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 35745 B1

(43) Date de publication :
01.12.2014

(51) Cl. internationale :
C22C 38/02; C22C 38/04; C22C 38/46; C22C 38/24; C22C 38/12

(21) N° Dépôt :
37151

(22) Date de Dépôt :
25.06.2014

(30) Données de Priorité :
28.11.2011 EP 11190973.5

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/EP2012/073606 26.11.2012

(71) Demandeur(s) :
TATA STEEL UK LTD, 30 Millbank London SW1P 4WY (GB)

(72) Inventeur(s) :
SMITH, Howard Martin ; JAISWAL, Shreekant ; SECORDEL, Pascal

(74) Mandataire :
SABA&CO

(54) Titre : **ACIERS POUR RAILS AVEC EXCELLENTE COMBINAISON DE PROPRIÉTÉS D'USURE, DE RÉSISTANCE À LA FATIGUE EN CONTACT ROULANT ET DE SOUDABILITÉ**

(57) Abrégé : L'invention concerne un acier destiné à la fabrication de rails, en particulier de rails à gorge, présentant une dureté d'au moins 330 HV30, une résistance à la traction d'au moins 1000 MPa et une limite élastique d'au moins 600 Mpa et comportant en % de poids : 0,70% à 0,85% de carbone ; 0,65% à 1,00% de silicium ; 1,1% à 1,4% de manganèse ; 0,07% à 0,15% de vanadium ; jusqu'à 0,008% d'azote ; jusqu'à 0,025% de phosphore ; 0,008% à 0,030% de soufre ; au plus 2,5 ppm d'hydrogène ; au plus 0,10% de chrome ; au plus 0,010% d'aluminium ; au plus 20 ppm d'oxygène ; le reste étant constitué de fer et d'impuretés inévitables.

الملخص

فولاذ يصلح لصناعة السكك الحديدية، وبخاصّة السكك الحديدية المخدّدة، يتوفّر على صلابة تقدّر بعلى الأقل 330 HV30، وقوّة شدّ تقدّر بعلى الأقل 1000 ميغا باسكال، وقوّة شدّ تقدّر بعلى الأقل 600 ميغا باسكال، يشتمل على % وزنا: * 0,70% إلى 0,85% كربون، * 0,65% إلى 1,00% سليكون، * 1,1% إلى 1,4% منغنيز، * 0,07% إلى 0,15% فاناديوم، * حتى 0,008% نيتروجين، * حتى 0,025% فوسفور، * من 0,008 إلى 0,030% كبريت، * على الأكثر 2,5 وحدة في المليون (و ف م) من الهدروجين، * على الأكثر 0,10% الكروم، * على الأكثر 0,010% ألمنيوم، * على الأكثر 20 وحدة في المليون (و ف م) أكسجين، * ويتمثّل الباقي في الحديد وفي الشوائب الملازمة.

01 DEC 2014

الوصف الكامل

يتعلق هذا الاختراع بفولاذ خاصّ بالسكك الحديدية، يصلح، بصورة خاصة، للاستخدام في شكل سكك حديدية مخدّدة، مثل تلك المستخدمة في خطوط الترام، ويتوفّر على توليفة ممتازة من الخصائص، نذكر من بينها، على وجه الخصوص، المقاومة للتآكل والكلال الناتج عن تلامس الدوران، وهو، في نفس الوقت، فولاذ قابل للتجديد باللحام بغير حاجة إلى تسخين قبلي إلى درجة حرارة عالية .

أصبحت فعالية تكلفة النقل بالسكك الحديدية مسألة تكتسي أهمّية بالغة في السنوات الأخيرة. حيث يتسبّب استبدال سكّة حديدية مطمورة في شبكة ترام في اختلالات في سير الخدمة؛ ليس فقط بالنسبة لحركة النقل عن طريق السكك الحديدية، وإنما كذلك بالنسبة للمستخدمين الآخرين للهياكل المشتركة، حيث تقام مثل هذه الشبكات في وسط المدن. وتتميّز شبكات الترام، في غالب الأحيان، باحتواء خطوطها على أشعّة ضيّقة تتعرّض حتميا إلى معدّلات عالية من التآكل الجانبي، ومن ثمّة، فإنه يمكن لهذا العامل أن يكون العامل المحدّد لمدى حياة السكّة الحديدية. ولهذا، هناك شرط أول أساسي فيما يخصّ مرتبة فولاذ سكك حديدية فعّالة من ناحية التكلفة، مناسبة لتطبيقات الترام، يتمثّل هذا الشرط في قابليتها للتجديد باللحام بغير حاجة إلى تسخين قبلي إلى درجة حرارة عالية يلحق ضررا بالبوليمر المحيط الذي تطمر فيه السكة الحديدية. ورغم هذه الميزة، فإن العامل المحدّد لمدى حياة السكّة الحديدية هو معدّل التآكل الرأسي العمودي، ولذلك، فإن الشرط الأساسي الثاني فيما يخصّ مرتبة فولاذ السكك الحديدية الفعّالة من ناحية التكلفة، يتمثّل في مقاومة هذه المرتبة من الفولاذ للتآكل. علاوة على ذلك، يعني تزايد أعداد المسافرين أن حركة النقل عن طريق السكك الحديدية قد أصبحت أكثر كثافة مع مر السنين، مما يتسبّب في مزيد من التآكل للسكك الحديدية. لذلك، نحن في حاجة إلى مزيد من التحسينات في مجال خصائص المواد المكوّنة للسكك الحديدية من أجل جعلها تتّسم بمزيد من التفاوت المسموح والمقاومة للضرر الناتج عن الإجهاد المتزايد وعن دورات الإجهاد المفروضة. ومع أن التطوّرات في مجال ميتالورجيا السكك الحديدية وتكنولوجيا المعالجة الحرارية قد مكّنت من تنقيّة البنية الدقيقة البرليتية من أجل الزيادة في درجة

المقاومة للتآكل، فإن الحاجة إلى تخفيضات أكبر في مجال تكاليف دورة الحياة لا زالت تدفع نحو مزيد من التحسينات في مجال ميتالورجيا السكك الحديدية.

وهناك آلية أخرى تخصّ تلف السكك الحديدية غالبا ما نشهدها على شبكات الترام والمترو، وهي تتمثّل في تموّج رأس قضيب السكّة الحديدية. حيث رغم أن تطوّر التموّج يؤثّر فيه عدد من مميّزات النظام، فإنه من المسلّم به على نطاق واسع أن أيّة زيادة في صلابة و في مقاومة خضوع فولاذ السكك الحديدية تبطئ في تطوّر التموّج ونموه. ونتيجة لذلك، هناك شرط ثالث تتطلّبه شبكات الترام والمترو فيما يخصّ فولاذ السكك الحديدية الفعّال من حيث التكلفة، يتمثّل في الزيادة في الصلابة وفي مقاومة الخضوع .

