تأثير استخدام المحاليل النايتروجينية كوسط تقسية للصلب Gr 1042 والصلب السبائكي Gr 4140 [+]

THE EFFECT OF EMPLOYING NITROGEN SOLUTION AS A QUENCHING MEDIUM FOR STEELS (GR 1042 AND GR 4140)

محمد زين العابدين حسن [*] رفيق احمد خليفه [*]

المستخلص:

هدف البحث هو دراسة إمكانية استخدام المحاليل النايتروجينية (السماد النتروجيني الأبيض المعروف باليوريا) كوسط تقسية للصلب المتوسط الكربون Gr1042 والصلب ألسبائكي الواطئ الكاربون Gr4140 وتأثير ذلك على الخواص الميكانيكية لكلا المعدنين ، حيث أجريت عمليات المعاملة الحرارية بتسخين عينات من كلا المعدنين إلى درجة حرارة التقسية (850،900) وأبقيت عند هذه الدرجة الحرارية لمدة 10 و 15 دقيقة لحصول التجانس في التركيب ، ومن ثم إخماده في المحاليل النايتروجينية وبتراكيز مختلفة . أظهرت النتائج إن قيم الصلادة الروكويلية لكلا المعدنين المستخدمين في البحث تزداد مع ازدياد تركيز المحلول النايتروجيني مع الاحتفاظ بمقاومة صدمة مقبولة ، إن هذا الوسط يمتاز بمعدل تبريد عالي في مدى التحولات الانتشارية بحيث يضمن عدم تحول أي جزء من الاوستنايت إلى بيرلايت بكل اشكاله.

Abstract:

The aim of this research is to study the possibility of the use of Nitrogen fertilizer solution as a quenching medium for medium carbon steel Gr 1042 and low alloy steel Gr4140 and its effect on mechanical properties of both steels. The heat treatment were conducted which include heating the steel to (850-900) Ċ for (10 &15) min. respectively and then quenching into Nitrogen solutions. Results showed that the Rockwell hardness values of both steels employed in research increases with the increasing of the Nitrogen fertilizer solution concentration while retaining an acceptable impact strength. The results shows that the Nitrogen solutions have high cooling rate in diffusion transformation region, and this ensure that any part of the austenite does not transform pearlite in its various forms.

المقدمة:

يعتبر اختيار المواد التي تصنع منها أجزاء المكائن من المقاييس المهمة والأساسية التي تحدد مقدرة هذه المكائن والآلات على العمل . ولهذا الاختيار دور كبير في تحقيق التشغيل الأمثل لهذه المكائن . ويتحدد هذا الاختيار بمجموعة من المتطلبات الأساسية المهمة كالمتانة ومقاومة الصدمة والصلادة ومقاومة التآكل ومقاومة الشد [1] .

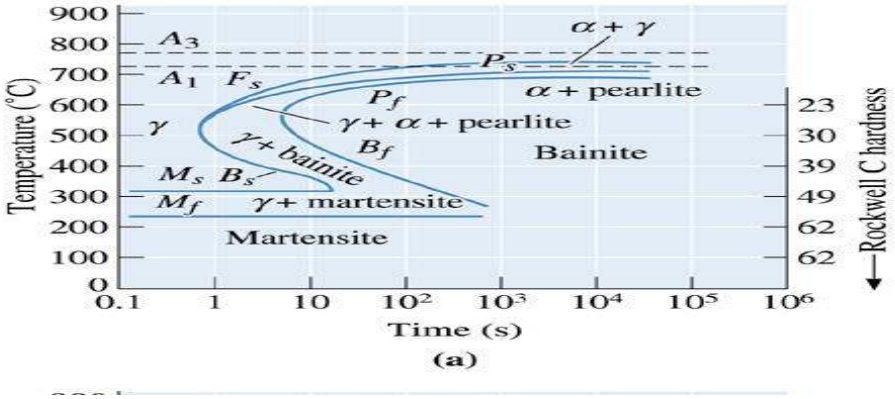
[+] تاريخ استلام البحث ٢٠٠٩/١١/٥ ، تاريخ قبول النشر ٢٠١١/١٠/٣١ .

