0.5.8
من إل إف إس هانوفر



الشكل ٦