في الأجزاء المستقيمة والطفيفة الانحناء من السكك الحديدية حيث معدّلات التآكل المسجّلة غالبا ما تكون أقل، حياةَ السكك الحديدية وتكاليفَ الصيانة المرتبطة بها، تحدّدها كذلك الحاجة إلى التحكّم في نشوء و نمو الشروخات المترتّبة عن الكلال الناتج عن تلامس الدوران (RCF)، التي تنشأ إمّا على سطح رأس السكة أو على مسافة قريبة جدا منه. ويمكن للكلال الناتج عن تلامس الدوران أن يحدث في أشكال مختلفة، غير أنه يشار إليه عموما بمصطلح تصدّعات الرأس، أو بشروخات الزاوية المعيارية (GCC)، أو يشار إليها كذلك بمصطلح عيوب التليّن. ولهذا، هناك شرط رابع فيما يخصّ فولاذ السكك الحديدية الفعّال من ناحية التكلفة والخاصّ بشبكات الترام والمترو، يتمثّل هذا الشرط في مقاومته لنشوء الكلال الناتج عن تلامس الدوران (RCF).

لقد أصبح تطوير خصائص الدواليب والسكك الحديدية إلى الحدّ الأمثل، من أجل التخفيض من مختلف أشكال الإجهاد المدمّرة واستخدام الطحن المنتظم من أجل الحفاظ على الخصائص المتوخاة، بينما، وفي نفس الوقت الذي تتمّ فيه إزالة طبقات السطح المتلفة، أصبح هذا التطوير هو الطريقة المثبتة للتحكّم في الكلال الناتج عن تلامس الدوران وفي الخطوط المصابة بالتموّج. تكلّف عملية طحن السكك الحديدية مبالغ طائلة كما تستهلك الوقت المتاح لتشغيل الرحلات المبرمجة. ولهذا، فإن الرغبة الدّافعة إلى تطوير حلّ ميتالورجي فعّال من ناحية التكلفة تبقى قائمة.

فضلا عن المقاومة المحسّنة للتآكل، للكلال الناتج عن تلامس الدوران، وللتموّج، هناك شرط آخر من أجل تصميم فولاذ جديد خاصّ بالسكك الحديدية، يتمثّل هذا الشرط في قدرة هذا الفولاذ على تحمّل التجديد باللحام مرارا وتكرارا في موضعه الأصلي، كإجراء مخفّف للمعدلات

العالية من التآكل الجانبي الذي تتعرّض له المنعطفات الحادّة في شبكات الترام. توفّر تكنولوجيا التجديد باللحام مع التسخين القبلي إلى درجة حرارة منخفضة، كما جاء في براءة الاختراع رقم GB2443494 التي تقدّمت بها شركة تاتا للفولاذ (Tata Steel)، توفّر منهجية مثبتة للتجديد باللحام المتكرّر للصلب عالي الكربون. غير أن استخدام هذه التقنية يفرض شرطين ميتالورجيين أساسيين يتمثّلان في حدّ أعلى من جانب درجة حرارة بداية المارتنزيت (Ms) دون 200°م وحدّ أعلى من جانب درجة حرارة نهاية المارتنزيت (M_f) لا يتجاوز 50°م، وتفضّل درجة حرارة أقلّ من ذلك بكثير. ولهذا، يجب تصميم تركيبة فولاذ السكك الحديد ليس فقط من أجل تلبية الحاجة إلى المقاومة للتآكل، وللكلال الناتج عن تلامس الدوران، وللتموّج، وإنما كذلك لضمان أن التحوّل إلى المارتنزيت يحدث بعد مدى معيّن يحول دون اكتمال التحوّل عند استخدام تكنولوجيا التجديد باللحام مع تسخين قبلي إلى درجة حرارة منخفضة. ويتمثّل عامل النجاح الحاسم في عملية تجديد باللحام مثل هذه، يتمثّل في غياب أيّة بنية دقيقة قصيفة، صلدة، أو أيّة شروخ بدئية ضمن معدن التلحيم، السطح البيني لمعدن التلحيم والسكة الأصلية، أو ضمن المنطقة المتأثّرة بالحرارة، التي قد تؤدي كلّها في نهاية الأمر إلى تشظّي الراسب من جراء انتشار الشروخ البدئية من خلال الكلال.

لذلك، يسعى هذا الاختراع إلى توفير سكك حديدية ذات متانة عالية تقاوم بكفاءة عالية التآكل، والكلال الناتج عن تلامس الدوران، وللتموّج، في الوقت الذي تحافظ فيه على قدرة تحمّل التجديد باللحام بصورة متكرّرة.

ويسعى هذا الاختراع كذلك إلى توفير سكك حديدية ذات متانة عالية يمكن فيها تجديد التآكل الجانبي بصورة سهلة وقوية في عين المكان باستخدام وسائل معالجة براسب لحام.

ويسعى هذا الاختراع كذلك إلى توفير سكك حديدية ذات متانة عالية تتسم بصلابة تقدّر بعلى الأقل 330 HV، وبمقاومة شدّ تقدّر بعلى الأقل 1000 ميغا باسكال، وبمقاومة خضوع تقدّر بعلى الأقل 600 ميغا باسكال.

ولقد تمّ بلوغ مسعى واحد أو أكثر مما يسعى إليه هذا الاختراع بتوفير فولاذ سكك حديدية برليتي، عالي المتانة، يتميّز بتوليفة ممتازة من الخصائص ذات الصلة بالتآكل، والمقاومة للكلال الناتج عن التلامس، وبالقابلية للتجديد عن طريق اللحام، يتوفّر على (% وزنا):

- 0,70% إلى 0,85% كربون،
- 0,65% إلى 1,00% سليكون،
- 1,1% إلى 1,4% منغنيز،
- 0,07% إلى 0,15% فاناديوم،
- حتى 0,008% نيتروجين،
- حتى 0,025% فوسفور،
- من 0,008 إلى 0,030% كبريت،
- على الأكثر 2,5 وحدة في المليون (و ف م) من الهدروجين،
- على الأكثر 0,10% الكروم،
- على الأكثر 0,010% ألمنيوم،
- على الأكثر 20 وحدة في المليون (و ف م) أكسجين،
- ويتمثّل الباقي في الحديد وفي الشوائب الملازمة.

تثبُت فعالية التركيبة الكيميائية للفولاذ كما جاء به هذا الاختراع أحسن إثبات من خلال شرح الأسباب التي أدّت إلى إضافة عدّة عوامل، ومن خلال مقارنة الخصائص الأساسية التي يتميّز بها فولاذ السكك الحديدية المخدّد.

