

ISSN: 1813-162X (Print) ; 2312-7589 (Online)

Tikrit Journal of Engineering Sciences

available online at: <http://www.tj-es.com>
**TJES**  
 Tikrit Journal of  
 Engineering Sciences

Nadhmi Ibraheem Nasar \*

 Mechanical Department  
 Dour-Institute Technical  
 Northern Technical University  
 Iraq

## Effect of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Stainless Steel 304

### ABSTRACT

Stainless steel is widely used in the engineering industry for its suitable engineering properties such as corrosion resistance, high flexibility, hardness and durability to static and dynamic loads. It is very suitable for home uses, automotive parts and many engineering applications. In this study, a sample of 304 stainless steel was selected, where a heat treatment (Normalizing) was performed. This process was performed at (1050, 1100 and 1150) °C respectively and according to (ASTM 304 S30400). And Tempering at 350 °C to remove the internal stresses and prevent the deposition of carbides, which occurs at the degree of (450-800) °C for stainless steel. Mechanical tests were conducted, the tensile and Brinell hardness tests. In addition to the test of the fatigue, wear and Izod impact tests. X-ray diffraction (XRD) analysis was used to distinguish the phase (s) that formed. The results showed in general that the heat treatments lead to the improvement of mechanical properties except the impact test, the best cases has been at 1100 °C temperature.

#### Keywords:

 Heat treatment  
 mechanical tests  
 stainless steel 304  
 tempering

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

 Received 09 March 2016  
 Accepted 22 March 2016  
 Available online 01 December 2017

© 2017 TJES, College of Engineering, Tikrit University

DOI: <http://dx.doi.org/10.25130/tjes.24.4.07>

### تأثير المعالجات الحرارية على الخواص الميكانيكية للصلب المقاوم للصدأ 304

#### الخلاصة

يحظى الصلب المقاوم للصدأ باستخدامات واسعة في الصناعات الهندسية لما يمتاز به من خواص هندسية مناسبة مثل مقاومة التآكل والمرونة العالية والصلادة وقابليته على تحمل الأحمال الستاتيكية والديناميكية، فهو مناسب جدا في الاستخدامات المنزلية وفي صناعة بعض أجزاء السيارات وفي كثير من التطبيقات الهندسية. في هذا البحث تم اختيار نموذج من الصلب المقاوم للصدأ نوع 304 حيث أجريت له معالجة حرارية (المعادلة) (Normalizing) حيث تمت هذه العملية عند درجات الحرارة (1050, 1100, 1150) °C على التوالي وحسب المواصفات القياسية (ASTM 304 S30400) بعد ذلك أجريت عملية مراجعة (Tempering) عند درجة حرارة 350 °C وذلك لإزالة الإجهادات الداخلية وللمنع ترسيب الكاربيدات الذي يحدث عند درجة (450-800) °C للفولاذ المقاوم للصدأ، كما تم إجراء الاختبارات الميكانيكية وهي اختبار الشد والصلادة بطريقة برينل بالإضافة إلى اختبار الكلال واختبار البلي واختبار الصدمة بطريقة إيزود. كما تم اخضاع العينات للفحص بطريقة حيود الأشعة السينية (XRD) للتعرف على الأطوار المتكونة وقد أظهرت النتائج في العموم بان المعالجات الحرارية تؤدي إلى تحسين الخواص الميكانيكية باستثناء اختبار الصدمة وقد ظهرت أفضل الحالات عند درجة حرارة 1100 °C.

التغيرات التي تحصل في البنية الداخلية والتي تتم في الحالة الصلبة يمكن تطبيق المعالجات الحرارية على الصلب المقاوم للصدأ ليس فقط بهدف زيادة الصلادة بل أيضا لتحسين المتانة والمرونة والمطيلية، تعتمد الخواص الميكانيكية على البنية المجهرية التي تظهر أثناء التحولات والتغيرات الطورية التي تحدث أثناء المعالجات الحرارية [1] وتتحكم نسبة الكربون تحكما كبيرا في الخصائص الميكانيكية وفي نوع المعالجة الحرارية التي يمكن استخدامها ويمكن تصنيف المعالجات الحرارية على النحو التالي [2]:

#### 1. المقدمة

المعالجات الحرارية او المعالجات الحرارية هي عبارة عن عمليات تسخين تجري عادة على المعادن لمختلفة وابقائها عند درجة حرارة ثابتة لفترة زمنية مناسبة تعتمد على سمك النموذج لإحداث تغيير في البنية الداخلية يتبعه تغيير في الخواص الطبيعية والميكانيكية لهذه المعادن، وبذلك يمكن تقسية المعادن المختلفة. حيث اكتسبت سبائك الصلب الكربوني بالإضافة إلى الصلب السبائكي والصلب المقاوم للصدأ أهمية فائقة حيث تعد من السبائك الهندسية القليلة التي يتم معالجتها حراريا للإفادة من تغيير خواصها الميكانيكية وذلك بسبب

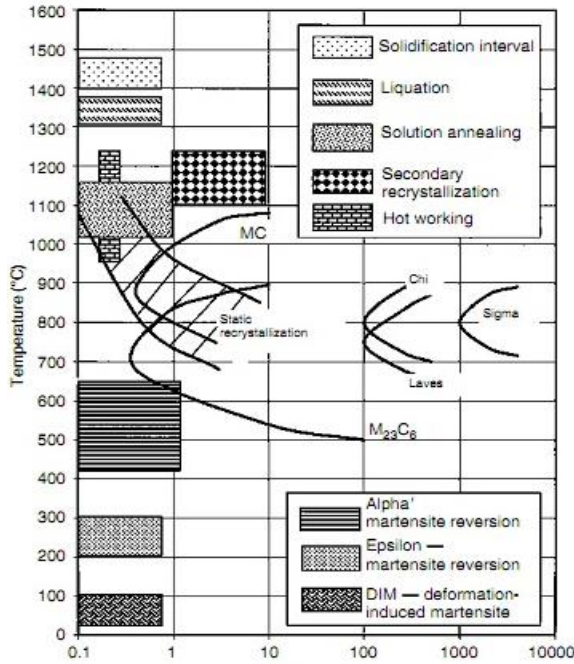
### 3. هدف البحث

يهدف البحث الى ايجاد معاملة حرارية الغرض منها تحسين الخواص الميكانيكية للصلب المقاوم للصدأ نوع (304) دون المساس بالخواص الاساسية للصلب المقاوم للصدأ والتي هي مقاومة التآكل بالإضافة الى معرفة نوع المعالجة الحرارية المطلوبة ودرجة الحرارة المثالية اللازمة لإجراء مثل هذه المعالجة.