[*] مدرس مساعد /الكلية التقنية /كركوك

يستفاد من المعالجات الحرارية في زيادة الصلادة ، تحسين المقاومة Strength والمتانة Toughness والمطلية Ductility وتحدد نوع المعاملة الحرارية تبعا لنسبة الكربون في الصلب والغرض من استخدامه .ويمكن تغيير خواص السبائك بواسطة المعاملة الحرارية في حدود واسعة من خلال رفع صلادة الصلب الكربوني من 200HB إلى 650HB وزيادة مقاومة الصدمات ومقدار الاستطالة النسبية والمقاومة القصوى إلى حد كبير[2].

التصليد او التقسية:

إن هذه العملية تتضمن تسخين الصلب قبل اليوتكتويد (Hypo-eutectoid) إلى درجة حرارية هي 30–50 مْ فوق درجة الحرارة الحرجة العليا وإبقاءه عند تلك الدرجة الحرجة فترة زمنية مناسبة تعتمد على سمك المقطع ثم إخماده (Quenching) بعد ذلك بواسطة الماء أو الماء الملحي (Brine) أو الزيت (Oil)، الشكل رقم(1) يبين تأثير معدل التبريد على درجة حرارة تحول الأوستنايت ونواتجه [3].



الشكل (١)تأثير معدل التبريد على معدل الاوستنايت[3]

لقد أجريت دراسات وبحوث عديدة حول استخدام أوساط التقسية منها البحث الذي قام به الباحث(W.Hewit١٩٨٦) فوجد أن معدل التبريد الحرج ينخفض بارتفاع النسبة المئوية للكربون والعناصر السبائكية في الصلب وتكون قيمة معدل التبريد لبعض أنواع الصلب ألسبائكي (Alloy Steel) منخفضة بحيث يصبح بالإمكان تصليد هذا النوع من الصلب تصليدا كاملا وذلك بتبريده بطريقة الإخماد بالزيت ،وعندئذ يطلق عليه الصلب القابل للتصليد بالزيت (Oil – hardening steels) [4] . ووجد الباحث (D.K.Benson-2001) إن هناك بعض الأنواع الأخرى من الصلب ألسبائكي تكون قابلة للتصليد الكامل بطريقة التبريد بالهواء (Air-hardening) وذلك لكون معدل تبريدها الحرج واطئاً جداً بسبب وجود العناصر السبائكية[5]. كما قام الباحثون (عدنان نعمة. رائد كاظم.احمد قاسم–2004) بدراسة حول إمكانية استخدام محلول الكليسرول (كحول ثلاثي الهيدروكسيد) كوسط تقسية وتحديد الظروف المثلى لاستخدامه حيث وجدوا إن الكليسرول له منحنى تبريد مشابه للماء إلا أن المرحلة الثانية تكون أبطا مما يعمل على تقليل التشوهات المرافقة لعملية التقسية وتكون الخواص الميكانيكية للصلب المقسى وسطية ما بين الزيت والماء[9].

ويهدف البحث الحالي الى دراسة امكانية استخدام المحاليل النايتروجينية (السماد النايتروجيني الابيض المعروف باليويا) كوسط تقسية للصلب المتوسط الكربون Gr l042 والصلب السبائكي الواطئ الكربون Gr 4140 وتاثير ذلك على الخواص الميكانيكية لكلا المعدنين.

طرق ومـــواد البحـــــث:

أجري البحث عـــلى عينات من الصلب متوسط الكاربون (Gr l042) المستخدم في تـــصنيع أجـــزاء المكـــائن والآلات ويبين الجدول (1) التركيب الكيمياوي للصلب المتوســـط الكربون المستخدم (Gr l042) . ويبين الجدول (2) التركيب الكيمياوي للصلب ألسبائكي (Gr 4140) التي تستخدم في تصنيع أنابيب المسخنات الفائقـــة والأنابيـــب فـــي محطات توليد القدرة البخارية . حيث أجرى اختيار التحليل الكيميائي باستخدام جهـــاز التحليل الطيفي للمعـــــادن فـــي مختبرات شركة غـــاز الشمـــال وتم أخـــذ ثلاث قراءات وأخذ المتوسط للقراءات الثلاث.