يعتبر الكربون العنصر السبيكي المقوّي الأكثر فعالية من ناحية التكلفة في مجال فولاذ السكك الحديدية، وهو يوفّر الشرط الأكثر فعالية من ناحية التكلفة من أجل الحصول على الصلابة والقوّة التي يتميّز بها الصلب البرليتي. في أحد تجسيدات هذا الاختراع، تقدّر القيمة القصوى للكربون بـــ 0,8%. تساهم هذه الخاصّية في تقليل خطر ظهور شبكة سمنتيت عند الحدود الحبيبية. ويفضّل أكثر أن يكون مدى المحتوى من الكربون ما بين 0,735% و 0,785%. يوفّر هذا المدى التوازن الأمثل فيما بين الكسر الحجمي من السمنتيت الصلب وبين الوقاية من تكوّن شبكة ضارّة من السمنتيت المقصف عند الحدود الحبيبية. ويعتبر الكربون كذلك عامل صلابة فعّال، يسهّل استخدام درجة حرارة تحويل دنيا، ومن ثمّة فهو يمكّن من الحصول على فواصل صفائحية بينية أكثر دقّة. وفي أحد تجسيدات هذا الاختراع، نبيّن أن كلّ من الكسر الحجمي العالي من السمنتيت

الصلب والبعد البيني الأكثر دقّة فيما بين الصفائح، يوفّران المقاومة للتآكل ويساهمان في مضاعفة مقاومة التركيبة للكلال الناتج عن تلامس الدوران (RCF). فضلا عن ذلك، وكما بيّنته طريقة[1] التجديد باللحام، القائمة على التسخين القبلي إلى درجة حرارة منخفضة، التي تقدّمت بها شركة تاتا للفولاذ (Tata Steel)، فإنه من بالغ الأهمّية أن تخفّض درجة حرارة بداية المارتنزيت (M_s) للفولاذ من أجل الحصول على راسب لحام متين. ويكتسي مدى الكربون الذي ينصح باعتماده أهمّية قصوى من أجل تحقيق الهدف. إن المنهجيات الآتية، المسلّم بها على نطاق واسع، والمتّبعة لحساب درجة حرارة M_s، تحدّد بوضوح مدى فعالية الكربون في الحدّ من حجم هذا المعيار. في الواقع، يعتبر الكربون ما بين 13 و 17 مرّة أكثر فعالية في تخفيض درجة حرارة M_s، مقارنة بالمنغنيز . حيث، وفق أندروز (Andrews) (طالع مجلّة Iron & Steel Inst.، 183، (1965)، الصفحات: 721-727)، تحسب درجة حرارة Ms بالدرجات المئوية، من خلال المعادلة التالية: 539-423 x نسبة الكربون (%) – 30,4 x نسبة المنغنيز (%) (المعادلة 1أ)، وحسب ستيفنس (Stevens) و هينز (Haynes) (طالع مجلّة Iron & Steel Inst.، 183، (1956)، الصفحات: 349-359)، تحسب من خلال المعادلة التالية:

561-474 x نسبة الكربون (%) – 33 x نسبة المنغنيز (%) (المعادلة 1ب). معادلتا الانحدار هاتان كلتاهما تعرضان قيّما مختلفة اختلافا طفيفا فيما يخصّ M_s. في سياق هذا الاختراع، تمّ استخدام متوسط القيمة لهاتين المعادلتين، بوصفها القيمة التقريبية لـــ M_s. أمّا M_f فيتمّ حسابها من M_s بطرح 150°م من M_s.

M_s (°م) = 0,5 x M_s الخاصّ بأندروز + M_s الخاصّ بستيفنس & هينز) (المعادلة 1)

M_f (°م) = M_s – 150 (المعادلة 2)

يفضّل أن تكون درجة حرارة بداية المارتنزيت (M_s) للفولاذ دون حوالي 160°م من أجل الحصول على راسب لحام متين.

في ظلّ هذا الاختراع، تعتبر إضافة السيليكون جزءا أساسيا، لا يتجزأ من تصميم الفولاذ من أجل هندسة البنية الدقيقة الناتجة والخصائص، وهي ليست انعكاسا لطريق أسلوب التصنيع، كما هو الحال في غالبية أشكال الصلب الأخرى، أكثر ممّا هي إضافة سببية مقصودة. غالبا ما يستعمل السيليكون كعنصر مزيل للأكسدة، وبهذه صفة، غالبا ما تكون إضافة السيليكون مقصودة بغية

تحقيق هذه الغاية دون غيرها. ولكون الاختراع يشير إلى تركيبة إصهرية بصورة عامّة، فإن البنية الدقيقة لا تشتمل إلا على مقدار ضئيل من الفيريت عند نقطة اللا يوتكتويد أو تنعدم إليه. بدل ذلك، فإن البعد البيني للصفائح، الخاصّ بالبرليت، قبل كلّ شيء هو الذي يملي الخصائص الناتجة. تقليديا، كانت عملية تنقيّة البنية الدقيقة البرليتية في تركيبات السكك الحديدية المخدّدة تتمّ بالاعتماد على التبريد المعجّل. الجديد في المقاربة التي تقدّم بها هذا الاختراع يكمن في معالجة البنية الدقيقة البرليتية ككيان ثلاثي الأبعاد، في ظلّه يتمّ التحكّم في السلوك عند السطح البيني للدولاب والسكّة بفضل خصائص المكوّنان الاثنان لشرائح البرليت: الفيريت، والسمنتيت، عوض أن تتحكّم في هذا السلوك فقط مجموعة خصائص الحجم ذات الصلة بالصلادة والمتانة. نتيجة لذلك، يكمن الجديد في هذا الاختراع في استخدام السيليكون من أجل تمتين الفيريت البرليتي من خلال التمتين بواسطة محلول صلب، يمنح بدوره مقاومة معزّزة لعملية التسقيط، والتآكل، والكلال الناتج عن تلامس الدوران. وفق ما جاء به هذا الاختراع، ومن أجل الحصول على القيّم الخاصّة بالخصائص الميكانيكية اللازمة، والمقاومة للتآكل، والمقاومة للكلال الناتج عن تلامس الدوران، من أجل هذا، ينبغي أن يشتمل الفولاذ على حدّ أدنى من السيليكون يقدّر بـــ 0,65%. ورغم أنه لا يترتّب عن إضافات السيليكون إلا تأثيرا محدودا على تصليدية الفولاذ، وهو ما ينعكس من خلال المعادلات الخاصّة بحساب درجة حرارة M_s، فإنه يُعترف بإضافة ما قد يصل إلى 1,0% من السيليكون، من أجل المساهمة ولو بقدر محدود في تخفيف درجة حرارة M_s. كما تبيّن أن محتوى من السيليكون ما بين 0,65% و 0,80% يوفّر توازنا جيّدا للخصائص الميكانيكية اللازمة دون إحداث تأثيرات جانبية سيّئة على قابلية السكّة للتجديد.

يعتبر المنغنيز عنصرا سبيكيا أساسيا يدخل في صناعة كافّة أنواع فولاذ سكك الحديدية المخدّدة من أجل الحصول على التصليدية المتوخاة لضمان بعد بيني صفائحي دقيق نسبيا بعد تبريد مثل هذه الأنواع من الفولاذ بصورة طبيعية أو معجّلة. ويبقى هذا المسعى قائما فيما يخصّ هذا الاختراع. في ظلّ هذا الاختراع، الذي لا يعتمد على التبريد المعجّل لخصائصه، يفضّل استخدام محتوى أكبر من المنغنيز من أجل بنية دقيقة برليتية لها بعد بيني صفائحي دقيق. ولقد تبيّن أن محتوى من المنغنيز دون 1,1% غير كاف للحصول على التصليدية المتوخاة عند المحتوى المنتقى من الكربون، بينما، لمّا يكون المنغنيز عند مستويات تتجاوز 1,4%، اعتبر الخطر المضاعف

لتكوّن المارتنزيت غير مقبول، لا سيما في مناطق عزل المنغنيز. كما يعتبر المستوى الأعلى من المنغنيز غير مرغوب فيه من المنظور الخاصّ بالتلحيم، بسبب الخطر المضاعف لتكوّن مارتنزيت صلب ومقصف. وفي تجسيد مفضّل لهذا الاختراع، يقدّر المحتوى من المنغنيز بـــ 1,35 % على الأكثر. ويمكن للقيمة الدنيا المناسبة للمنغنيز أن تكون عند حدود 1,20% أو حتى 1,25%.

