

# دراسة تأثير المعالجات الحرارية على بعض الخواص الميكانيكية وأهميتها في هندسة التصنيع

م. منى محمد محجوب  
قسم الهندسة الصناعية - كلية التقنية الصناعية  
مصراتة- ليبيا

د. رمضان محمود اغلبر  
قسم الهندسة الصناعية - كلية التقنية الصناعية  
مصراتة- ليبيا  
[eghlio123@yahoo.com](mailto:eghlio123@yahoo.com)

## 2. الدراسات السابقة

تجرى العديد من الاختبارات الميكانيكية لدراسة ومعرفة خواص المواد ومنها اختبار الشد حيث يعتبر من أهم الاختبارات الميكانيكية وأكثرها استخداماً والذي بواسطتها يمكننا الحصول على قراءات معينة هي مقياس لخواص الشد ونقطة الخضوع والاستطالة المئوية والنسب المئوية للنقصان في المساحة ومعامل المرونة بالإضافة لذلك فإن هذا الاختبار يعطينا مقدار اللدونة، وكذلك يعطينا التماسك بالمتانة، وتعتمد خواص الشد التي نحصل عليها إلى حد معين على شكل وحجم نموذج الاختبار؛ وبناء على هذا النموذج الذي يستخدم في هذا الاختبار يجب أن يكون نموذجاً قياسياً [1]، [2]. قد تتأثر خواص المعدن في درجات الحرارة العالية بطريقة الصناعة، طريقة الصب وطريقة التشكيل الشديد والدرفلة، والمعالجة الحرارية وكذلك التصنيع النهائي للمعدن. أما حجم الحبيبة فله تأثير محدود على الخواص المرنة للمادة مثل نسبة بوسن ومعامل المرونة ومعامل التمدد الحراري ومعامل التوصيل الحراري [3].

تعتبر الخواص الميكانيكية من أهم أنواع الاختبارات العملية الضرورية للمواد حيث أنها تقيس مدى تحمل المادة للقوى المعرضة لها حيث أن ذلك عامل عام ومهم في عمر أداء المنشآت المختلفة ويمكن تعريف الخواص الميكانيكية للمادة بصفة عامة بمدى استجابتها للأحمال المعرضة لها من حيث التغيرات التي تطرأ عليها والمقاومة التي تبديها سواء كانت الأحمال مؤثرة عليها أثناء الاستعمال أو التصنيع وتعتبر الاختبارات الميكانيكية [4]. وسيلة لقياس هذه الصفات

المعاملة الحرارية (Heat Treatment)، هي أكثر الطرق انتشاراً في الأسلوب التقني الحديث لتغيير خصائص المعدن، حيث تعد المعالجة الحرارية في المصانع الميتالورجية ومصانع بناء المكونات، واحدة من أهم حلقات العملية التكنولوجية لإنتاج القطع نصف المصنعة وأجزاء المكونات. وتطبق المعالجة الحرارية كعملية فاصلة لتحسين الخصائص التكنولوجية للمعدن (مثل القابلية للتشكيل بالضغط والقص وغير ذلك من الخصائص)، كعملية نهائية لإعطاء المعدن مجموعة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية [5] والكيميائية، التي تضمن للمنتجات مواصفات خاصة لا غنى عنها.

من أهم سبائك الألمونيوم القابلة للمعالجة الحرارية، هي التي تحتوي على النحاس، النحاس والنيكل، النحاس والخراسين، المغنيسيوم والسليكون، والتي تستجيب للتصلد ويسمى بتصليد التقادم أو تصليد الترسيب. وهذا