جدول (1) التركيب الكيمياوي للصلب المتوسط الكربون Gr 1042

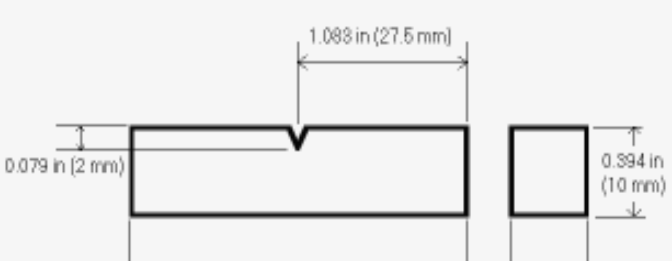
العنصر	C%	Mn%	P%	S%
القيمة القياسية wt%	0.45	0.75	0.04	0.05

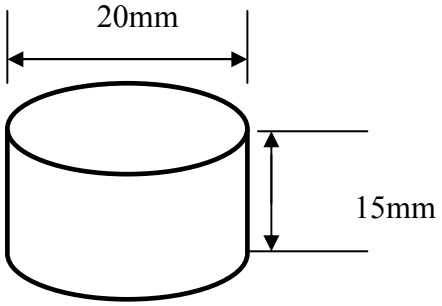
جدول(2) التركيب الكيمياوي للصلب ألسبائكي Gr 4140

العنصر	C%	Mn%	P%	Cr%	Si%	Mo%	S%	Ni%
القيمة القياسية wt%	0.40	0.85	0.040	1.10	0.25	0.20	0.04	-

تحضـــير العينـــــات:

تم أخـــذ نوعين من العينات من كلا المعدنين المستخدمين في هـــذا البحث ، النوع الأول عينات اســـطوانية ذات أبعاد موضحـــة بالشكل (2a) وهذه العينات تم تحضيرهـــا لغرض قياس الصلادة بعـــد إجراء المعاملـــة الحراريـــة . والنوع الثاني عينات خاصة باختبار الصدمة وهذه العينات من نوع ((شاربي)) الموضح شكلهـــا وأبعادها في الـــشكل (2b) . وتم تحضير هذه العينات باستخدام مكائن الخراطة والتفريز.





الشكل (2a) **الشكل (2b)**

عملية المعاملة الحرارية:

تم تنظيف العينات المحضرة لكلا المعدنين لأجـراء عملية التقسية وذلك بتنظيفهـا وإزالة الأكاسـيد والدهـون والشـوائب الملتصقـة بهـا ومن ثم قياس صـلادة العينات قبل أجـراء عمليـة التقسـية لهـا . وبعـد ذلـك تحـديد درجـة حرارة التسخين حيث تعتمـد عـلى نسبة الكربون في العينة فبالنـسـبة لعينـة الـصلب المتوسـط الكربون(Gr 1042) التي تحتوي عـلى نسـبة كربون تتراوح بين (0.47 – 0.4)% (صلب ما قبـل اليوتكتويـد) فالتسخين يكون أعلى من AC3 بـ (30 - 50) مْ أي 850 ْC وهذا حسب مخطط التوازن الحراري للحديد الكربون. أما درجـة حرارة التسخين للصلب ألسبائكي(Gr 4140), فتم تحديدهـا بـ (900 ْC) وذلك بـسـبب احتوائهـا عـلى بعض العناصر السبائكية التي تؤدي إلى زيادة النقاط الحرجة (A3) مثل الكروم والسليكون والمولبيـدنيوم [8]. وتمت عملية التسخين للعينات باستخدام فرن المعاملة الحرارية الكهـربائي ، وعند الوصـول إلى الدرجـة الحراريـة المطلوبـة تم تثبيت درجة الحرارة للفرن لمدة (15 دقيقة) للعينات الأسطوانية و(10 دقيقـة) لعينات الصدم ويكون حسـاب زمن الابقاء حسب الجدول (3).