### 4. الجزء النظري

#### 1.4 البنية الداخلية للصلب المقاوم للصدأ

ان البنية الداخلية للصلب المقاوم للصدأ تكون كبيرة الحجم ويرجع ذلك الى معدلات التبريد البطيئة لذلك فان السبيكة التي تحتوي على نسبة كربون (0.08) يبدأ التجمد فيها بحدود 1510<sup>0</sup>م ويكتمل في حدود 1498<sup>0</sup>م لذلك نلجأ الى المعالجات الحرارية لغرض تصغير حجم الحبيبات الامر الذي يؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية. أن أفضل المعالجات الحرارية ملائمة للصلب المقاوم للصدأ الأوستنايتي هي التسخين ببطء الى درجة حرارة (50-100)<sup>0</sup>م درجة مئوية فوق درجة الحرارة الحرجة العليا (A<sub>3</sub>) ان التسخين الزائد لفترة طويلة داخل مجال الأوستنايت يؤدي الى نمو واضح لحبيبات الأوستنايت المتكونة حديثاً مما يؤدي الى تكوين بنية سيئة ولذلك يجب ان لا يتعدى التسخين الدرجة المطلوبة [4].



شكل 1: المعالجة الحرارية الرئيسية والتحويلات التي تحدث في الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي بين درجة حرارة الغرفة والحالة السائلة.

عند تبريد سبيكة معينة فجائياً فان ذلك يمنع حدوث تحولات في البنية الداخلية لذلك غالباً ما يصبح بالإمكان حبس البنية الداخلية للمعدن كما هو عند درجة الحرارة العالية والاحتفاظ بها حتى درجة حرارة الغرفة. ان وجود العناصر السبائكية مثل النيكل والكروم المنغنيز سيساعد في الزيادة من درجة الحرارة (T<sub>4</sub>) (درجة الحرارة الحرجة العليا) وتقليل درجة الحرارة (T<sub>3</sub>) (درجة الحرارة الحرجة السفلى) الامر الذي سيساهم في زيادة الاستقرار لطور الأوستنايت [5] الامر الذي يؤدي الى تكوين ما يسمى بحلقة كما المغلقة [6].

### 1.1 التخمير (Annealing)

تمتاز البنية المجهرية للصلب المقاوم للصدأ بكون حجم البلورات (Grain) عن حجمها الاصلي بفعل نمو هذه البلورات (Grain Growth) والذي يحدث نتيجة التسخين الى درجة اعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا على ان يعقب ذلك تبريد بطيء جداً وذلك بان تترك المادة داخل الفرن الى ان تصل الى درجة حرارة الغرفة. ان هذه العملية لا تؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية بالنسبة للصلب المقاوم للصدأ بسبب ترسب الكاربيدات الذي يحدث عند درجة حرارة (400-800)<sup>0</sup>م ولذلك تم استبعادها في بحثنا هذا.

### 2.1 المعادلة (Normalizing)

يتم تسخين الصلب المقاوم للصدأ الى درجة حرارة اعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا والبقاء عند هذه الدرجة لفترة مناسبة ومن ثم التبريد بالهواء بصورة مباشرة ان هذه العملية تؤدي الى تصغير في حجم البلورات وازدياد عدد هذه البلورات إذا ما قورنت بالأعداد التي يتم الحصول عليها أثناء عملية التخمير ويعود ذلك الى تأثير معدل التبريد على حجم الحبيبات حيث انه كلما ازدادت سرعة التبريد كلما ازداد عدد الحبيبات بسبب صغر حجمها الامر الذي يؤدي بالتالي الى زيادة حدود الحبيبات وبالتالي زيادة الصلادة.

### 3.1 التقسية (Quenching)

تسخين الصلب المقاوم للصدأ الى درجة حرارة اعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا ومن ثم يبرد بالماء او الزيت او أي سائل مناسب اخر حيث يكون الناتج محلول احادي الطور يتكون من كاربيدات معقدة مثل كاربيد الكروم و كاربيد الحديد و كاربيد المنغنيز ان ذلك يؤدي الى تكوين محلول فوق الاشباع (Supersaturated) اذ تكون ذرات الكربون الزائدة عن حد الاشباع ذائبة داخل المحلول بالتغلغل بفعل معدل التبريد السريع مما يجعل البنية البلورية ذات شكل موثور متمركز الجسم (BCT) [3].

### 4.1 المراجعة (Tempering)

التسخين الى درجة اقل من درجة الحرارة الحرجة السفلى وقيل إعادة تكون الأوستنايت للسماح بإعادة الانتشار مرة اخرى. يتناول هذا البحث المعالجات الحرارية لنوع من الصلب هو الصلب المقاوم للصدأ نوع 304 وهي المعادلة حيث تتم بالتسخين الى درجة حرارة فوق درجة الحرارة الحرجة العليا والبقاء عند هذه الدرجة لفترة زمنية محددة، ومن ثم التبريد بالهواء بعد ذلك تجري عملية المراجعة عند درجة حرارة 350<sup>0</sup>م درجة مئوية لغرض ازالة الاجهادات الداخلية تهدف المعالجات الحرارية الى تغيير الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمعدن حيث ان وجود الصلب المقاوم للصدأ طرئاً على سبيل المثال فانه لا يتحمل الاجهادات ولا يقاوم البلى بالاحتكاك. تم استخدام عملية المعادلة ومن ثم المراجعة وقد تم استبعاد عملية التخمير والتقسية وذلك لان الإضافات السبائكية الموجودة في الصلب المقاوم للصدأ تؤدي الى ترسب الكاربيدات حيث وجود الكروم بهذه النسبة يسبب ترسب كاربيد الكروم الذي يزيد الصلادة ويجعل من الصلب المقاوم للصدأ مادة هشّة كما ان استخدام التقسية يؤدي إلى نشوء تشوهات تقلل من الخواص الميكانيكية.

### 2. مشكلة البحث

تكمن مشكلة البحث في السؤال التالي: هل يمكن إجراء معالجة حرارية للصلب المقاوم للصدأ لغرض منها تحسين الخواص الميكانيكية والتخلص من الهشاشة الناتجة عن ترسب الكاربيدات مع الاحتفاظ بالخواص الاساسية للصلب المقاوم للصدأ وهي مقاومة التآكل.

