1.1 المقدمة

تعد السبائك الحديدية المختلفة ، خصوصا السبائك المعروفة باسم الفولاذ ، من اهم ثمار الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر الميلادي ، وقد مثلت هذه السبائك الحجر الاساسي في التقدم التقني و النهضة المادية و التطور العمراني و الانشائي الحديث ، اما سر اهميتها فهو خواصها المتفوقة على فلزاتها الاساسية منفردة . ومن المعلوم ان تحسين خواص المادة (ميكانيكية كانت ام تكنولوجية) لا تنفرد به صناعة السبائك فقط ، ولكن يمكن ايضا تحقيق ذلك التفوق من خلال المعالجات الحرارية والسطحية ، حيث ان تسخين المشغولات الى درجة محدودة ، وتبريدها بمعدلات معينه سواء اكان ذلك اثناء او بعد تشكيلها ، يمكن من الوصول الى صفات افضل . وعلى الرغم من ان المعالجات الحرارية كانت من الفنون القديمة التي استخدمها الانسان عن طريق التجربة ، الا انها تحولت حديثا الى علم من علوم الفلزات له اساسه العلمي و تفسيراته المقبولة . و تنقسم المعالجات الحرارية الى اربع مجموعات اساسية : (تلدين ، مراجعه ، تصليد و تطبيع) . وهي تهدف جميعها الى تغيير التركيب الفيزيائي للقطعة المعالجة ، ومن ثم الوصول الى خواص محددة تناسب استعمالات القطعة وظروف تشكيلها ، فعلى سبيل المثال ،اثناء تشكيل القطع يلزم تلدينها لتقليل مقاومة المشغولات للشد ولتخفيض القوة الخارجية اللازمة للتشكيل ، كما يلزم اجراء عمليات التلدين بعد تسوية السطح لإزالة الاجهادات الداخلية فيه .

تتطلب بعض انواع الفولاذ – كما في فولاذ العدة – تصليد القطع للوصول الى اعلى من الصلادة لتخفيض امكانية حدوث التآكل الميكانيكي بها . وتهدف المراجعة و التطبيع الى رفع مقاومة المادة ومتانتها ، وعلى الاخص رفع مقدار النسبة بين حد المرونة وحد الانهيار . ويمكن تحقيق هذه الخواص بدرجات مختلفة من الجودة على حسب نوع المعالجة . وتقوم المعالجة السطحية على اساس تكوين طبقات سطحية بصلادة أعلي من صلادة الطبقات الداخلية للمعدن والهدف من ذلك رفع مقاومة التآكل وزيادة الصلادة السطحية، او تحسين المظهر الخارجي ، واضافة لمسه جمالية عليه . وتشمل المعالجات السطحية التصليد السطحي بالكربنة او النتردة او الكربنة والنتردة ، او وضع الطليات الفلزية او غير الفلزية في صورة عضوية او اكاسيد وغيرها على السطح الخارجي للقطع.

لقد قطعت معظم الدول العربية شوطا متقدما في الصناعات الفلزية ، وعلى وجه خاص استخلاص الحديد و الفولاذ ، وذلك بهدف تامين مصدر ثابت لمواد الإنشاء ، وبالذات مواد البناء . ولكن رغم بدء هذه الصناعات منذ زمن بعيد في الدول العربية ، الا ان جميع منتجات الفولاذ من هذه الدول قد اقتصر استخدامها على الإنشاءات الاعتيادية فقط ، ولم يتم استخدامها في تطبيقات متميزة . كما لم يصاحب انتشار الصناعات الحديدية في معظم البلدان العربية ، للأسف الشديد ، تأليف علمي بالعربية او حتى ترجمة عدد من الكتب و المراجع العلمية المتخصصة في هذا المجال الحيوي المهم لكي يستفيد منها الدعامة البشرية الاساسية من المهندسين و المشرفين و الفنيين والملاحظين الذين يمثلون عصب الانتاج و العمود الفقري لهيكل الصناعة .