جدول (3) كيفية تحديد زمن التقسية حسب سمك او قطر العينة

سمك او قطر العينة mm	التسخين في محلول ملحي		التسخين بالفرن	
	فترة الإبقاء للتجانسmin	زمن التسخين min	فترة الإبقاء للتجانسmin	زمن التسخين min
50	8	17	10	40
25	3	7	5	20
75	12	24	15	60
100	17	33	20	80
125	20	40	25	100
150	25	50	30	120

أوساط التقسـية:

تمت عملية الإخماد للعينات في هذا البحث في نوعين من أوساط التقسية النوع الأول هـو الماء الساكن ومعدل التبريد في هذه الحالة تتراوح بين $^{o}C/min$(500 – 400) وكذلك في المحاليل الناتيروجينية التي تحتوي على تراكيز مختلفـة من المحلول النايتروجيني وهي gm /lit (125- 100– 75– 50– 25) وإعادة عمليـة الإخماد

لعينات أخرى في ماء متحرك ومعدل التبريد في هذه الحالة تتراوح بين(^{o}C/min 1000 – 900) ولنفس التراكيز من المحلول النايتروجيني .ولغرض تقليل احتمالية حدوث العيوب التي تتكون نتيجة لأجراء عمليات الإخماد إلى الحد الأدنى بعض الطرق الصحيحة للإخماد التي تتعلق بكيفية إخماد الأشكال الهندسية المختلفة وهي إن الشكل الأسطواني يجب إخماده بصورة عمودية أما المقاطع غير المتجانسة فأن الأجزاء المستوية والجانبية السميكة يجب إخمادها أولا [10].

اختبار الصلادة:

تم استخدام جهاز قياس الصلادة الرقمي(Wilson Rockwell Hardness Test (series 500 وهذا الجهاز موجود في مختبرات شركة غاز الشمال ويحتوي الجهاز على ثلاثة أقراص وذلك لغرض معايرتها مع العينات التي يتم قياس صلادتها . وتم قياس صلادة روكويل لجميع العينات وأخذ ثلاثة قراءات لكل عينة ومن ثم اعتماد المتوسط كرقم صلادة روكويل.

اختبار الصدم:

تم اختيار جهاز الصدم (SHIMAD2U) ان قيمة الطاقة التي يحملها البندول (المطرقة) قبل حدوث التصادم هي (163J) وسرعته تتراوح بين (3-4mls) ، وطول الذراع (L=0.75m) وزاوية الرفع (^{o}141.5) ووزن الثقل (26.17Kg) وهي مقتبسة من مواصفات التقييس البريطاني BS131.part 1.96J [3] .

تم ألاختبار بواسطة تثبيت النموذج (العينة) في مكانها على الجهاز في وضع أفقي مستعرض بحيث يكون الحز عكس اتجاه سقوط البندول عند الصدم ويسمى هذا باختبار شاربي والسبب في هذا هو إيجاد منطقة تتمركز فيها الإجهاد وتكون مكانا للكسر . وتم تحديد مساحة مقطع العينة في منطقة الكسر (الحز) قبل إجراء الاختبار وهي تساوي $(80mm)^2$ الأخرى . وتم قراءة زاوية ،ثم تم إيجاد رقم مقاومة الصدمة حسب القانون التالي[10] :-

$$\sigma_k = \frac{W.L\,(\cos B - \cos \alpha)}{A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث : σ_k = رقم مقاومة الصدم وتقاس $kg.m / cm^2$ A = مسافة مقطع العينة

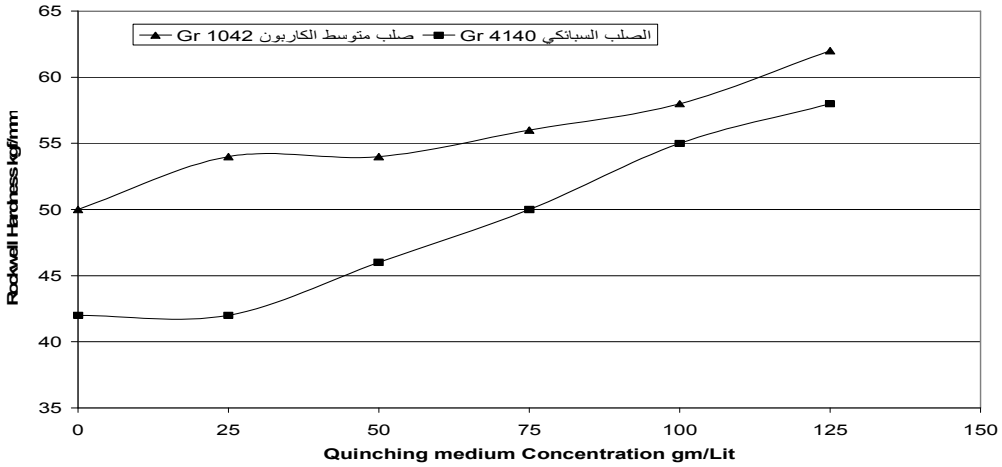
α = زاوية الرفع وتساوي ^{o}141.5 L = طزل ذراع البندول