ولقد اعتمد، في ظلّ هذا الاختراع، على فعالية الفاناديوم بوصفه عنصرا سبيكيا مصلّدا بالترسّب، من أجل تعزيز متانة الفيريت البرليتي، ومن ثمّة تحسين مقاومته للتسقيط، والتآكل، والكلال الناتج عن تلامس الدوران. يشكّل الفاناديوم كربيدات الفاناديوم ونتريدات الفاناديوم حسب مقدار النتروجين المتواجد في الفولاذ وحسب درجة الحرارة. ولهذا، فإنه من الضروري فحص مستوى إضافة الفاناديوم مع حجم النتروجين في الفولاذ لأن فعالية التصليد بالترسّب في الفولاذ البرليتي الإصهاري تتناقص مع تزايد مستويات النتروجين، ممّا تنتج عنه رواسب خشنة من نيتريد الفاناديوم عند درجات حرارة أعلى. فضلا عن ذلك، مثل هذه الرواسب عالية درجة الحرارة لا تقوّي الفيريت البرليتي ولا تترك مقدارا كافيا من الفاناديوم في محلول لمنح مزيد من التصليدية، من أجل الحصول على بعد بيني صفائحي أدقّ. ويذكر إن إضافات الفاناديوم إلى الفولاذ الإصهاري لا تؤثّر تأثيرا كبيرا على درجة حرارة الـــ M_s. ولقد لاحظ المخترعون أن نسبة الفاناديوم المرسّب بوصفه كربيدات كان يقارب الحدّ الأقصى لمّا خفّض المحتوى من النتروجين إلى 0,003% وانخفضت هذه النسبة بصورة متناسبة مع تزايد المحتوى من النتروجين. استخدمت معرفة هذه المبادئ الميتالورجية بصورة إبداعية بغية التوصّل إلى المحتويات المثلى، المتمثّلة في 0,08% فاناديوم و 0,003% نيتروجين. بالتالي، ولأسباب تخصّ قابلية التصنيع بتكلفة فعّالة، يعتبر المحتوى الأدنى من النتروجين عند نسبة 0,003% حدّا عمليا أدنى، بينما تعتبر نسبة 0,007% حدّا أعلى مرغوب فيه لضمان أحسن العائدات من إضافات الفاناديوم المكلّفة. ومع أنه يمكن قبول المحتويات الأعلى من النتروجين، شريطة أن تصحبها محتويات أعلى متناسبة من الفاناديوم، فإنه لا يرغب فيها من ناحية فعالية التكلفة.

وفي أحد تجسيدات هذا الاختراع، تتمّ مزاوجة مقدار أدنى من النتروجين عند حدود 0,003% بمحتوى أدنى من الفاناديوم يقدّر بـــ 0,07%. ويفضّل أن يكون النتروجين عند حدود 0,007% على الأكثر، بينما تكون الأرقام المتناسبة من الفاناديوم ما بين 0,07% و 0,12% على

الأكثر. ومع أنه يمكن توقّع مثل هذه المقادير القصوى، فإنها تعتبر غير مثالية وغير جذّابة من الناحية الاقتصادية.

وبفضل الإضافات المكيّفة من السيليكون، المنغنيز، والفاناديوم، يتمّ الحصول على الخصائص المتوخاة ليس فقط بالجهة القريبة من السطح، وإنّما على مدى الكتلة الرأسية للقضيب بكاملها كذلك، وبتماسك كبير. يعدّ الحصول على التماسك مسالة صعبة المنال في سكّة معالجة بالحرارة، بينما في الفولاذ وفق ما جاء به هذا الاختراع، يتمّ الحصول على هذا التماسك في القضيب المدرفل وهو ساخن. ويمكن الحصول على مقاومات أعلى، و/أو مقاومة خضوع و/أو الصلادة من هذا النوع من الفولاذ بإخضاعه للتبريد المعجّل في منشأة معالجة بالحرارة مدمجة أو منفصلة، تستخدم الهواء المضغوط، سديم الماء، أو المطفئات البوليمرية.

المقاومة للتآكل التي يتّسم بها الفولاذ وفق ما جاء به هذا الاختراع، وهو في شروط خام درفلة، وشروط التبريد المعجّل، أو في شروط المعالجة بالحرارة، هذه المقاومة للتآكل جيّدة بما يكفي لتقليل الحاجة إلى وضع طلاء واق، صلب، وباهظ التكلفة على السكك التي يزمع وضعها في منحنيات حادّة.

ويفضّل أن يكون المحتوى من الفوسفور في الفولاذ عند حدود 0,015% على أكثر تقدير. بينما يجب أن تكون قيّم الكبريت ما بين 0,008 و 0,030% لأنها تشكّل تضمينات MnS (منغنيز–كبريت). وتقوم هذه التضمينات مقام عوامل غطس لأي هيدروجين متبقّي قد يمكنه أن يتواجد في الفولاذ. وقد يسفر هذا الهيدروجين عن حدوث شروخ مدمّرة قد تساعد على ظهور شروخ ناجمة عن الكلال على الرأس (وتعرف أيضا بمصطلح البيضويات الإبزيمية) عند شروط الضغط العالي من جانب الدواليب. تحول إضافة 0,008% على الأقل من الكبريت دون حدوث التأثيرات المدمّرة للهدروجين، بينما تنتقى قيمة 0,03% القصوى من أجل تفادي تقصّف البنية. ويفضّل أن تكون القيمة القصوى عند حدود 0,025%. أمّا البورون، ورغم أنه لا يعتبر عنصرا سبيكيا إلزاميا، فيمكن استخدامه قصد تحسين خصائص الفولاذ وفق ما جاء به هذا الاختراع، بقيمة تقدّر بحوالي 60 وحدة في المليون (و ف م). ويعتبر البورون عاملا مساعدا قويا على تشكيل مكوّنات بنيوية دقيقة، مثل البانيت أو المارتنزيت، خاصّة لمّا يكون النتروجين مرتبطا بالتيتانيوم في الفولاذ. وإن لم يكن، فيمكن تشكيل رواسب BN (بورون–نيتروجين). في الفولاذ وفق ما جاء به هذا الاختراع،

يعتبر من المهم أن تكون البنية برليتية عموما، ويفضّل أن تكون برليتية كلّيا، كما يفضّل أن يحافظ على حجم المكوّنات البنيوية الدقيقة البينيتية أو المارتنزيتية عند أدنى حدّ ممكن، بل يفضّل أن تنعدم هذه المكوّنات كلّيا. ويفضّل ألا يحتوي الفولاذ الذي جاء به هذا الاختراع على أيّ بورون بوصفه عنصرا سبيكيا، غير أنه يمكنه أن يتواجد في شكل شائبة لا يمكن تجنّبها. وإن كان المحتوى من البورون دون 0,0005% (أي دون 5 و ف م)، فيعتبر عموما غير فعّال كعنصر سبيكي، ولذلك يعتبر شائبة في ظلّ طلب البراءة الحالي.