من غير المتوقع ان يحدث تقدم وتطوير في انتاج السبائك ، او التعرف على اساليب المعالجات الحرارية و السطحية ان لم يكن القائمون على ذلك بدرجة عالية من فهم اساسيات هذه التقنيات و مبادئها .

2.1 مشكلة البحث

ايجاد العلاقة بين درجات حرارة التصليد المختلفة و الخواص الميكانيكية للحديد الصلب.

3.1 اهمية البحث

يعطي المشروع اهمية للاستخدامات المختلفة للحديد الصلب وذلك بناء على درجات حرارة التصليد بحيث تحدد هذه الدرجات الخصائص الميكانيكية للحديد الصلب وبالتالي تحدد الطرق المثلي لاستخدامات الحديد الصلب في شتى المجالات.

كما يعتبر البحث اداة مرجعية للدارسين باللغة العربية في مجال المعالجات الحرارية و خصوصا التصليد الحراري.

4.1 مجال البحث

يغطي البحث علاقة خصائص الصلب الميكانيكية مع درجات حرارة التصليد المختلفة

5.1 اهداف البحث

i. التعرف على العلاقة بين الخواص الميكانيكية للحديد الصلب ودرجات حرارة التصليد المختلفة.
ii. وضع منهجية للتعامل مع الحديد الصلب المصلد.
iii. ابتكار استخدامات غير مألوفة للحديد الصلب بناءً على معالجته حراريا بالتصليد.

1.2 مقدمة

حصل إنسان ما قبل التاريخ على الحديد من النيازك، ومن ثَمّ استخدمه في صناعاته. وكلمة حديد تعني في العديد من اللغات القديمة فلز من السماء. ولقد استُخدم حديد النيازك في فترات قديمة جدًا يعتقد أنها تصل إلى أربعة آلاف عام قبل الميلاد. ولكن لا توجد أي أدلة مؤكدة تبين بداية استخدام الحديد المستخلص بالصهر والاختزال من الخامات الأرضية، أو تشير إلى المكان الذي بدأ استخلاص الحديد فيه لأول مرة.

ويُعتقد أن الحيثيين هم أول من عرف الحديد بكميات ضخمة. وقد عاشوا فيما يعرف الآن باسم تركيا. وفي عام 1400 ق.م. اكتشف الحيثيون كيفية تصنيع الحديد وأساليب تصليد العُدد والأسلحة الحديدية. وحول هذه الفترة نفسها تقريبًا طوّر سكان كل من الصين والهند طرقًا وأساليب لاستخلاص الحديد. وعندما وصل العالم إلى القرن العاشر قبل الميلاد كانت معظم الحضارات القديمة حينذاك قد توصلت إلى تقنيات تصنيع الحديد، وهكذا بدأ العصر الحديدي.

حضّر يعقوب بن إسحاق الكندي (260هـ، 873م) أنواعًا من الحديد الفولاذ بأسلوب المزج والصهر، فقد مزج كمية من الحديد المطاوع، وكان يسمى الزماهن، وكمية أخرى من الحديد الصلب (الشبرقان) وصهرهما معًا ثم سخنهما إلى درجة حرارة معلومة بحيث نتج عن ذلك حديد يحتوي على نسبة من الكربون تتراوح بين 0.5 و 1.5 %. وعندما تحدث ابن سينا (428هـ، 1037م) عن النيازك قسمها إلى نوعين حجري، وحديدي وهو نفس التقسيم المتبع في الوقت الراهن. [١]

يرجع استخدام الإنسان للحديد إلى ما قبل التاريخ. كما يرجع تاريخ أقدم المنتجات الحديدية، للألفية الخمسة قبل الميلاد في إيران و الألفية الثانية قبل الميلاد في الصين، وكانت مصنوعة من النيازك. ومن غير المعروف متى أو أين بدأ صهر الحديد من خاماته، ولكن هناك دلائل تشير إلى إنتاجه عن طريق صهر خاماته قرب نهاية الألفية الثانية قبل الميلاد في الهند و جنوب الصحراء الكبرى في إفريقيا.