الحراري. عرف الصلب المقاوم للصدأ لأول مرة من قبل العالم بريلي في العام 1912 حيث استطاع الحصول على سبيكة تحتوي على (12-13%) كروم لا تصدأ في الجو وفي أوساط أخرى وقد استعملت لصناعة أدوات المائدة ومنذ ذلك الحين وحتى الآن ظهرت أنواعا عديدة خصوصا تلك التي تتطلب مقاومة عالية للتآكل بسبب وجود وسط قاس مساعد على التآكل مثل الأوساط الموجودة في الصناعات الكيماوية والبتروولية [8].

ان الوظيفة الاساسية للكروم عند اضافته للصلب الكربوني هو زيادة الصلادة، وترجع الزيادة في الصلادة اساسا الى خاصية الكروم كمثبت للكربيدات الصلدة حيث يتكون كربيد الكروم ( $Cr_3C_2$ ) او ( $Cr_{23}C_6$ ) كنتيجة لتفاعل الكروم مع الكربون عند درجات الحرارة العالية أكثر من  $1000^{\circ}C$  بالإضافة الى ذلك فان الطبقة الواقية التي تنشأ على السطح الخارجي والتي تكون متماسكة جدا تكون كفيلا بعدم تفاعل المادة مع المحيط الخارجي مما يؤدي الى تكون طبقة واقية تحمي السبيكة من التآكل [9].

### 3.4 تأثير وجود العناصر السبائكية

#### المنغنيز

اذا وجد المنغنيز بنسبة تزيد على (1%) فانه يعتبر عنصر سبائكي حيث ان زيادة نسبة المنغنيز في الصلب المقاوم للصدأ على حساب الكربون فانه يعمل على زيادة المطيلية ومقاومة الصدمات بعد المعادلة وبعد المعالجة الحرارية حيث يمكن خفض قابلية الصلب المقاوم للصدأ للكسر الهش كما يقوم المنغنيز على تثبيت الكاربيدات ويكون هو نفسه ( $Mn_3C$ ) وهو يقوي الفرايت ويزيد من عمق التصليد (التقسية) للصلب المقاوم للصدأ.

#### النتروجين

وهو عنصر يدخل خارج السيطرة الا ان وجود النتروجين بنسبة تزيد على (0.02%) يؤدي الى تكوين المركب الهش ( $Fe_3N$ ) حيث يكون من الصعب منع النتروجين من التغلغل للمعدن المنصهر بسبب تعرض الاخير للجو الخارجي عند الصب

#### الكربون

تؤثر نسبة الكربون تأثيرا مباشرا على الخواص الميكانيكية للصلب المقاوم للصدأ بالإضافة الى انها تتحكم في نوع عملية المعالجة الحرارية التي يتطلب اجرائها على الصلب المقاوم للصدأ.

#### الفسفور

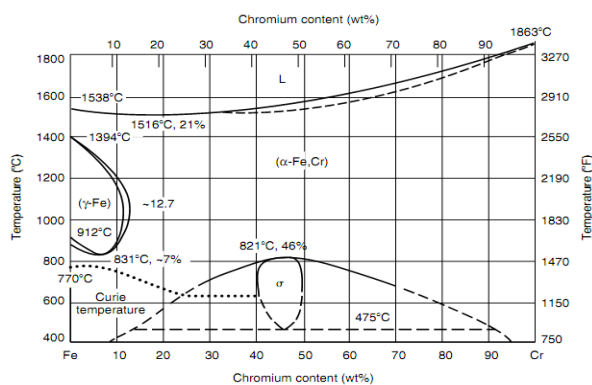
ويعتبر من الشوائب ويكون وجوده في هذه النسبة (0.045) بدون تأثير ولكن إذا ما تواجد بكمية أكبر فانه يكون الفوسفيد الهش ( $Fe_3P$ ) الذي يذوب في المحلول وبذلك فان وجوده يزيد من عمق التقسية

#### الكروم

يذهب معظم انتاج الكروم الى صناعة الصلب السبائكي والطلاء الكهربائي حيث يساعد الكروم على زيادة الصلادة كما يساهم الكروم على خفض درجة الحرارة ( $A_4$ ) (درجة الحرارة الحرجة العليا) ويرفع من درجة الحرارة ( $A_3$ ) (درجة الحرارة الحرجة السفلى)، كما يزيد الكروم من عمق التقسية، واهم عيوبه هو تأثيره في المساعدة على نمو الحبيبات وما يصاحب ذلك من انخفاض المتانة. لذلك فانه يلزم الحذر اثناء اجراء المعالجة الحرارية وتفادي زيادة التسخين اثناء الجراء عملية المعالجة [10].

#### النيكل

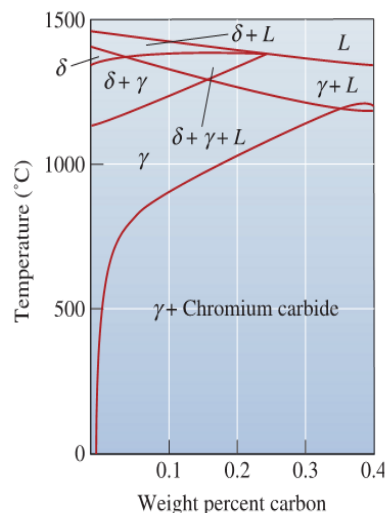
ان اضافة النيكل يؤدي من تقليل الاضرار التي يسببها اضافة الكروم وهي نمو الحبيبات كما ان من مساوئ النيكل هو المساعدة على تكوين الكرافيت التي يساعد الكروم على التقليل منها لذلك يجب دائما اضافة العنصرين معا وذلك للحصول على زيادة المقاومة ضد التآكل



شكل 2: تكون حلقة كما المغلفة في مخطط الاتزان الحراري للحديد والكروم.

### 2.4 تكون الكاربيدات

ان وجود الكروم والمنغنيز يساعد على تكوين الكاربيدات حيث تعتبر هذه الكاربيدات اصلد من كربيد الحديد في حالة تكونه كما انها اذا وجدت بوجود عناصر اخرى فانه ستتكون كاربيدات معقدة كما ان وجود النيكل في الحديد يساهم في ترسب الكرافيت بصورة مستقلة الامر الذي يؤدي الى نقصان في الخواص الميكانيكية، الا ان وجود الكربون بهذه النسبة القليلة لن يساعد على تكون الكرافيت بصورة مستقلة.