الملخص- يعتبر اختيار المواد التي تصنع منها أجزاء الآلات من المقاييس المهمة الأساسية والتي تحدد مقدرة هذه الآلة أو المعدة على إنجاز العمل، لهذا الاختيار دور كبير في تحقيق التشغيل الأمثل لهذه الآلات والمعدات ويتحدد هذا الاختيار بمجموعة من المتطلبات الأساسية المهمة كالصلادة والمتانة ومقاومة الصدمة ومقاومة التآكل ومقاومة الشد. ويستفاد من المعالجات الحرارية في زيادة الصلادة وتحسين المقاومة، كما يمكن تغيير خواص السبائك بواسطة المعاملة الحرارية في حدود واسعة من خلال رفع وزيادة مقاومة الصدمات ومقدار الاستطالة النسبية والمقاومة القصوى إلى حد كبير. ونظراً لأهمية هذا العمل في هندسة التصنيع والعملية التصنيعية رأينا في هذا البحث تسليط الضوء على تأثير المعالجات الحرارية على صلادة المعدن الحديدية والغير حديدية، وعلاقتها بهندسة التصنيع وذلك من خلال دراسة تأثير المعالجة الحرارية على صلادة الصلب حيث تم اختيار ثلاثة أنواع من الصلب منخفض الكربون، ويحتوي على 0.1 من الكربون، متوسط الكربون ويحتوي على 35 % كربون، عالي الكربون ويحتوي على 45 % كربون. وقد تم التوصل إلى أن ازدياد صلادة الصلب الكربوني بزيادة نسبة الكربون فيه وانخفاض المتانة وصعوبة التشغيل، وأي تغيير في الخصائص الفيزيائية للكربون يغير من المعالجة الحرارية لعينة الصلب، بالإضافة إلى نقاط أخرى تعرض لاحقا ضمن البحث.

الكلمات المفتاحية: المعالجات الحرارية، خواص المواد، الاختبارات الميكانيكية، الصلب الكربوني، صلادة المعدن الحديدية والغير حديدية.

## 1. المقدمة

إن العرب في الحقيقة هم أول من درسوا المعدن دراسة علمية، قدموا في مؤلفاتهم الأسس العلمية الأولية لعلم المعدن. لقد وصفوا المعدن بالنسبة لخواصها البلورية وخواصها الطبيعية (اللون - الشفافية - المخدش أو المحك) والوزن النوعي والاختبارات الكيميائية ونشأة المعدن وأسمائها. بصفة عامة يمكننا أن ننظر إلى المعدن على أنها المواد التي تتكون منها صخور القشرة الأرضية، وعلى هذا الأساس تعتبر المعدن أهم صلة طبيعية متيسرة لمعرفة تاريخ الأرض. وأول ما يقوم به جيولوجي المعدن في هذه الوظيفة هو دراسة خواص أنواع المعدن (بلورية، فيزيائية، كيميائية)، ومن المعروف أن المواد الهندسية لا تستخدم مباشرة كما وجدت في الطبيعة، إنما تتعرض للعديد من المعالجات والإضافات تجعل منها ذات خصائص تختلف عما وجدت به في الطبيعة، وفي نفس الوقت تكون أكثر نفعاً. المعدن عندما تخلط مع بعضها بنسب مختلفة تسمى سبائك، وتختلف خصائص كل سبيكة منها عن غيرها من السبائك. كلا حسب الغرض المستعملة فيه، فمثلاً الحديد الصلب في صناعة الهيكل له خواص مختلفة عن الصلب في صناعة تروس صندوق السرعات. ويجب على المهندس المختص أن يتعرف على الأساسيات الضرورية التي تربط تلك المواد بخصائصها... ويتطلب ذلك معرفة القوانين والنظريات التي تتحكم في خواص المواد تأثيرها مع الظروف المختلفة المحيطة بها.

### ج. اختبار الصلادة :

تم اعتماد اختبار الصلادة باستخدام جهاز روكويل الرقمي الموجود بمختبر الجودة بالشركة الليبية للحديد والصلب. كمؤشر على تغيير صلادة المعدن بتغيير نسب الكربون فيه وتأثير المعالجة الحرارية عليه، كما تم اختيار نوعين من أنواع المعالجة وهما التصليد والتلدين، وإجراء الاختبار للعينات المعالجة بالإضافة إلى عينات غير معالجة من نفس العينات للمقارنة. والجدول رقم(1) يبين نوع العينة ونوع المعالجة الحرارية ألمجره عليها ونوع اختبار روكويل المستخدم.