يستند المستوى الأقصى الموصى به من الشوائب التي لا يمكن تجنّبها إلى منشورة EN 13674-I :2003، التي حسبها تكون الحدود القصوى عند Mo: 0,02%، Ni: 0,10%، Sn: 0,03%، Sb: 0,020%، Ti: 0,025%، و Nb: 0,01%.

أُثبتت مقاومة الفولاذ الذي جاء به هذا الاختراع للتآكل بالاعتماد على طريقة الاختبار التي تأكّدت نجاعتها والمسماة بطريقة Twin Disk (القرص المزدوج) المقارنة. حيث يجرى الاختبار في مخبر يتوفّر على تجهيزات Twin Disk، مشابهة للتجهيزات التي تمّ وصفها في مطبوعة: *Wear*، الصفحات 162-164 (1993)، وفي مطبوعة *Microstructure and Wear Resistance of Pearlitic Rail Steels*، تأليف Albert J. Perez-Unzueta و John H. Beynon[5]. هذه التجهيزات تحفّز القوى المتصاعدة عند دوران العجلة وانزلاقها على السكّة. ويذكر أن هذه التقديرات ليست جزءا من الطريقة الشكلية المعتمدة لتقييم مدى أهلية السكّة لكنه وجد أنها تقدّم مؤشّرا جيّدا فيما يخصّ الأداء النسبي في الخدمة الذي تقدّمه مختلف التركيبات الفولاذية الخاصّة بالسكك الحديدية. تنطوي شروط الاختبار الخاصّة باختبار مدى التآكل على استخدام ضغط تلامس يقدّر بـــ 560 ميغا باسكال و 25% انزلاق، بينما الشروط الخاصّة بالكلال الناتج عن تلامس الدوران تعتمد ضغط تلامس أعلى يقدّر بـــ 900 ميغا باسكال ، 5% انزلاق، وتزليق بالماء. تبيّن النتائج في الشكل 1 حيث يرسم معدّل التآكل المعبّر عنه بالملغ/م مقابل مدى الصلادة المعبّر عنه بصلابة فيكرز (Vickers Hardness) المرموز إليها بـــ HV.

من الواضح أن معدّل التآكل يتناقص كدالّة للصلادة وأن بعد تجاوز مستوى صلادة عند حدود 330 HV (~313HB)، ليس هناك، في معدّل التآكل، أيّ تخفيض آخر يمكن قياسه، أو لييس منه إلا القليل. لذلك، كان هذا الاختراع يسعى فيما يسعى إليه، إلى تحقيق مقاومة للتآكل مكافئة لمستوى

صلادة عند حدود 330 HV30 على الأقل. ويذكر إن التركيبات المطوّرة إلى الحدّ الأمثل التي جاء بها هذا الاختراع قد حقّقت المقاومة المتوخاة، في المخبر كما في السبائك التجارية. ولقد وجد المخترعون أن التركيبة الكيميائية المتوازنة تنتج برليتا يقاوم التآكل بصورة جيّدة، نتيجة لتقوية الفيريت البرليتي من خلال عملية تصليد بواسطة محلول صلب عن طريق إضافات من السيليكون وكربيدات فاناديوم موزّعة توزيعا دقيقا ضمن شرائح الفيريت البرليتي. فضلا عن ذلك، لقد تمكّن المخترعون، من خلال تحديد نسبة النتروجين إلى ما دون 0,007%، تمكّنوا من استغلال التأثير المعروف جيّدا والفعّال في التصليدية الذي يتميّز به الفاناديوم وهو في شكل محلول، والذي يعزّز، متانة وصلادة التركيبة التي جاء بها هذا الاختراع، المطوّرة إلى الحدّ الأمثل، ويعزّز مقاومتها للتآكل، من خلال تنقيّة البعد البيني الصفائحي للبرليت.

ومع أن السرعة الدنيا التي تسير بها قطارات الترام على الخطوط المطمورة تجعلها أقلّ عرضة للكلال الناتج عن تلامس الدوران (RFC)، فإن تصليد الفيريت البرليتي، الناتج عن التركيبة التي جاء بها هذا الاختراع، قد حسّن في مقاومة الفولاذ للكلال الناتج عن تلامس الدوران. حيث تمّ تسجيل تحسّن في مدى المقاومة للكلال الناتج عن تلامس الدوران، يقدّر بـــ 20% على الأقل، فيما يخصّ التركيبة التي جاء بها هذا الاختراع والمرتبة R260 المعيارية، باستخدام اختبار Twin Disk (القرص المزدوج) المخبري، المقارن.

هذه التحسينات يتضافر عدد من العوامل من أجل إحداثها. أوّلا، ترفع الزيادة في محتوى الكربون مقارنة بمراتب الفولاذ الخاصّة بالسكك الحديدية وذات المحتوى الأدنى من الكربون، النموذجية، المخصّصة للسكك الحديدية المخدّدة، بينما تبقى في حدود المنطقة تحت الأصهرانية من الرسم البياني الخاصّ بالطور حديد–كربون، ترفع هذه الزيادة في الجزء الحجمي من السيمنتيت الصلب ضمن البنية الدقيقة. ولأن المحتوى من الكربون لا يتعدّى إلى داخل المجال فوق الأصهراني من التركيبات، يتمّ، هكذا، تجنّب خطر تشكّل شبكات ضارّة من السمنتيت المقصف عند الحدود الحبيبية، في شروط التبريد البطيئة نسبيا التي تعرّض إليها السكك أثناء الإنتاج. وكإجراء احتياطي إضافي، تمّ تصميم الإضافات المقصودة من السيليكون الأعلى والفاناديوم إلى التركيبة قصد تفادي سمنتيت الحدود الحبيبية ضمن الأجزاء المعزولة من مقطع قضيب السكّة الحديدية. تنطوي هذه الإضافات على وظيفة ثانية لا تنقص أهمّية. حيث يعتبر السليكون محلولا صلبا ممتّنا،

يعزّز متانة الفيريت البرليتية، ومن ثمّة يزيد في مقاومة البرليت لنشوء التآكل والكلال الناتج عن تلامس الدوران كليهما. وعلى نفس النسق، يزيد ترسيب كربيدات الفاناديوم الدقيقة في الفيريت البرليتي من متانة هذا الأخير، وبخاصّة، في قوّة صموده، ومن ثمّة فهو يزيد في مقاومته للتآكل وللكلال الناتج عن تلامس الدوران. ويتّسم تصميم التركيبة التي جاء بها هذا الاختراع بميزة أخرى تتمثّل في تحديد المحتوى من النتروجين من أجل تفادي تكوّن مبكّر لرواسب خشنة نسبيا من نيتريد الفاناديوم، لأنها أقلّ فعالية إلى حدّ كبير في الزيادة في متانة الفيريت البرليتي، ممّا يضمن بقاء الإضافات من الفاناديوم فى شكل محلول ضمن الأوستينيت من أجل تخفيض درجات الحرارة، وبالتالي، ينتج عنها رواسب أدقّ. ويبقى في المحلول كذلك شطر من الفاناديوم، يشتغل نتيجة لذلك، كعامل تصليدية يعمل على تنقيّة البعد البيني للبرليت. وهكذا، يستخدم التصميم الخاصّ بالتركيبة المطالب بحمايتها في هذا التجسيد، الخاصّيات العديدة التي تتميّز بها مختلف العناصر، من أجل إنتاج بنية دقيقة تتميّز بتوليفة مرغوب فيها إلى حدّ بعيد من خصائص المقاومة للتآكل والكلال الناتج عن تلامس الدوران. وتعدّ الخصائص الميكانيكية وكذا المقاومة لكلّ من التآكل ونشوء الكلال الناتج عن تلامس الدوران التي يتميّز بها الفولاذ وفق ما جاء به هذا الاختراع، تعدّ هذه الخصائص أحسن مما توفّره غالبية المراتب التقليدية من السكك البرليتية المعالجة حراريا، وهي مماثلة لأصلد مرتبة معالجة حراريا (وهي مرتبة R340GHT) مدرجة ضمن المقاييس الأوربية الخاصّة بالسكك الحديدية (طالع منشورتي 2006:EN 14811 و 2009:A1). ورغم أنها ليست ضرورية بالنسبة لطلب البراءة الحالي المتعلّق بالسكك الحديدية المخدّدة المعدّة للخطوط المطمورة المقامة في الشوارع، هناك مزيد من التحسينات التي أدخلت على خصائص الشدّ والمقاومة للتآكل، والتشوّه البلاستيكي، والكلال الناتج عن تلامس الدوران، والتي يمكن الحصول عليها بتعريض تركيبات هذا الاختراع للتبريد المعجّل بعد الدرفلة الساخنة أو لمعالجة حرارية بعدية تستخدم مرحلة إعادة التسخين.