شكل 3: تكون الكاربيدات.

### 3.4 الصلب المقاوم للصدأ

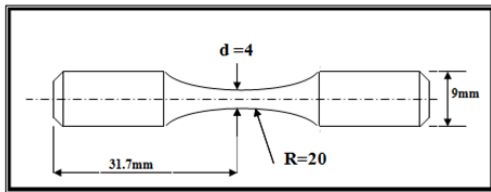
هو سبيكة معدنية تحتوي على خليط من العناصر. يكون الحديد العنصر الاساسي فيها بالإضافة الى عناصر اخرى مثل الكربون بنسبة لا تزيد عن 2.1% ونسبة الكروم لا تتجاوز 30%، بالإضافة الى بعض العناصر التي تمثل حوالي 8.5% مثل النيكل والموليبدنيوم لتحسين خواصه. وتكتسب مقاومتها للصدأ والتآكل بسبب تكوين طبقة رقيقة متماسكة وغير مرئية من أوكسيد الكروم تلتصق بسطح المعدن وتقيه من التآكل، وتكون هذه الطبقة واقية بدرجة كافية كلما كانت نسبة الكروم في الفولاذ عالية [7]. غالبا ما يصنف الصلب المقاوم للصدأ وفقا للبنية المجهرية الى خمسة اصناف وهي الصلب المقاوم للصدأ الاوستنايتي (Austenitic) والفرايتي (Ferritic) والمارتنسايطي (Martensitic) والدولكس ستيلس ستييل (Duplex stainless steel) (اوستنايتي وفرايتي) اضافة الى الصلب المقاوم للصدأ المصلد بطريقة التعتيق (Precipitation-Hardenable) (PH). كما يمتاز الصلب المقاوم للصدأ الاوستنايتي بانخفاض الموصلية الحرارية وبتأثيره على معامل التمدد

خاصة باختبار البلى وعينات خاصة باختبار الكلال وتم إجراء اختبار الشد والكلال والصلادة والصدمة وكما في الصور المرفقة.

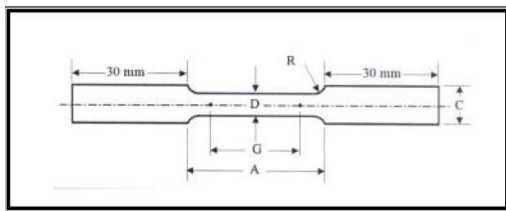
### جدول 1

تحليل التركيب الكيميائي لجميع العناصر الكيميائية المكونة لجميع عينات الصلب المقاوم للصدأ.

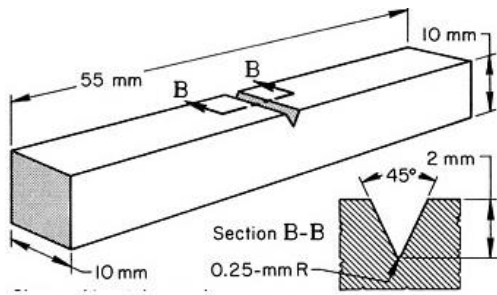
| Iron304    | Balance |
|------------|---------|
| Nitrogen   | 0.10    |
| Nicke      | 10.00   |
| Chromium   | 19.00   |
| Silicon    | 0.75    |
| Sulfur     | 0.020   |
| Phosphorus | 0.045   |
| Manganese  | 1.5     |
| Carbon     | 0.08    |



الشكل 4: عينة اختبار الكلال.



الشكل 5: عينة اختبار الشد حسب المواصفة (DIN50125) والأبعاد بالمليمترات.



$G = 30 \pm 0.1$ ,  $A = 36$  mm,  $D = 6$  mm,  $C = 10$  mm,  $R = 6$  mm,  $L = 100$  mm

الشكل 6: شكل عينة قياسية لاختبار الصدم أيزود وحسب (ASTM E 23).

### 4.6 الفحص المجهرى

تم إجراء الفحص المجهرى للعينات بعد ان اجريت لها عمليات الاسناد (mounting) والتجليخ (grinding) ومن ثم صقل العينات (polishing) بوجود محلول الالومينا  $Al_2O_3$  وبدقة  $(0.6 \mu)$  ثم نظفت بالماء والكحول وجففت وصولاً للانتقال الى مرحلة الاظهار حيث صورت بقوة تكبير (400 X) لمعرفة التركيب الدقيق وكانت النتائج كما في الاشكال 9-12 التالية.

واعاقه التحول (Retardation of transformation) اثناء المعالجات الحرارية [11].

### 5. الدراسات السابقة

درس كيون توك وزملائه [12]، تأثير المعالجات الحرارية على البنية المجهرية والخصائص الميكانيكية للصلب المقاوم للصدأ واستخلص بان المعالجات الحرارية تؤدي الى احداث تغيير في البنية المجهرية اضافة الى انها تؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية للصلب المقاوم للصدأ. كما درس نادبان سثيدي وزملاءه [13] تأثير دورة المعالجات الحرارية على قابلية التشغيل للحديد المطاوع واستخلصا بان المعالجات الحرارية تؤدي الى تحسين قابلية التشغيل لدى الحديد المطاوع. درس بشير وآخرون [14] تأثير المعالجات الحرارية على مقاومة تآكل الصلب متوسط الكربون لدى تعرضه لمياه عين كبريت واستنتجوا بان أفضل مقاومة تآكل هي للصلب المعامل بطريقة التخمير. كما درست نيفين الوندواي [15] تأثير المعالجات الحرارية الجزئية على الخواص الميكانيكية لصلب العدة عالي الكربون المستخدم في صناعة الاجزاء الفعالة لقوالب القطع على البارد حيث تم اجراء معاملة حرارية للاجزاء الفعالة (جزئى القالب العلوي والسفلي) لقوالب القطع والقوالب المرحلية حيث تم ملاحظة زيادة عمر الاجزاء المذكورة وزيادة مقاومتها للكسر تحت ظروف العمل المختلفة. درس امين دواي تامر [16] تأثير المعالجات الحرارية على الخواص الميكانيكية والكلال لفولاذ عند درجة حرارة ( ) واستنتج بان المعالجات الحرارية تؤدي الى تحسين الخواص الميكانيكية والكلال.