جدول(1) أنواع العينات والمعالجة الحرارية والاختبار

اختبار الصلادة	نوع العينة
اختبار HRB	عينات غير معالجة(قضبان C35 وC45) وصفائح على الساخن
اختبار HRB	عينات الصفائح على الساخن المعالجة بالتلدين
اختبار HRC	عينات صفائح على الساخن (قضبان C35 وC45) معالجة بالتصليد

### د. أفران المعالجة الحرارية:

هناك العديد من الأشكال والأنواع المختلفة لأفران المعالجة الحرارية على حسب العينات المراد معالجتها ، بحيث تكون هذه الأفران بأحجام صغيرة بغرفة إحراق صغيرة أو كبيرة بغرفة احتراق ضخمة، مزودة بأجهزة قياس درجة الحرارة ويستخدم الفحم أو الزيت، أو الغاز، أو الكهرباء كوسيلة للتسخين. والفرن المستخدم للمعالجة في هذا المشروع بغرفة احتراق كبيرة يعمل بالكهرباء مزود بجهاز لقياس درجة الحرارة.

أما بخصوص تأثير المعالجة الحرارية على صلادة المعادن الغير حديدية، فالمعروف أن المعادن بصفة عامة تتأثر بالظروف التي تتعرض لها من إضافات أو طرق تصنيع أو معالجة وتوصف المعادن بالنسبة لخواصها البلورية وخواصها الطبيعية (اللون، الشفافية،... إلخ) والوزن النوعي والاختبارات الميكانيكية ونشأة المعادن وأسماؤها، ولغرض إجراء المقارنة بين صلادة المعادن الحديدية والغير حديدية تم بهذه الدراسة اعتماد نوعين من المعادن الغير حديدية باستخدام اختبار الصلادة.

#### - معدن الاختبار:

لدراسة تأثير المعالجة الحرارية على صلادة المعادن الغير حديدية تم اختيار معدنين هما الألمونيوم والنحاس.

#### - تحضير العينات :

عبارة عن منتجات جاهزة على هيئة قضبان باستخدام ألواح مدرفلة لإنتاج العينات المطلوبة حسب المواصفات المشار إليها سابقا.

النوع من التصلد ممكن في الأنظمة التساكية التي تذوب جزئيا في الحالة الصلبة مع اختلاف كبير في حدوث هذا الذوبان الجزئي بين درجة الحرارة المنخفضة ودرجة الحرارة العالية. وبشكل عام عن معالجة سبائك الألمونيوم [6].

المعالجة الحرارية الوحيدة التي تجرى للألمونيوم النقي هي فقط عملية التطرية التي تكون غايتها تطرية المعدن، ويتم الحصول على هذه المعالجة برفع درجة حرارة الألمونيوم إلى الدرجة التي يصبح عندها قادرا على التبلور من جديد وبالتالي تنخفض مقاومة الألمونيوم للإجهادات وتزداد الاستطالة، فعندما تتجاوز درجة حرارة التسخين 150 درجة مئوية تبدأ مقاومة الإجهادات بالانخفاض والاستطالة بازياد. ويتم الحصول على أفضل النتائج من هذه الناحية عندما تتراوح درجة التسخين بين 250 – 350 درجة مئوية ولدرجة حرارة التسخين تأثيرها الكبير على الناقلية الكهربائية للألمونيوم والتي تصل قيمتها العظمى عندما تكون درجة الحرارة التي يتم عندها التسخين من أجل التطرية حوالي 300 درجة مئوية [8][7].

### 3. منهجية البحث

نظرا لتأثير المعالجة الحرارية على صلادة الصلب الكربوني، حيث تعتبر نسبة وجود عنصر الكربون في الحديد مهمة جدا، فعليه تتحدد خصائص الصلب الناتج، وهو ما يعرف بالصلب الكربوني. ونظرا للأهمية التي يشكلها الكربون بالنسبة للحديد رأى الباحثان ضرورة دراسة هذا التأثير على صلادة المعدن بسبب تغيير نسبة الكربون، وعلاقة كلا من المعالجة الحرارية والصلادة بهذا التغيير.