وهناك ميزة أخرى إضافية لا تنقص أهمّية يتّسم بها الفولاذ وفق ما جاء به هذا الاختراع، وهي قدرتها على أن تجدّد باللحام، بغير حاجة إلى تسخين قبلي إلى درجة حرارة عالية. تُواصف طريقة التجديد باللحام الخاصّة بشركة تاتا للفولاذ (Tata Steel) المالكة درجات حرارة منخفضة عند التسخين القبلي، ما بين حوالي 60°م و 80°م. حيث يتمثّل المبدأ الأساسي الذي تقوم عليه هذه الطريقة في تفادي اكتمال التحوّل إلى المارتنزيت ضمن حدود المنطقة المتأثّرة بالحرارة الناجمة

عن ترسّب خرزات اللحام. هكذا، وفي ظلّ هذا الاختراع، كان تصميم التركيبة الفولاذية يسعى إلى تحقيق هدفين محفّزين اثنين: أوّلا، تحقيق الشروط ذات الصلة بالخصائص التي سبق وصفها في الفقرات السابقة، وثانيا، ضمان أن درجات حرارة تحوّل بداية المارتنزيت (M_s) ونهاية المارتنزيت (M_f) تكون في حدود لا تسمح باستكمال التحوّل إلى مارتنزيت أثناء عملية التجديد باللحام. نتيجة لذلك، ينبغي أن تكون درجة حرارة الـ M_f دون حوالي 60°م، ويفضّل أن تكون دون درجة الحرارة هذه بكثير، من أجل الزيادة إلى أقصى درجة ممكنة في حجم الأوستنيت المحتجز وغير المحوّل، الذي يعدّ عاملا حاسما لتفادي تكوّن شروخ بدئية عند السطح البيني لمعدن التلحيم والسكة الأصلية أو ضمن المنطقة المتأثّرة بالحرارة، التي يخلّفها ترسّب خرزات اللحام. عموما، تقدّر درجة حرارة الـ M_f بحوالي 150°م دون درجة حرارة الـ M_s التي يمكن حسابها باستخدام المعادلات (1)، (1أ)، (1ب) و(2) كما سبق عرضها أعلاه. في الشكل 2، تقدّم درجة حرارة M_s و M_f الخاصّة بعدد من أنواع الفولاذ المتوفّرة، مقابل الحدّ الأدنى من الصلادة اللازمة الذي تتوفّر عليه مرتبة الفولاذ المعيّنة. تمثّل درجات الحرارة هذه متوسط درجات الحرارة التي تمّ حسابها من خلال المعادلتين المبيّنتين أعلاه. أمّا تركيزات الكربون والمنغنيز المستخدمة في الحسابات، فهي تمثّل قيّم النقطة الوسطى الخاصّة بمرتبة الفولاذ المحدّد في منشورتي: EN 14811:2006 و A1:2009. ويذكر أن درجة حرارة M_s تمثّل القيمة الأعلى، بينما درجة حرارة M_f تمثّل القيمة الأدنى لأنواع الفولاذ الموصوفة.

ومن الواضح أن الفولاذ الذي جاء به هذا الاختراع، والمشار إليه بعبارة 'اخترع' في الشكل 2، له أدنى درجة حرارة M_f، ولذلك فهو قادر على حجز أقصى نسبة من الأوستنيت، وبالتالي فهو الأكثر مقاومة لتكوّن الشروخ البدئية. وفي المقابل، تتّسم الأصناف الأخرى من فولاذ السكك الحديدية المخدّدة بدرجات حرارة M_f أعلى، غير مرغوب فيها، تعني اكتمال تحوّل المارتنزيت أثناء عملية التجديد باللحام، وتعني خطرا أكبر بكثير لتكوّن شروخ.

إن المقاومة الممتازة للتآكل التي تتّسم بها السكك الحديدية تضمن مرور وقت طويل قبل تآكل السكّة الحديدية في اتّجاه رأسي. القابلية للتجديد باللحام وكون الفولاذ الذي جاء به هذا الاختراع لا يستلزم معالجة حرارية من أجل بلوغ خصائصه، كلاهما يضمنان قابلية السكّة الحديدية للتصليح في عين المكان، ولذلك، فهي لا تحتاج إلى أن تؤخذ خارج الشارع، بل يمكن تصليحها بين

عشيّة وضحاها. مما يعني أعمال أقل على الطرقات وأقلّ إزعاج بالنسبة لحركة المرور داخل المدينة. تعني هذه التوليفة من الخصائص التي يمكن تحقيقها بهندسة البنية الدقيقة وكيمياء السكك الحديدية، تعني أن السكّة الحديدية هي ليس فقط فعّالة من ناحية التكلفة، وإنما هي كذلك توفّر حلا يحافظ أكثر على البيئة لأنه يمكن تصليح السكك بسهولة، وهي ليست في حاجة كثيرا إلى الاستبدال بسكك جديدة. فضلا عن ذلك، يضمن التصميم الدقيق للتركيبة –مما يُغني عن الحاجة إلى مرحلة معالجة حرارية أثناء عملية تصنيع السكّة– يضمن هذا التصميم كذلك الحصول على منتوج خضراوي أكثر، مقارنة بأنواع الفولاذ الأخرى التي تستمدّ خصائصها من معالجة حرارية عقب درفلة السكّة.

ورغم ملاءمة الفولاذ وفق ما جاء به هذا الاختراع لغايات مثل سكك الرافعات أو السكك مسطّحة القاع، لقد تبيّن أن فولاذ السكك الحديدية يلائم بصورة استثنائية لإنتاج السكك الحديدية المخدّدة التي تنتفع من تضافر الخاصّيات الأساسية المتمثّلة في مقاومة التآكل والقابلية للتجديد باللحام.