β = زاوية الارتداد بعد التصادم W = وزن المطرقة

النتائج والمناقشة:

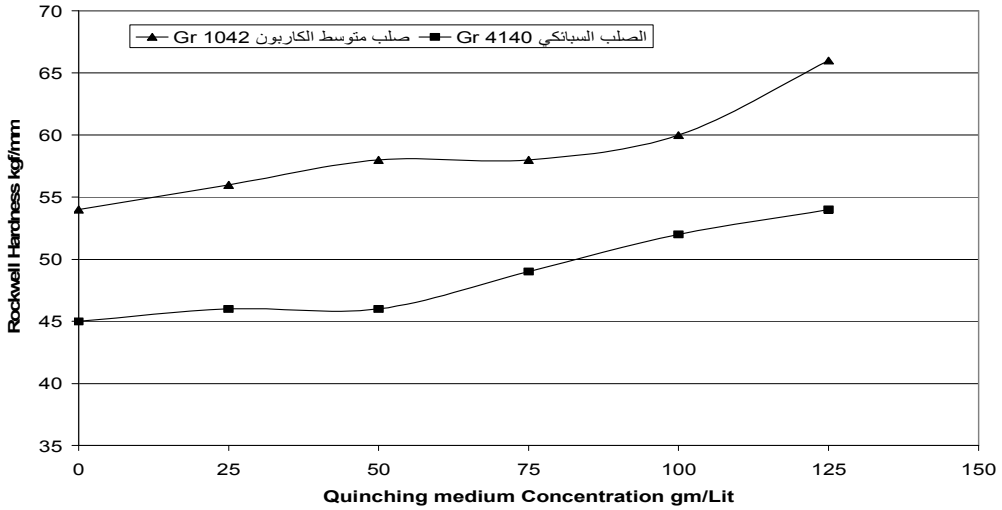
يوضح الشكل(3) قيمة الصلادة الروكويلية للصلب الكربوني المتوسط(1042) Gr والصلب ألسبائكي (Gr4140) بعد إجراء عملية التقسية في محلول السماد النايتروجيني وفي وسط تقسية ساكن و بتراكيز مختلفة ويلاحظ من النتائج المستحصلة بأن صلادة الصلب الكربوني المتوسط تزداد عند زيادة تركيز المحلول النايتروجيني وبشكل

طردي حيث نجـد إن الصلادة يـصبح (62HRC) عنـدما يكـون تركيـز الـسماد النـايتروجيني (125gm/lit) وتصبح(58 HRC) بالنسبة للصلب ألسبائكي .



الشكل (3) العلاقة بين الصلادة الروكويلية وتركيز المحلول النيتروجيني للصلب ألسبائكي والصلب متوسط الكاربون في وسط ساكن

وكذلك نلاحظ زيادة الصلادة لكلا المعدنين المستخدمين في البحث مع زيادة تركيز السماد النايتروجيني عنـد اسـتخدام وسط تقسية متحرك وكما في الشكل رقم(4).