### 6. الجزء العملي

لدى تشكيل المعادن على البارد فان الكثير من الخواص سوف تتغير، على سبيل المثال فان الصلادة ومقاومة الشد تزدادان، بينما تنخفض المطيلية والمتانة وكذلك يترك التشكيل على البارد أثرا واضحة في البنية المجهرية، مثل استطالة البلورات وتشوهها وخطوط الانزلاق وأشربة التوائم، فالمعدن الذي تجرى عليه عمليات تشكيل على البارد يحصل فيه تشويه ويكون في حالة غير مستقرة لاحتوائه على طاقة مخزونة، يحاول المعدن التخلص من طاقة التشويه والعودة إلى حالة الاستقرار بمعدل بطى جدا ولكن عند رفع درجة الحرارة فان المعدن يتخلص من التشويه والطاقة المخزونة بوقت قصير، فرفع درجة الحرارة يؤدي إلى تسريع عملية التخلص من الطاقة المخزونة وذلك عن طريق زيادة الطاقة الحركية للذرات [17]. في الجانب العملي استخدمت سبيكة من الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنايتي نوع 304 حيث تم تصنيع 20 عينة أجريت على 16 منها المعالجات الحرارية اللازمة بواقع أربعة عينات لكل اختبار فيما تم الإبقاء على عينة من كل نوع دون معاملة وذلك لمقارنة النتائج.

### 1.6 تحليل النسب الوزنية

جرى تحليل النسب الوزنية للعينات بواسطة الجهاز (X-RAY) نوع SPECTRO X SORT في المعهد المتخصص للصناعات الهندسية التابع لوزارة الصناعة والمعادن في بغداد وكانت النسب كما في الجدول 1.

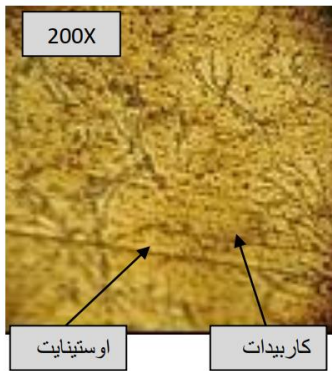
### 2.6 فحص XRD

فحصت جميع العينات بجهاز حيود الاشعة السينية من نوع (Shimadzu 6000) باستخدام حزمة أحادية اللون من طيف النحاس ذات الطول الموجي (0.15406) عند التشغيل بفولتية (40KV) وتيار (30mA) وسرعة المسح (0.02 dig/s) وضمن المدى الزاوي  $(2\theta = 20^{\circ} - 80^{\circ})$

### 3.6 تحضير العينات

تمت هذه الدراسة باستخدام الصلب المقاوم للصدأ نوع 304 حيث جرى تحضير عينات قياسية خاصة باختبار الشد وعينات قياسية





شكل 12: التركيب المجهرى للعينات بعد اجراء المعاملة الحرارية بدرجة 1150<sup>0</sup>م.

### 5.6 المعاملة الحرارية

أجريت عملية المعاملة الحرارية في فرن كهربائي في المعهد التقني الدور نوع (MF120) صيني المنشأ حيث تبلغ أقصى درجة حرارة يبلغها الفرن هي 1200<sup>0</sup>م كما موضح في الشكل 13 وقد أجريت عملية المعادلة بواقع ثلاث عينات لكل اختبار (الشد، الصلادة، البلى، الكلال، والصدمة) وقد جرت العملية كما يلي:

- التسخين لغاية 1150<sup>0</sup>م والبقاء عند هذه الدرجة لمدة 20 دقيقة، ومن ثم التبريد بالهواء.
- التسخين لغاية 1100<sup>0</sup>م والبقاء عند هذه الدرجة لمدة 20 دقيقة، ومن ثم التبريد بالهواء.
- التسخين لغاية 1050<sup>0</sup>م والبقاء عند هذه الدرجة لمدة 20 دقيقة، ومن ثم التبريد بالهواء.

وقد تم استخدام درجات حرارة مرتفعة وذلك لتلافي تكون الكاربيدات التي عادة ما تنشأ في درجة حرارة تتراوح ما بين (400-850)<sup>0</sup>م مع ملاحظة ان المعاملة الحرارية المذكورة قد أجريت حسب المواصفات (ASTM S 30400).

كما تم اجراء عملية مراجعة عند درجة حرارة 350<sup>0</sup>م والبقاء عند هذه الدرجة لمدة 30 دقيقة الغرض منها إزالة الاجهادات الداخلية وإعادة الانتشار.



شكل 13: الفرن الكهربائي الحديث الذي اجريت فيه المعاملة الحرارية.

## 7. الفحوصات والاختبارات

### 1.7 اختبار البلى

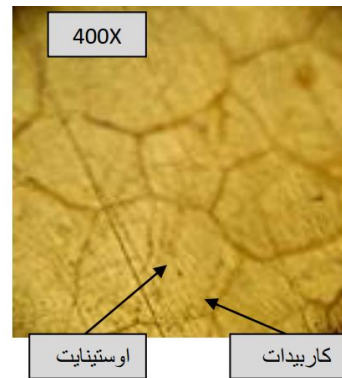
تم استخدام جهاز البلى الانزلاقي الجاف ذي تركيبة المسمار على القرص (Pin on Disk) انكليزي المنشأ رقمي كما في الشكل 14، وقد تم تحضير عينات اختبار البلى ب قطر 1 سم وارتفاع 3سم طبقا للمواصفات القياسية (ASTM). كما تم تهيئة سطح العينة المراد اجراء الفحص عليها حيث تم التنعيم باستخدام ورق تنعيم مصنوع من كربيد السليكون بالدرجات (320,500,1000) بعد ذلك



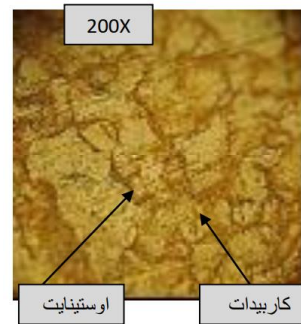
شكل 7: تمثل جزء من العينات التي تم استخدامها في عملية الاختبار



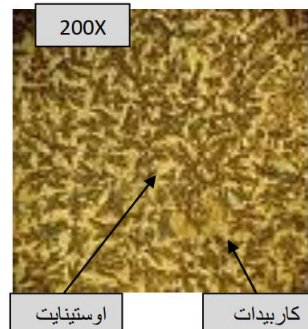
شكل 8: تمثل عينات الكلال والصدمة والبلى.