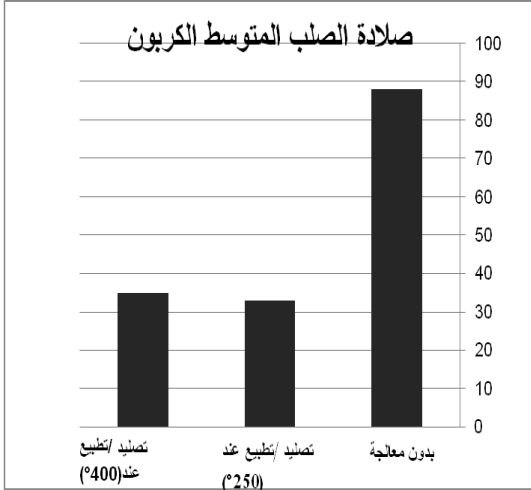
#### أ. معدن الاختبار:

ولدراسة تأثير المعالجة الحرارية على صلادة الصلب تم اختيار ثلاثة أنواع من الصلب:

- منخفض الكربون:- ويحتوي على 0.1 % كربون.
- متوسط الكربون:- يحتوي على 35% كربون.
- عالي الكربون :- 45% كربون.

#### ب. تحضير العينات :

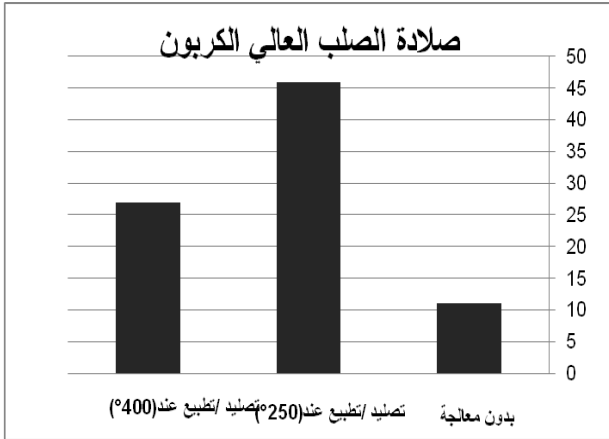
أقيمت الدراسة البحثية على عينات من مصنع الدرفلة على الساخن بالشركة الليبية للحديد والصلب وهي عبارة عن منتجات جاهزة من استخدام ألواح مدرفلة كمادة خام بسمك مبدئي "190mm" لإنتاج و "mm2"; للصفائح نوعين من العينات هي قضبان وصفائح مدرفلة على الساخن. بسمك "نهائي هذا بالنسبة للمعادن الحديدية أما بالنسبة للمعادن الغير حديدية فقد تم لدراسة تأثير المعالجة الحرارية على صلادة معدنين هما الألمونيوم والنحاس



الشكل (2) مخطط لصلادة الصلب متوسط الكربون قبل وبعد المعالجة

#### عينات الصلب العالي الكربون

زادت الصلادة بما يعادل أربعة أضعاف تقريبا عما كانت عليه قبل المعالجة وارتفاع حرارة التطبيع زادت الضعفين فقط حسب مخطط الشكل (3).



الشكل (3) مخطط لصلادة الصلب العالي الكربون قبل وبعد المعالجة الحرارية

مما سبق نلاحظ الآتي

1. بالرغم من أن الأنواع الثلاثة للصلب الكربوني خضعت لنفس المعالجة الحرارية باستثناء التلدين للصفائح المنخفضة الكربون المدرفلة على الساخن إلا أنها اختلفت في صلابتها فانخفضت في الصلب المنخفض قليلا والمتوسط كانت أكثر انخفاض والعكس مع الصلب العالي الكربون. فهذا إن دل على شيء فإنه يدل على مدى تأثير تغيير نسب الكربون على نتائج الصلادة بعد المعالجة.
2. كقاعدة عامة لا تخضع الصفائح المنخفضة الكربون المدرفلة على الساخن لعملية معالجة حرارية خاصة حيث تكون عملية الدرفلة مصاحبة لعملية المعالجة لأن عملية الدرفلة تتم على الساخن وتعالج فقط الصفائح المنتجة لأغراض السحب العميق