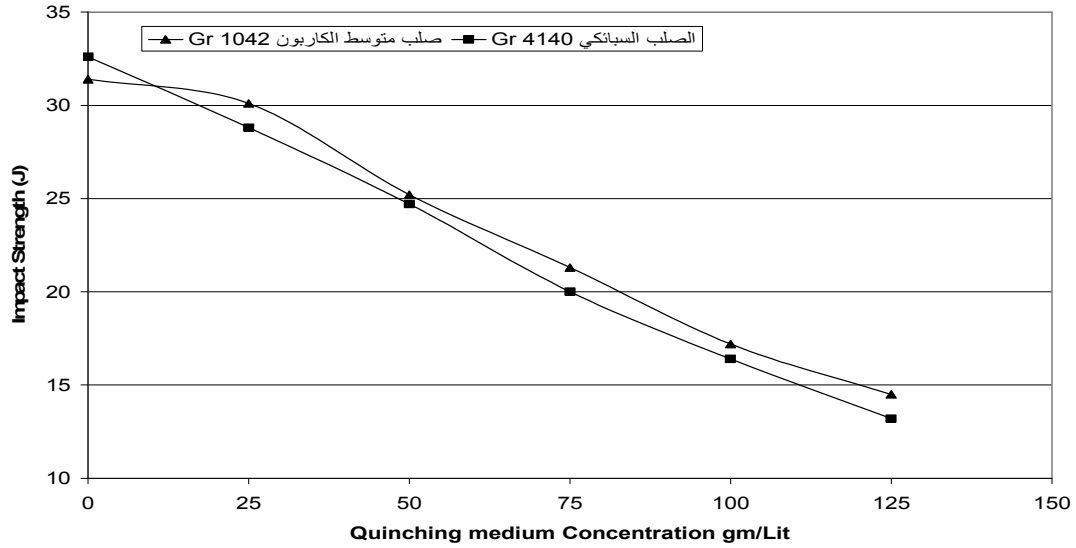


الشكل (4) العلاقة بين الصلادة الروكويلية وتركيز المحلول النيتروجيني للصلب ألسبائكي والصلب متوسط الكاربون في وسط متحرك

ويعزى سبب ذلك الى ان طبقة البخار أو قلم البخـار الذي يفصـل السائل عـن المعـدن في المرحلة الأولـى مـن التبريد والتي تتكون في درجـات الحرارة العاليـة تؤدي إلى انتقال الحرارة من المعدن إلى الـسائل عـن طريـق الإشعاع والتوصيل وهاتين ألطريقتين غير كفئتين في نقل الحرارة ويستمر لفترة طويلة نسبيا أي لمـدى واسـع مـن درجـات الحرارة العالية ، فيعمل ذلك عـلى تقليل معـدل التبريد في مدى التحـول بالانتشار للأوستنايت ويؤدي إلى وجود بعض بلورات الفرايت في البنية المجهرية للصلب الكربوني المتوسط Grl042 إن استخدام المحلول النايتروجيني كوسط تقسية يؤدي إلى انخفاض معدل التبريد في مدى التحولات المارتنسـاينية ممـا يؤدي إلى تقليـل الأجهـادات

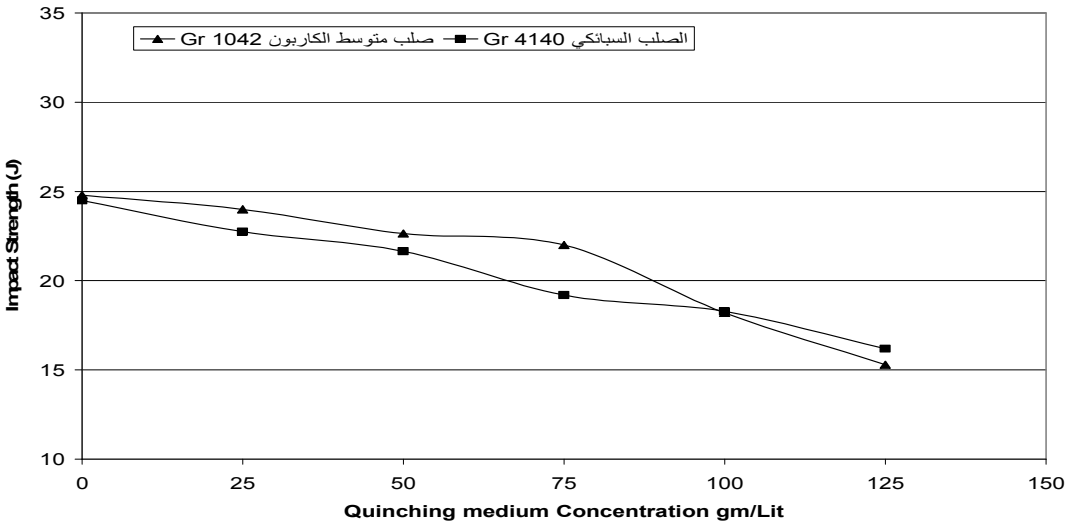
الحرارية التي تحصل أثناء التقسية وتقليل احتمالية حدوث التشققات حيث يتصف هـذا الوسط بمعـدل تبريد عـالي في مـدى التحولات الانتشارية وذلك لتفادي تحول أي جزء من الأوستنايت إلى بيرلايت بأشـكاله المختلفـة ومعـدل تبريد واطئ نسبياً في مـدى التحولات المارتزايتية وذلك لتفادي حصول الأجهـادات والتشققات.[8]. ومن المعـروف إن المـاء عنـد استعمـاله كوسط تقسـية لا يوفر الشرط الثاني حيث يكون معـدل التبريد عـالي جدا في درجـات الحرارة العالية وأيضا يبرد بمعدل تبريد سريع أو عـالي في درجـات حرارة التحـول إلى المارتنسايت حيث لايكون استخدامه جيدا عند تقسية الصلب الكربوني المتوسط Gr 1042 وقد يفيد في تقسية الصلب ألـسبائكي بـسبب وجـود العناصر السبائكية التي يقلل من احتمالية تعرض الصلب إلى التصدع أو التشققات بسبب التبريد السريع[7].