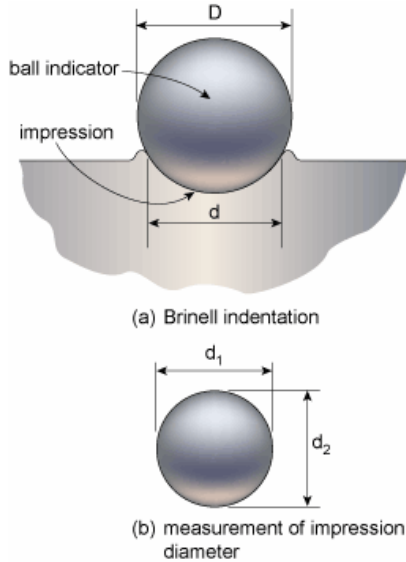
شكل 9: التركيب المجهرى للعينات قبل المعاملة الحرارية.



شكل 10: التركيب المجهرى للعينات بعد اجراء المعاملة الحرارية بدرجة 1050<sup>0</sup>م.



صورة 11: التركيب المجهرى للعينات بعد اجراء المعاملة الحرارية بدرجة 1100<sup>0</sup>م.



شكل 15: طريقة حساب الأثر الناتج من استخدام الكرة بطريقة برينل.

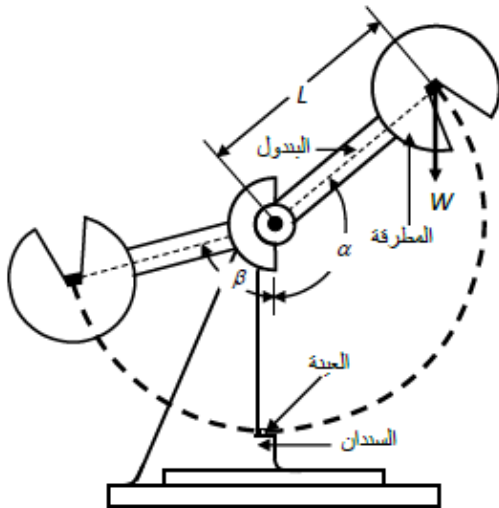
### 3.7 اختبار الشد

جرى اختبار الشد باستخدام جهاز الشد نوع (Instron1195) إنكليزي المنشأ وبموجب المواصفات القياسية (Din50125) في عينة الاختبار الموجودة في الشكل 5.

### 4.7 اختبار الصدمة

تم إجراء اختبار الصدمة بموجب المواصفات القياسية للجمعية الأمريكية لفحص واختبار المواد (ASTM E 23) بطريقة (ايزود) على عينة قياسية موجودة كما في الشكل 16 ويمكن حساب الطاقة اللازمة لكسر العينة باستخدام العلاقة التالية:

$$E = W L (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (3)$$



شكل 16: مخطط توضيحي يمثل شكل جهاز اختبار الصدمة.

حيث أن:

$$Jou = E \text{ الطاقة اللازمة لكسر العينة}$$

$$L = \text{طول الذراع}$$

$$W = \text{وزن البندول}$$

$$\alpha = \text{زاوية رفع البندول} = \beta = \text{زاوية البندول بعد الكسر.}$$

تم صقل العينات باستخدام ورق صقل مثبت على قرص دوار ومعجون الماس ذو حجم حبيبي (0.5) ميكرون وسائل تبريد. بعد الانتهاء من صقل العينات تم غسلها جيداً وتم تجفيفها بمجفف حراري. في اختبار البلى كانت ظروف الاختبار كالآتي:

$$1- \text{ زمن الانزلاق} = 30(t) \text{ دقيقة}$$

$$2- \text{ الحمل المسلط} = 15(p) = \text{نيوتن}$$

$$3- \text{ نصف قطر الانزلاق} = 7(\text{R}) \text{ سم}$$

$$4- \text{ سرعة الانزلاق} = 4.77(v) \text{ م/ثا}$$

$$5- \text{ عدد الدورات} = 500(n) \text{ د/ثا}$$

أما معدل البلى (Wear Rate) فيحسب من المعادلة التالية:

$$\text{Wear rate} = \frac{\Delta w}{2\pi r n t} \quad (1)$$

حيث أن:

$$\text{(Wear rate)} = \text{معدل البلى (غم/سم)}.$$

$$\Delta W = W_1 - W_2 \text{ ق بالوزن بالغمات.}$$

$$W_1 = \text{وزن العينة قبل الاختبار بالغمات.}$$

$$W_2 = \text{وزن العينة بعد الاختبار بالغمات.}$$

$$r = \text{المسافة بين مركز العينة الى مركز القرص.}$$

$$N = \text{عدد دورات القرص الفولاذي (دورة/دقيقة).}$$

$$T = \text{الزمن (دقيقة).}$$



شكل 14: جهاز اختبار البلى.

### 2.7 اختبار الصلادة

تم إجراء اختبار الصلادة بطريقة برينل وحسب (ASTM E 10) حيث تم استخدام كرة معدنية مقساة قطرها 2.5 ملم وبحمل مقداره (1839 kgf) كما في الشكل 15 وحسب القانون التالي تم احتساب قيم الصلادة.

$$BHN = \frac{P}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi D t} \quad (2)$$

حيث أن:

$$P = \text{الحمل المسلط على العينة بالكيلو غرام.}$$

$$D = \text{قطر الكرة بالمليمترات.}$$

$$d = \text{قطر التغلغل (indentation) بالمليمترات.}$$

$$t = \text{عمق الأثر (impression) بالمليمترات.}$$

### 5.7 اختبار الكلال

في الشكل 17 حيث يوجد انتزاع لذرات الكربون على حدود الأوستنايت وتكوين كاربيدات الكروم الامر الذي يؤدي الى زيادة الصلادة

#### اختبار الشد

ظهر تحسن طفيف في اختبار الشد كان أقصاه 16% عند العينة المعاملة بدرجة حرارة (1150°C) وذلك بسبب نعومة حجم الحبيبات المتكونة الامر الذي أدى الى زيادة مساحة حدود الحبيبات إضافة الى ظهور تحسن واضح في اجهاد الخضوع كان أقصاه 74% عند نفس العينة

#### اختبار البلى

ظهر ازدياد ملموس في اختبار البلى حيث كان 22% في العينة التي أجريت عليها المعاملة الحرارية بدرجة حرارة (1050°C) فيما كان 39% في العينة التي أجريت عليها المعاملة في درجة حرارة (1100°C) و33% للعينة الثالثة وذلك بسبب ترسب الكاربيدات على السطح الخارجي للعينة الامر الذي قلل من الطبقة الملساء المغلفة للسطح الخارجي مما زاد من الاحتكاك بسبب تكون طبقة خشنة نوعا ما غير متماسكة

تم اجراء اختبار الكلال في مختبر المعادن الموجود في المعهد التقني الدور بواسطة جهاز اختبار الكلال من نوع الانحناء الدوار (Rotating Bending) إنكليزي المنشأ وقد تم اخضاع العينات لنفس ظروف التحميل حيث تم تسجيل عدد الدورات التي تم عندها الكسر مع بيان ان الاختبار جرى وفقا للمواصفات القياسية (ASTM) وكما في الشكل 4 علما ان جميع النتائج مثبتة في الجدول 2.