اكتشف الحيثيون أنتاج الحديد قديماً في أفران تستخدم فيها منفاخ لضخ الهواء من خلال كومة من الحديد الخام والمدفون في الفحم. يختز لأول أكسيد الكربون الناتج من حرق الفحم خامة الحديد لينتج الحديد. لم تكن الحرارة الناتجة كافية لصهر الحديد، لذا فإن الجزء السفلي من

المعدن الناتج يكون على شكل كتلة إسفنجية، تعج بالمسام الممتلئة بالرماد والخبث. يعاد تسخين الحديد الناتج لتليينه وصهر الخبث، ومن ثم يُطرق مراراً وتكراراً لإزالة الخبث المنصهر. ناتج هذه العملية الطويلة والشاقة هو الحديد المطاوع، وهو سبيكة مرنة ولكن ضعيفة نوعاً ما.

ومع الوقت، اكتشف الحدادون في الشرق الأوسط، أن الحديد المطاوع يمكن أن يتحول إلى منتج أقوى بكثير عن طريق تسخينه في وعاء يحتوي على الفحم النباتي لبعض الوقت، ومن ثم غمره في الماء أو الزيت حتى يخمد. نتج عن هذه الطريقة تكون طبقة خارجية للقطعة من الصلب، وهي سبيكة من الحديد و كربيد الحديد، والتي كانت أكثر صلادة وأقل هشاشة من البرونز وبدأت تحل محله. وقبل عام 200 ق.م، استطاع الهنود إنتاج صلب عالي الجودة في جنوب الهند بصهر الحديد الخام والفحم والزجاج في بواتق حتى ينصهر الحديد ويذيب الكربون. انتقلت تلك الفكرة من الهند إلى الصين بحلول القرن الخامس الميلادي. [١]

في القرن الحادي عشر، صنع الصينيون الصلب بطريقة تشبه إلى حد ما طريقة بسمر، عن طريق إزالة الكربون جزئياً بطرق الحديد بصورة متكررة مع نفخ الهواء البارد. مما استدعى إزالة مساحات كبيرة من الغابات لتفي بحاجة صناعة الحديد من الفحم.

تقدمت صناعة الحديد أكثر وأكثر باختراعات المسلمين، خلال العصر الذهبي للإسلام. شمل ذلك إقامة مصانع لإنتاج المعادن. وبحلول القرن الحادي عشر، انتشرت تلك المصانع في كل الولايات الإسلامية من الأندلس وشمال أفريقيا غرباً إلى آسيا الوسطى شرقاً. كما أن هناك دلائل تشير إلى استخدام ما يشبه الفرن العالي في عصر الدولة الأيوبية.

اخترع المسلمون أحد أشهر أنواع الصلب في العصور الوسطى وهو الصلب الدمشقي، واستخدموه في صناعة السيوف، في الفترة من عام 900م إلى عام 1750م. أنتج هذا الصلب باستخدام بواتق بطريقة تشبه الطريقة الهندية، ولكنه يحتوي على الكربيدات مما يجعل السيوف أكثر كفاءة في القطع.

2.2 كيفية تكون الحديد

يتكوّن الحديد داخل النجوم العملاقة عند نهاية دورة حياتها، في عملية تسمى بعملية احتراق السيليكون. تبدأ العملية عندما تندمج نواة ذرة كالسيوم مستقرة مع نواة ذرة هليوم ، لتتكون ذرة تيتانيوم غير مستقرة. وقبل أن تتحلل ذرة التيتانيوم الغير مستقرة، تندمج مع ذرة هليوم أخرى،

لتتكون ذرة كروم غير مستقرة. ثم قبل أن تتحلل ذرة الكروم الغير مستقرة، تتحد مع ذرة هليوم أخرى، لتكوين ذرة حديد غير مستقرة. وقبل أن تتحلل ذرة الحديد الغير مستقرة، تتحد مع ذرة هليوم أخرى، لتكوين ذرة نيكل غير مستقرة. [٢]

تتحلل ذرة النيكل الغير مستقرة إلى ذرة كوبالت غير مستقرة، والتي تتحلل أخيراً إلى ذرة حديد مستقرة .Fe وعندئذ لا تندمج ذرات الحديد المستقرة مع أي عنصر آخر، فتشكل بذلك قلب النجم، ويبدأ النجم عندئذ بالتجمد ويتجه للاستقرار.