والشكل رقم (5) يوضح العلاقة بين تركيـز المحلـول النـايتروجيني ومقاومـة الـصدمـة للـصلب الكربـوني المتوسـطGr1042 حيث تنخفض وتصبح(14.5 J) عنـد أعلى تركيز للمحلول النايتروجيني بينما تـصبح مقاومـة الصدمة للصلب ألسبائكيGr 4140 (13.2J) المستخدم في هذا البحث عند استخدام وسط تقسية ساكن.



الشكل (5)العلاقة بين مقاومة الصدمة وتركيز المحلول النيتروجيني للصلب ألسبائكي وصلب متوسط الكاربون في وسط ساكن

بينما في الشكل رقم(٦) نلاحظ بان مقاومة الصدمة لكلا المعدنين المستخدمين في البحث تقل بـشكل واضـح عنـد استخدام وسط تقسية متحـرك لكـي تـصبح (15.3 J)للـصلب متوسـط الكـاربونGr 1042 و (16.2 J)للـصلب السبائكيGr4140.



الشكل (٦)العلاقة بين مقاومة الصدمة وتركيز المحلول النيتروجيني للصلب السبائكي وصلب متوسط الكاربون في وسط متحرك

إن قابليـــة التصـــليد للصلب الكربوني المتوســـط يعتمـــد بشـــكل أســـاسي عـــلى كمية الكربون التـــي تـــذوب فـــي الارســـتينايت بعـــد الوصول الى درجـــة حرارة التحـــول ألطوري للأرســـتينايت وفترة التجانس.[6].

لذلك يجب أن يكون معـــدل التبريد المســـتخدم في التقسية أكبر من معـــدل التبريد الحرج حتى يكون مـــن المـــستطاع تبريد الصلب إلى درجـــة حرارة MS (درجة حرارة بداية تكوين المارتنسايت) ويكون تركيـــب الـــصلب المقـــسى عبارة عن صفائح المارتنزايت.

إن إضافة السماد النايتروجيني إلى المـــاء تزيد إلى درجة كبيرة قابلية تبريد المـــاء في درجات الحرارة العاليـــة ، وقد يؤدي ذلك إلى عـــدم تكون قلم البخـــار أو تكونه لفترة قصيرة جدا .ويعود سبب ذلك إلى خفض درجة حرارة ســـطح المعـــدن إلى الحد الذي يفقد البخـــار استقراريته فيتحطم بسبب سقوط واندفاع دقائق السماد النايتروجيني مـــن عـــلى سطح المعـــدن مبتعدة عنه فتحطم فلم البخـــار [9].

ان عناصر التسبيك تقســـم إلى قسمين حسب طريقـــة تفاعلهـــا مع الكربون في الصلب ألسبائكي.

1- العناصر التي لا تكون الكاربيد مثل P و Si حيث تكون الكاربيدات داخل الصلب ألسبائكي خاليا من هذه العناصر وتتواجد هذه العناصر في الأرضية (Matrix) ، والكربون هـــو العنصر الأكثر أهمية في عملية التصليد أو التقسية في جميع أنواع الصلب وتأثير التقسية للكربون يكون بشكل تكوين المحلول الجامد أو التقوية بالترســـيب للكاربيـــد، لـــذلك كلمـــا تزداد نسبة الكربون في الصلب فـــأن مقاومة الصلب تزداد والمطيلية تقل [10] .