### 8. النتائج والمناقشة

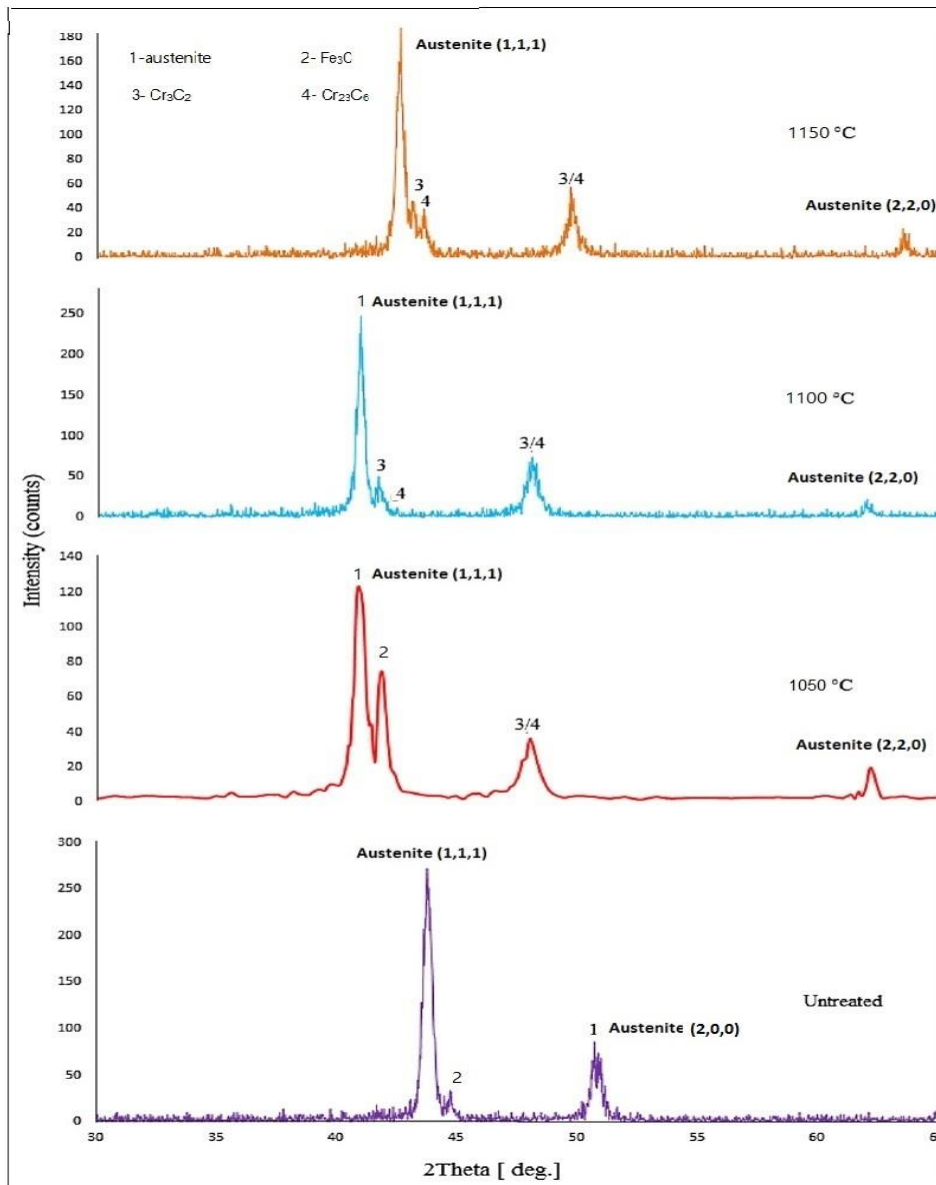
#### تحليل أطياف حيود الأشعة السينية

#### نتائج الاختبارات الميكانيكية التي أجريت على النماذج

كانت نتائج الاختبارات الميكانيكية كما في الجدول 2  
1- تم ملاحظة تحسن في جميع الخواص الميكانيكية وكما يلي

#### اختبار الصلادة

حدث تحسن مقداره 54% في العينة المعرضة لدرجة حرارة (1050°C) و70% في العينة المعرضة لدرجة حرارة (1100°C) و72% في العينة المعرضة الى درجة حرارة (1150°C) وهذا يظهر واضحا من خلال البنية المجهرية للعينة في الشكل 12 وكذلك



شكل 17: نتائج تحليل أطياف حيود الأشعة السينية.

جدول 2

نتائج الاختبارات الميكانيكية التي تم إجرائها على النماذج.

| ت | نوع المعاملة الحرارية  | مقاومة الشد<br>N/mm <sup>2</sup> | صلادة برينل<br>HB | اختبار الصدمة<br>J | إجهاد الخضوع<br>N/mm <sup>2</sup> | اختبار البلى<br>دورة / د | اختبار الكلال |
|---|--|----------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 | العينة بدون معاملة حرارية  | 505                              | 123               | 325                | 215                               | 18                       | 35000         |
| 2 | العينة معاملة حراريا بدرجة (1050) لمدة 20 دقيقة ثم مراجعة عند درجة (350) لمدة نصف ساعة | 520                              | 190               | 320                | 320                               | 22                       | 36200         |
| 3 | العينة معاملة حراريا بدرجة (1100) لمدة 20 دقيقة ثم مراجعة عند درجة (350) لمدة نصف ساعة | 590                              | 210               | 312                | 375                               | 25                       | 38500         |
| 4 | العينة معاملة حراريا بدرجة (1150) لمدة 20 دقيقة ثم مراجعة عند درجة (350) لمدة نصف ساعة | 510                              | 212               | 217                | 370                               | 24                       | 36190         |