3.2 المعادن والسبائك (Metals & Alloys)

تستخلص المعادن من المواد الخام الخاصة بها ثم تتم تنقيتها .والمعادن في صورتها النقية لا تملك جميع الخواص الهندسية المطلوبة ، ولجعل المعادن أكثر فائدة يتم خلط المعادن مع بعضها . يسمى المعدن الجديد سبيكة . [١]

1.3.2 أنواع السبائك

تنقسم السبائك الى :

i. السبائك الحديدية، وهذه السبائك يكون الحديد فيها هو المادة الأساسية بالإضافة للكربون
ii. السبائك غير الحديدية، وهذه السبائك تضم معادن أخرى غير الحديد في تكوينه

2.3.2 الحديد النقي

هو معدن صلب؛ وهو المادة الرابعة التي وجدت على سطح الأرض ونذكر بعض خواصه:

i. ذو خاصية مغناطيسية وتبلغ درجة ذوبانه (1450°c)
ii. ثقيل الوزن.
iii. موصل للكهرباء و موصل للحرارة.
iv. يصدأ إذا تعرض للهواء الرطب و يكون لونه فضي أو بني إذا كان صدئا .
v. يمتاز باليونة قابل للسحب وقابل للثني.

الشكل (1.2) يوضح خامات الحديد

3.3.2 أنواع الحديد الصلب

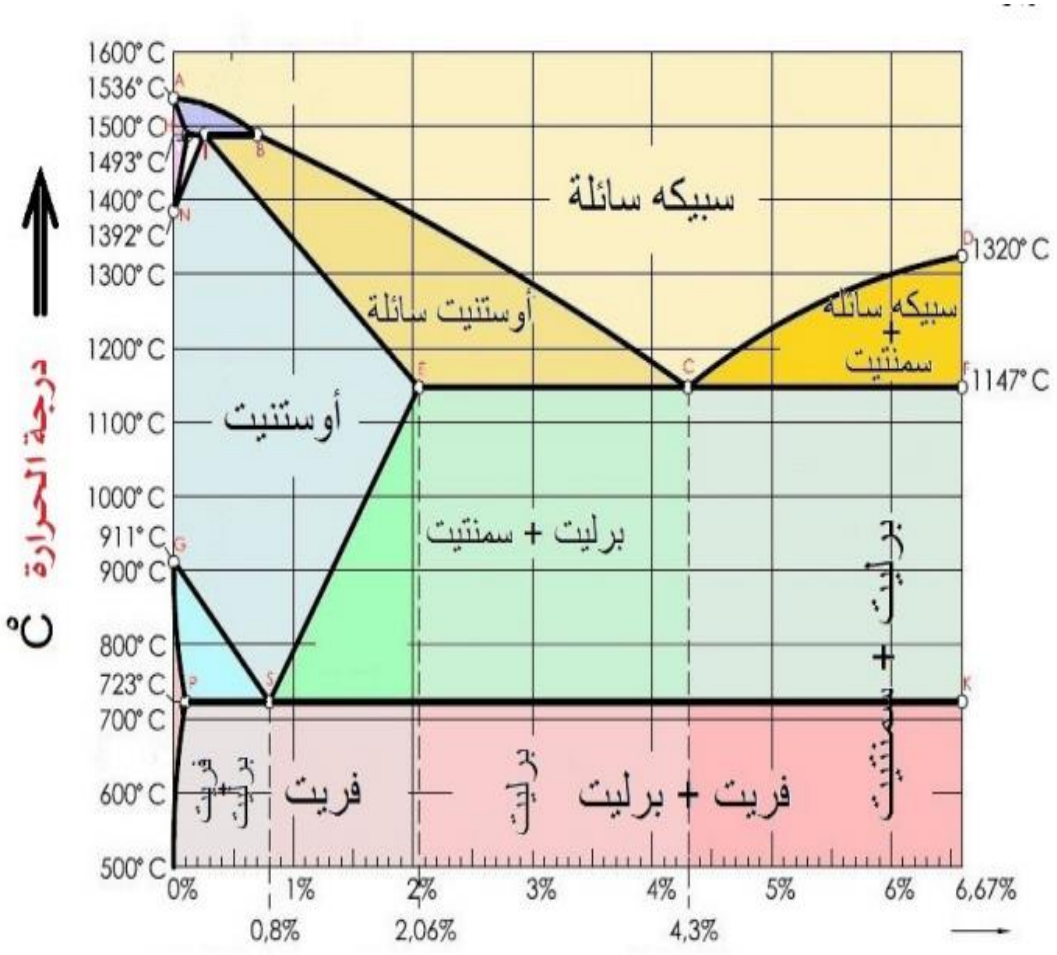
الجدول(1.2) يمثل انواع الحديد الصلب و نسبة و خواصه و استخداماته