تمّ إنتاج مختلف أنواع الصلب المسبوك المخبرية س1 – س4 (C1-C4) وكذا الفولاذ أ الذي جاء به هذا الاختراع، في شكل كتل تزن كلّ واحدة منها 60 كلغ. والسبائك س1 إلى س4 هي عبارة سبائك تمهيدية صنعت لإقامة التوازن فيما بين الشروط المتضاربة أحيانا، والخاصّة ببلوغ الصلادة اللازمة، خصائص الشدّ، والمقاومة للتآكل الناتجة، من جهة، مع مراعاة شروط درجة حرارة منخفضة بما يكفي لـــ M_s من أجل ضمان القابلية للتجديد باللحام باستخدام عملية التسخين القبلي في درجة حرارة منخفضة. توّجت النتائج الصادرة عن هذه البحوث أوّلا في شكل سبيكة مخبرية لها تركيبة السبيكة أ. تمّت درفلة الكتل إلى صفائح ذات سمك 30 مم وعرّضت للتبريد عن طريق الهواء الطبيعي من أجل تحفيز شروط التبريد تحفيزا دقيقا في رأس سكّة حديدية لا زالت في شكل خام درفلة. وتمّ إنتاج سبيكة تجارية من نوع BOS (فولاذ الفئة (ب)) وزنها 300 طن من الفولاذ الذي جاء به هذا الاختراع، بالاعتماد على كيمياء السبيكة المخبرية (أ)، وفيما بعد، صبّت باستمرار إلى قطعة نصف مدرفلة ذات 305x355مم. درفلت القطع نصف المشكّلة إلى قطع سكك حديدية عديدة وتركت لتبرد على رصيف تبريد السكك، في شروط تبريد معيارية كما هو الحال

فيما يخصّ مختلف مراتب السكك الحديدية التجارية عند عملية درفلتها. تمّ إنتاج سكك حديدية من كلّ فئات الطول، فكانت خالية من أيّة عيوب انكسار داخلية أو سطحية.

تعرض التركيبات الكيميائية لصنفي الفولاذ (أ) و (ب) في الجدول 1. كما تعطى الأمثلة المقارنة للسبائك س1–س4 في الجدول 1.

الجدول 1: التركيبة الكيميائية، % الوزن

فولاذ	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Al	N
أ	0,76	0,76	1,23	0,016	0,012	0,04	0,08	> 0,005	49
ب	0,76	0,75	1,22	0,018	0,013	0,03	0,09	> 0,005	32
س1	0,61	0,82	1,40	0,018	0,014	0,62	> 0,01	0,010	70
س2	0,72	0,83	0,95	0,016	0,011	0,01>	0,13	0,008	40
س3	0,65	0,72	1,25	0,015	0,013	> 0,005	0,13	0,012	60
س4	0,44	0,70	1,21	0,015	0,010	> 0,005	0,12	0,014	60

تبيّن أن صلادة الفولاذين (أ) و (ب) تتراوح ما بين 330 HV30 و 350 HV30. ووجد المخترعون أن، بانتقاء فولاذ ما ضمن النافذة الكيميائية الضيّقة وفق ما جاء به هذا الاختراع، يتبيّن أن المقاومتين للتآكل وللكلال الناتج عن تلامس الدوران كلتيهما ممتازتين وتساويان أداء مرتبة الـ 350HT المعالجة حراريا، في حين تبديان خصائص ميكانيكية مماثلة. ويذكر أن، مقارنة ببعض الأنواع الأخرى من الفولاذ، لا يتطلب الفولاذ الذي جاء به هذا الاختراع أيّة معالجة حرارية للحصول على الخصائص المتوخاة.

الجدول 2: بيانات خاصّة بمستوى الصلادة وخاصّية الشدّ لدى فولاذ هذا الاختراع ومرتبات فولاذ السكك الحديدية البرليتية الشائعة (R260 و R350HT):

الفولاذ	الشروط	PS %0,2 (ميجا باسكال)	TS (ميجا باسكال)	El (%)	الصلادة (HV30)
R260	خام درفلة	494	907	12,5	290
R350HT	معالجة حرارية	763	1210	14,0	375
أ	خام درفلة	646	1089	10,0	331
ب	خام درفلة	629	1100	9,8	335

عناصر الحماية

1. فولاذ يصلح لصناعة السكك الحديدية، وبخاصّة السكك الحديدية المخدّدة، يتوفّر على صلادة تقدّر بعلى الأقل 330 HV30، وقوّة شدّ تقدّر بعلى الأقل 1000ميغا باسكال، وقوّة شدّ تقدّر بعلى الأقل 600 ميغا باسكال، يشتمل على % وزنا:

- 0,70% إلى 0,85% كربون،
- 0,65% إلى 1,00% سليكون،
- 1,1% إلى 1,4% منغنيز،
- 0,07% إلى 0,15% فاناديوم،
- حتى 0,008% نيتروجين،
- حتى 0,025% فوسفور،
- من 0,008 إلى 0,030% كبريت،
- على الأكثر 2,5 وحدة في المليون (و ف م) من الهدروجين،
- على الأكثر 0,10% الكروم،
- على الأكثر 0,010% ألمنيوم،
- على الأكثر 20 وحدة في المليون (و ف م) أكسجين،
- ويتمثّل الباقي في الحديد وفي الشوائب الملازمة.

2. فولاذ وفق ما جاء في عنصر الحماية 1، حيث درجة حرارة تحوّل بداية المارتنزيت (M_s)، كمّا حدّدت في المعادلة 1، هي دون 190°م، وحيث تحوّل نهاية المارتنزيت (M_f)، وفق المعادلة 2، هي دون 40°م.

M_s (°م)=0,5 x M_s الخاصّ بأندروز + M_s الخاصّ بستيفنس & هينز) (المعادلة 1)

M_s أندروز (Andrews) (°م)=539−423 x نسبة الكربون (%) − 30,4 x نسبة المنغنيز (%)

(المعادلة 1أ)

M_s ستيفنس (Stevens) & هينز (Haynes) (°م)=561−474 x نسبة الكربون (%) − 33 x نسبة المنغنيز (%)

(المعادلة 1ب)

M_f (°م)= M_s −150 (المعادلة 2)

3. فولاذ وفق ما جاء في عنصر الحماية 1، ينطوي على محتوى من الكربون يقدّر بعلى الأقل 0,735%، ويفضّل على الأقل 0,75%

4. فولاذ وفق ما جاء في عنصري الحماية 1 أو 2، ينطوي على محتوى من المنغنيز يقدّر بعلى الأقل 1,20%.

5. فولاذ وفق ما جاء في أيّ من عناصر الحماية من 1 إلى 3، ينطوي على محتوى من السيليكون يقدّر بعلى الأقل 0,75%.