#### - اختبار الصلادة :

تم تنفيذ الاختبار بنفس الجهاز المستخدم لقياس صلادة الصلب الكربوني الموجود بالشركة. واستخدام نوع واحد من المعالجة وهو التلدين. وفي نفس الفرن المستخدم سابقا. وأجري الاختبار على عينات معالجة بالإضافة إلى عينات غير معالجة من نفس النوع للمقارنة وكان نوع الاختبار (HRB).

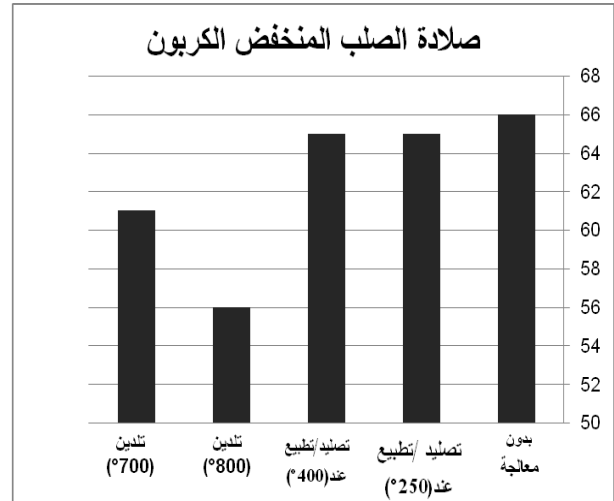
#### 4 . تحليل النتائج

من خلال دراسة النتائج التي تم الحصول عليها يمكن ملاحظة ما يلي:-

#### أولاً : عينات الصلب :

##### عينات الصلب المنخفض الكربون

من خلال الاختبار المجرى لقياس صلادة الصفائح المنخفضة الكربون لغرض المقارنة للصلادة قبل وبعد عملية المعالجة الحرارية "التصليد ،التطبيع، والتلدين" نستنتج من خلال مخطط الصلادة الشكل (1) للصلب المنخفض الكربون الانخفاض البسيط للصلادة بعد إجراء التصليد والتطبيع بينما كان الانخفاض واضح بالتلدين وخاصة بارتفاع حرارة التلدين. بسبب تحلل وتفكك الأستنايت إلى سمنتنايت وفيراييت.



الشكل ( 1 ) مخطط لصلادة الصلب المنخفض الكربون قبل وبعد المعالجة الحرارية

##### عينات الصلب المتوسط الكربون

تقل الصلادة بعد عملية المعالجة الحرارية للصلب المتوسط الكربون والشكل (2) يوضح ذلك

## 5. الاستنتاجات

من خلال الدراسة النظرية والتطبيق العملي على المعادن الحديدية المتمثلة في الصلب الكربوني بأنواعه الثلاثة والمعادن الغير حديدية للألمونيوم والنحاس تم استنتاج ما يلي:-

1. ازدياد صلادة الصلب الكربوني بزيادة نسبة الكربون فيه وانخفاض المتانة وصعوبة التشغيل.
2. الكربون من أهم مكونات الصلب وأي تغيير في الخصائص الفيزيائية له يغير من المعالجة الحرارية لعينة الصلب.
3. اعتماد المعالجة الحرارية للصلب على حقيقة مهمة وهي "أن الحديد النقي عند درجات حرارة أقل من (910م°) له بنية مكعبية متمركزة الجسم BCC إذا سخن إلى درجة أعلى منها فإن البنية تصبح مكعبية متمركزة الوجه FCC. وبالتبريد ينعكس التغيير وتتكون بنية مكعبية الجسم مرة أخرى BCC. وأهمية التحول العكسي تكمن في أنه حتى 1,7 كربون فإنه يذوب في بنية FCC مكونا المحلول الصلب بينما لا تزيد نسبة الكربون الذائبة في BCC عن 0.03% فعند التبريد البطئ يتحول الصلب إلى BCC والكربون الزائد والذي يزيد على 0.03% سوف يترسب. أما التبريد السريع فإنه يتعذر ترسيب هذا الكربون الزائد".
4. لاكتساب المعادن خواص أخرى مفتقدة بالمعالجة الحرارية الهدف منها تحويل المعادن اللينة (الطرية) إلى صلدة أو تليين الصلد منها حسب متطلبات هندسة التصنيع
5. تتحكم نسبة الكربون في الصلب والغرض من استخدامه في نوع المعالجة الحرارية المستخدمة.
6. لدرجة حرارة التسخين تأثير كبير على الناقلية الكهربائية للألمونيوم والتي تصل لقيمتها العظمى عندما تكون درجة الحرارة التي يتم عندها التسخين من أجل التطرية حوالي (300م°).