2- العناصر المكونة للكاربيد مثل Mn ، Cr ، Mo حيث تذهب هذه العناصر إلى تكوين محلول جامد في السمنتايت عند التراكيز المنخفضة أما عند التراكيز العالية فأنهـــا تكون كاربيدات سبائكية أكثر استقراراً ، والمنغنيز فقط يـــذوب في السمنتايت .وإن أهمية الصلب الكربوني المتوسط والسبائكي المستخدمين في هذا البحث تكمن في قابليته على تغيير خواصه الميكانيكية عندما يتعرض إلى معاملة حرارية مسيطر عليها . وبالنسبة للصلب الكربوني المتوسط فانه يمكـــن زيادة صلادته وذلك بتغيير معدل التبريد للصلب من درجة حرارة الاوستنايت من أقصى معدل تبريد إلى اقل معـــدل تبريد[9].

تمتلك الأجزاء المقســـاة صلادة عـــالية مع مقاومة صدمة مقبولة لتجنب الهشاشة ، لذلك فـــأن إمكانية الاحتفاظ بمتانة مقبولة مع زيادة الصلادة للأجزاء المقســـاة عند استخدام محلول الســـماد النايتروجيني يعتبر من أهـــم مزايا اســـتخدام هـــذا المحلول ، حيث يحقق شروط تشغيلية أعـــلى للمعدن المقسى .

<u>الاستنتاجات:</u>

1- إن استخدام محلول السماد النايتروجيني كوسط تقسية أدى إلى زيادة الصلادة الروكويلية للصلب المتوسط الكربون والصلب ألسبائكي ، وتزداد قيمة الصلادة لكلا المعدنين مع ازدياد تركيز السماد النايتروجيني مع الاحتفاظ بمقاومة صدمة مقبولة.

2- إن إضافة السماد النايتروجيني إلى الماء تزيد والى حد كبير قابلية تبريد الماء في درجات الحرارة العالية ، أي إن هذا الوسط يمتاز بمعدل تبريد عالي في مدى التحولات الانتشارية وهذا يضمن عدم تحول أي جزء من الاوستنايت إلى بيرلايت بأشكاله المختلفة.

3- إن استخدام محلول السماد النايتروجيني كوسط تقسية يؤدي إلى انخفاض معدل التبريد في مدى التحولات المارتنزايتية مما يؤدي إلى تقليل الاجهادات الحرارية التي تحصل أثناء التقسية وتقليل احتمالية حدوث التشققات.

References:

١-Bernshtein, M. L. and Richshtadt, A.G. (Eds.) "*Physical Metallurgy and Thermal Treatment of Steels*", Handbook, Vols. I, II, and III, 3rd issue, Metallurgiya, Moscow, 2002

2-Metals Handbook, 9th ed., Vol. 1, *ASM International, Metals Park*, OH, , pp. 473–474, 2000

3-ASM Handbook, 9th ed., Vol. 4," Heat Treating", *ASM International, Metals Park*, OH, , p. 287, 1991

4-W.Hewit" *An examination of the relation between quench-hardening behavior of steel and cooling curve in oil*" Trans. ISIJ 18:445–450 (1986).

5- D.K.Benson "*Air Hardening of Steel*", 2nd ed., Butterworth's, London, 2001

6-E.S. Davenport" *Heat treatment of steel by direct transformation from austenite*" Steel, 29: (1990).

7-M.A. Grossmann, M. Asimov, and S.F. Urban "*Hardenability its relation to quenching and some quantitative data, Hardenability of Alloy Steels*" ASM International, Cleveland, OH, 2003

8-C.F. Jatczak"*Hardenability in medium carbon steel*" Metal.Trans. 4:2267–2277 (1999).

9- د. عدنان نعمة. رائد كاظم. احمد قاسم "*معايرة محلول الكليسرول المستخدم كوسط تقسية*" مجلة التقني،العدد 1 ،العراق ، 2004.

10- الراوي د.عويد ، خضر د. عبدا لرزاق "*المعاملات الحرارية للمعادن الحديدية واللاحديدية*" الجامعة التكنولوجية،العراق،1989، 82-96 .