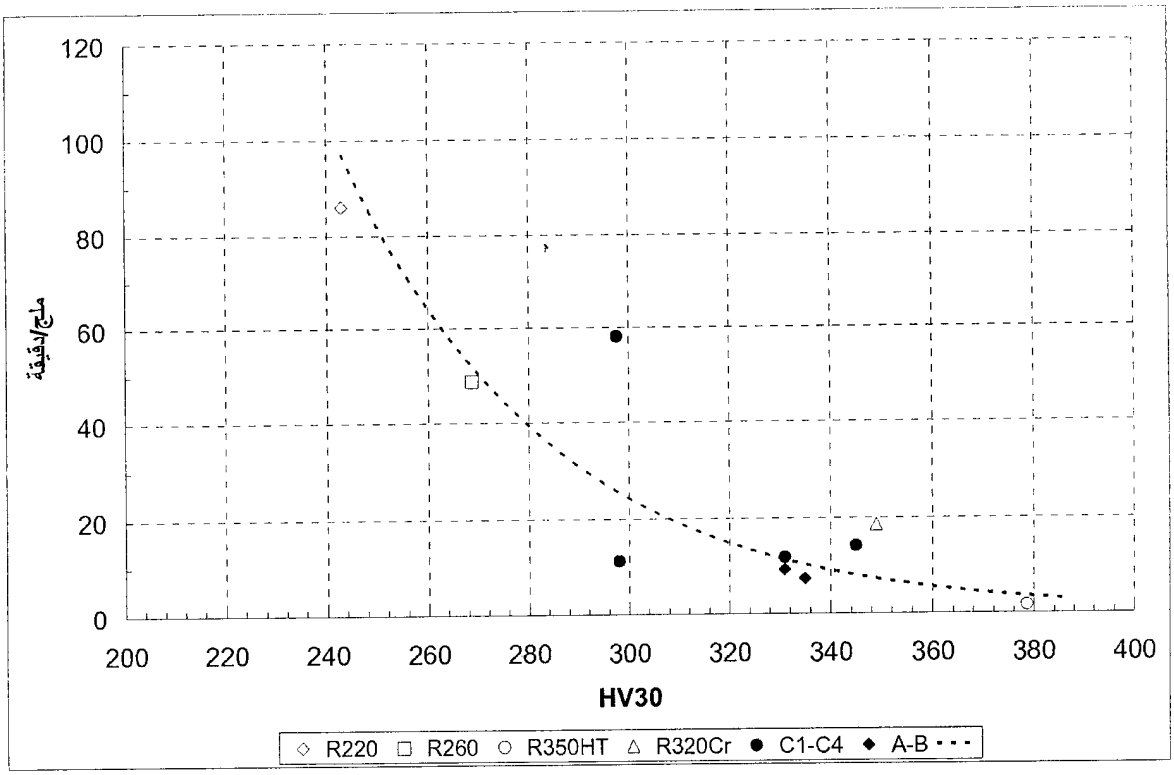
6. فولاذ وفق ما جاء في أيّ من عناصر الحماية من 1 إلى 5، ينطوي على توليفة من محتوى من الفاناديوم يقدّر بعلى الأقل 0,08% ومحتوى من النتروجين يقدّر بعلى الأكثر 0,005%.

7. فولاذ وفق ما جاء في أيّ من عناصر الحماية من 1 إلى 5، ينطوي على توليفة من محتوى من الفاناديوم يقدّر بعلى الأقل 0,10% ومحتوى من النتروجين يقدّر بعلى الأكثر 0,007%.

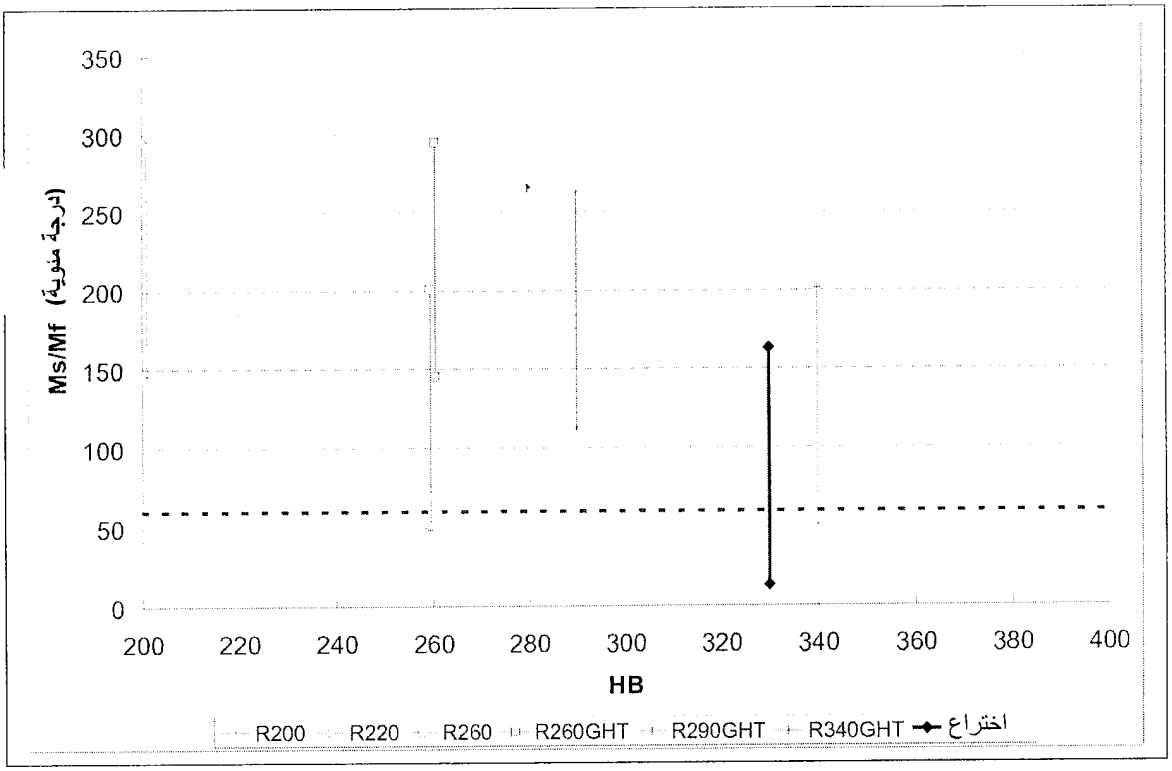
8. فولاذ وفق ما جاء في أيّ من عناصر الحماية من 1 إلى 7، حيث درجة حرارة تحوّل بداية المارتنزيت، كمّا حدّدت في المعادلة 1، هي دون 175°م، وحيث تحوّل نهاية المارتنزيت، وفق المعادلة 2، هو دون 25°م.

9. فولاذ وفق ما جاء في أيّ من عناصر الحماية من 1 إلى 8، حيث المنطقة المتأثّرة بالحرارة من خرزة التجديد باللحام تشتمل على 50% على الأقل من حجم الأوستنيت المحجوز.

10. سكّة حديدية، مثل سكّة حديدية مخدّدة، سكّة حديدية خاصّة بالرافعات، أو سكّة حديدية مسطّحة القاع، مصنوعة من فولاذ وفق ما جاء في أيّ من عناصر الحماية من 1 إلى 9، له صلادة تقدّر بعلى الأقل 330 HV، قوة شدّ تقدّر بعلى الأقل 1000 ميغا باسكال، ومقاومة خضوع تقدّر بعلى الأقل 600 ميغا باسكال.


120
100
80
60
40
20
0
ملج/دقيقة
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
HV30
R220
R260
R350HT
R320Cr
C1-C4
A-B

الشكل 1


350
300
250
200
150
100
50
0
Ms/Mf (درجة مئوية)
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
HB
R200
R220
R260
R260GHT
R290GHT
R340GHT
اختراع

الشكل 2