## 6. التوصيات

1. مراعاة طبيعة خصائص المعادن ومدى تأثير المعالجة الحرارية على هذه الخصائص عند الحاجة لاختيار أحد المعادن في أي تطبيق من التطبيقات الهندسية لتحديد مطابقتها للمواصفات.
2. لتلافي عيوب التصليد في الصلب إذا كان الهدف من المعالجة زيادة الصلادة يجب الأخذ بالاعتبار النقاط التالية:
  - ◆ أن تكون المسافة قريبة بين الفرن وحوض الإخماد عند نقل القطعة.
  - ◆ الحفظ لفترة طويلة عند درجة حرارة التصليد حتى تكون كافية لتحويل البرلايت إلى أستنايت.
  - ◆ أن يكون التبريد سريع وكافئ.

وللحصول على بنية ناعمة الحبيبات فقط. وتعالج ألواح الصلب الرقيقة للأغراض الكهربائية مثل ألواح الصلب المستخدمة في المولدات الكهربائية والمحولات بالتخمير أو التلدين لغرض تحسين الخواص المغناطيسية والميكانيكية.

3. نلجأ لعملية المعالجة الحرارية لقضبان الصلب المتوسط الكربون عندما يكون الهدف هو تحسين قابلية التشغيل ولأجل زيادة مقاومة الشد تليها عملية تطبيع للحصول على خواص ميكانيكية أفضل.
  4. نلاحظ الصلادة العالية للصلب العالي الكربون قبل المعالجة الحرارية من خلال الاستخدام لاختبار (C) لقياس الصلادة الركوبية بدلا من اختبار (B) والمخصص لقياس المعادن العالية الصلادة.
- وعند تبريد الصلب المحتوي على نسبة كافية من الكربون بسرعة بعد تصليده فإنه يصبح أكثر صلادة عما لو برد ببطء. وأي كربون يزيد عن 0.03% سيمنع تكون بنية BCC عند تبريد الصلب فجائيا في مجال الأستنايت. لذلك فإن الأستنايت لا يتحول إلى خليط من الفيرايت والسمنتايت بل يتحول إلى مارتنسايت الذي يتميز بالصلادة العالية والهشاشة، ولهذا يعاد التسخين ونجري عملية التطبيع لازالة الإجهادات ولتقليل الهشاشة في نفس الوقت وجعله ملائم للاستخدام.

## ثانياً : عينات الألمونيوم والنحاس :

- إن المعالجة الحرارية التي تم إجرائها على منتجات جاهزة من قضبان ألمونيوم ونحاس لاستخدامها في كابلات النقل الكهربائي. وبالرغم من جودة توصيل كليهما للحرارة والكهرباء إلا أنها من المعادن الطرية ولا يتحملان الإجهادات، فهي بذلك تعتبر عالية النقاوة، وخاصة قضبان الألمونيوم لأنها طرية وضعيفة لهذا لم تظهر نتائج للصلادة على الجهاز قبل وبعد المعالجة. والمعالجة الحرارية الوحيدة التي تجري للألمونيوم النقي هي عملية التطرية التي تكون غايتها تطرية المعدن. فبارتفاع درجة حرارة الألمونيوم تنخفض مقاومة الألمونيوم للإجهادات وتزداد الاستطالة وتقل الصلادة. بينما ظهر النحاس قبل المعالجة صلدة وبعد المعالجة أصبح طري لسهولة تشكيله.
- بما أن درجة انصهار الألمونيوم النقي هي (660م°) تم تلدينه عند (300م°) أي قبل انصهاره ب(360م°) ولم يحدث تغيير في النتائج.
- أما النحاس النقي فدرجة انصهاره (1083م°) تم تلدينه عند (500م°) أي قبل الانصهار ب(583م°) وبالتالي النحاس تأثر بالمعالجة الحرارية وتلدن ولذلك لم تظهر النتائج للصلادة بعد عملية المعالجة .