اختبار الصدمة

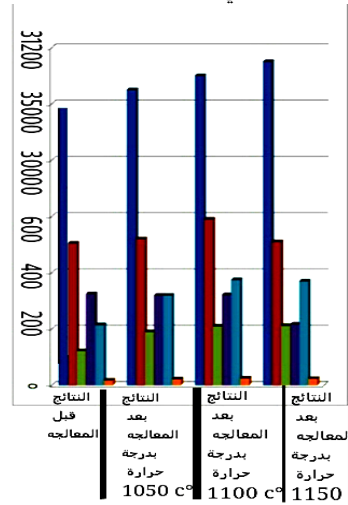
9. الاستنتاجات

- بعد اجراء الفحوصات المختبرية الميكانيكية على كافة العينات المعاملة حراريا ومقارنة النتائج قبل وبعد اجراء المعاملات الحرارية يمكن استنتاج ما يأتي:
- 1- تحسنت قابلية مقاومة الشد بنسبة 16% اضافة الى تحسن في اجهاد الخضوع بنسبة 74%.
  - 2- تزايد في عمر الكلال للسبيكة المعاملة حراريا عن تلك التي لم تعامل حراريا بنسبة 10%.
  - 3- ظهور الخشونة على السطح المعامل حراريا ادي الى زيادة الاحتكاك بالإضافة الى ترسب الكربيدات باتجاه السطح ساهم في ظهور طبقة سطحية غير متماسكة مما ادي الى زيادة في معدل البلى بنسبة 39% وهذا يظهر واضحا في الشكل 10.
  - 4- وجود زيادة في عدد دورات الكلال بنسبة 10% بسبب التغيرات الطورية الحاصلة لأساس السبيكة.

المصادر

- [1] Callister WD, Rethwisch DG. Fundamentals of materials science and engineering. London, UK: John Wiley & Sons, Inc.; 2000.
- [2] Callister WD, Rethwisch DG. Materials science and engineering: an introduction: Wiley New York; 1991.
- [3] Bolton W. Engineering materials technology. 3rd ed. London, U.K.: Butter Worth-Heinemann; 2013.
- [4] Padiha, AF, Plaut RL, Rios PR. ISIJ Main thermal treatments and transformations that occur in austenitic stainless steel between room temperature and the liquid state. International Japan 2003; 43-143.
- [5] Harris J. Engineering metallurgy: Part 1 applied physical metallurgy. 6th ed. USA: Taylor & Francis; 1994.
- [6] Davis J. ASM specialty handbook: Stainless steels (ASM International, materials park, OH, 1994). Google Scholar: 10.

لم يكن هنالك أي تحسن في اختبار الصدمة لان وكما هو معروف أن الصلادة تتناسب عكسيا مع مقاومة المادة للصدمة. ان التحسن في الخواص الميكانيكية يمكن ان يعزى الى التحول في البنية الداخلية حيث تحول الطور الفيريتي ضمن الطور البيرلايتي الخشن الى فيرايت ضمن البيرلايت الناعم في السبيكة التي تم معاملتها حراريا وتحول الطبقات المتعاقبة من الكاربيدات المعقدة الخشنة والمتعاقبة الى حبيبات ناعمة دائية في ارضية من الاوستنايت نتيجة ثباته وعدم تحوله بالكامل الى بيرلايت وهذا ما يبدو جليا لدى ملاحظة البنية المجهرية في الصور المرفقة إضافة الى فحص حيود الاشعة السينية حيث يلاحظ تكون كربيد الكروم. إن درجة حرارة المراجعة تؤثر على الخواص الميكانيكية للصلب فالمراجعة التي تتم في درجات حرارة منخفضة بين (300-350م) تؤدي إلى زيادة متانة الصلب المقاوم للصدأ، دون نقصان ملحوظ في صلادته. فكلما زادت درجة حرارة المراجعة عن ذلك قلت صلادة المعدن (نتيجة لتفكك الكاربيدات المعقدة) ومقاومة الشد القصوى وحد المرونة ولكن المطيلية تزداد. ولا يفوتنا أن نذكر أن مقاومة الصدمات للصلب تقل إذا ما تمت مراجعته في درجات حرارة تتراوح بين (300-350م) وتدعى هذه الظاهرة بتقصف المراجعة، ويعلل ظهورها إلى تحلل الاوستنايت المتبقي أوالي ترسب الكاربيدات المعقدة وهذا يظهر في فحص حيود الاشعة السينية شكل 17 ولهذا يجب تجنب المراجعة في هذا المدى من درجات الحرارة عندما تكون هنالك رغبة في زيادة المقاومة للصلب المقاوم للصدأ.



شكل 18: نتائج الاختبارات الميكانيكية.



- properties of orthodontic stainless steel wires. *Materials Transactions* 2002; **43** (12): 3072-3077.
- [13] Rao MH, Rao GN. Effect of Heat Treatment Cycle on the Mechanical Properties of Machinable Austempered Ductile Iron. 2007.
- [14] بشير واخرون. تأثير المعاملات الحرارية على مقاومة تآكل صلب متوسط الكربون في مياه عين كيريت. *مجلة تكريت للعلوم الهندسية* 2012، 19 (3): 14-25.
- [15] نيفين الوندوي. تأثير المعاملة الحرارية الجزئية على الخواص الميكانيكية لصلب العدة عالي الكربون المستخدم في صناعة الاجزاء الفعالة لقوالب القطع على البارد. *مجلة الهندسة والتكنولوجيا* 2009، 27(5):.
- [16] امين دواي. تأثير المعاملات الحرارية على الخواص الميكانيكية والكلال. *مجلة الهندسة والتكنولوجيا* 2007، 25 (8)
- [17] Dieter GE. Mechanical metallurgy. 2nd Ed., McGraw-Hill Kogakusha, 1981.
- [7] Askeland DR, Phulé PP. The science and engineering of materials. 6th ed. USA: University of Missouri—Rolla, Emeritus 2003.
- [8] Bhadeshia H, Honeycombe R. Steels: microstructure and properties. London: Edward Arnold: Butterworth-Heinemann; 1995.
- [9] Van Vlack LH. Elements of materials science and engineering. 5th ed. USA: Wesley Publishing Company, Inc. 1989.
- [10] Smallman RE, Bishop RJ. Modern physical metallurgy and materials engineering: Elsevier; 1999.
- [11] Totten GE. Steel heat treatment: metallurgy and technologies. PhD.: Portland State University; Oregon, USA: 2006.
- [12] Oh K-T, Hwang C-J, Kim K-N. Effects of heat treatment conditions on the mechanical