السيرة الذاتية مختصرة

رمضان محمود اغليو – عضو هيئة التدريس بكلية التقنية الصناعية – دكتوراه في الهندسة الميكانيكية – جامعة مانشستر بريطانيا 2012، ماجستير في إدارة التصنيع التنافسي جامعة استرنتكلايد جلاسكو بريطانيا 2000، بكالوريوس هندسة ميكانيكية وإنتاج جامعة النجم الساطع التقنية البريقة ليبيا، مجالات اهتماماته : تطبيقات الليزر في الصناعة، التصميم الهندسي بالحاسوب، التخطيط وهندسة الإنتاج، إدارة المشاريع والتدريب والتنمية البشرية.



3. يمكن تحديد درجة الحرارة ومدة الإبقاء من خلال تحديد نوع الصلب ومقدار الصلادة المرغوبة باستخدام مخططات تبين هذه العلاقة.
4. أن يراجع الصلب مباشرة بعد تصليده خاصة في حالة الأجزاء المعقدة الشكل لتلافي تكون شقوق الإخماد والإجهادات المسببة لها .
5. استخدام الألمونيوم على صورة سبائك في الاستخدامات الهندسية لتحسين الخواص الميكانيكية مثل قوة الشد والصلادة والتماسك .
6. إجراء المعالجة الحرارية (التصليد بالتعتيق) لزيادة الصلادة للألمونيوم .
7. الحذر عند استخدام المعالجة الحرارية للنحاس لأنه يعتبر مادة سمية.
8. التوسع في دراسة تأثير المعالجة الحرارية بإجراء جميع الاختبارات الميكانيكية (الصلادة والصدم والكلل والشد) لكل نوع من أنواع الصلب على حدة.

المراجع

- [1] د. عبد الوهاب محمد عوض، أ.د. إبراهيم علي الدرويش- مقاومة واختبار المواد- الجزء الأول- دار الراتب الجامعية، بيروت 1986م.
- [2] د.عبد الوهاب محمد عوض، أ.د. إبراهيم علي الدرويش-مقاومة واختبار المواد- الجزء الثاني- دار الراتب الجامعية،بيروت 1986م.
- [3]د.م.محمد محمود حمدي، د.م.فاروق أحمد شحاتة-خواص واختبار المواد الهندسية-مكتبة الأنجلو،القاهرة 1985 م.
- [4]د.مصطفى السيد شحاتة، د.أحمد محمد دياب-خواص واختبارات مقاومة المواد المعدنية- دار الراتب الجامعية ،بيروت 1990 م.
- [5]. نوفيكوف،م.زاخاروف- المعاملات الحرارية للمعادن والسبائك- دار مير للطباعة والنشر،موسكو الاتحاد السوفييتي 1972 م .
- [6] وليد عاصم حنا، ليث قيس عباس ومنار عبدالجبار، دراسة تأثير أوساط التقسية البوليمرية على بعض الخواص لسبيكة الفولاذ الواطئ السبائكية نوع (St37) 2009.
- [7] محمد عز الدهشان – مدخل إلى علوم المواد وهندستها الجزء الأول – النشر العلمي والمطابع – جامعة الملك سعود، الرياض 1987م.
- [8] أ.هيكينس-المتالورجيا الهندسية الميتالورجيا الفيزيائية التطبيقية-دار التقني للطباعة والنشر،1986م.