نوع الحديد الصلب	نسبة الكربون	الخواص	الاستخدامات
منخفض الكربون	(.008-.25)	اجهاد شد منخفض _ سهل التشكيل _ رخيص الثمن	مسامير البرشام _ الكباري
متوسط الكربون	(.25-.6)	القوة _ المرونة _ مقاومة عالية للكلال	التروس _ اعمدة نقل حركة المحاور
عالي الكربون	(.6-1.4)	قوي جداً _ مقاومة عالية للشد	الحبال السلكية (الياي)
صلب العدة	(.35-.45)	الصلابة _ المتانة _ مقاومة عالية للتأكل	ادوات القطع

4.2 منحنى الاتزان الحراري للحديد والكربون

وتعتبر سبائك الحديد والكربون من النوع الذي يكون مركبًا كيميائيًا، وسنبحث فيما يلي جزءا من منحنى الاتزان الحراري للحديد والكربون[٥] لأهميته في:

i. معرفة حدود المعالجات الحرارية.
ii. معرفة التركيب البلوري لأطوار السبائك.
iii. معرفة كمية الأطوار في السبائك.
iv. العلاقة بين تركيب بنيات السبائك وخواصها الميكانيكية والطبيعية.



الشكل(2.2) يوضح منحنى الاتزان الحرارى للحديد و الكربون [٥]

1.4.2 انواع الفولاذ حسب منحني الاتزان للحديد و الكربون

ينقسم الفولاذ حسب منحني الاتزان للحديد و الكربون إلى :

1.1.4.2 الفولاذ اليوتكتيدي:

هو الفولاذ الذي يحتوي على كربون بنسبة 86% وبنية هذا الصلب تحتوي على طبقات متوازنة من الحديد ألفا (فرايت) وكربيد الحديد (السيمنتيت) ويسمى هذا المخلوط الميكانيكي بالبرليت وتظهر البنية تحت المجهر على هيئة صدفية الشكل .عند تسخين الصلب لدرجة أعلى من 727°C يتحول هذا الطور الى استنيت.

2.1.4.2 الفولاذ قبل اليوتكتيدي:

هو الفولاذ الذي يحتوي على كربون بنسبة (22– 86 %) وتتكـون هـذه البنية من الفرايت وكميات غير متوازنة من البرليت عند التسخين فوق 727°C درجة مئوية يتحول البرليت الي اوستنيت وعند الاستمرار بالتسخين يتحول الفرايت ايضًا إلى أوستنيت.

3.1.4.2 الفولاذ بعد اليوتكتيدي:

هو الفولاذ الذي يحتوي على كربون بنسبة اكثر86% ويتكون من صفائح من السيمنتيت وكميات غير متوازنة من البرليت. عند التسخين لدرجة أعلى من 727°C درجة مئوية يتحول البرليت إلى أسمنتيت وعند الاستمرار بالتسخين إلى درجات حرارة عالية يتحول الأسمنتيت ايضا.

5.2 الخواص الميكانيكية للحديد الصلب

هي الخواص التي تعطي فكره عن صفات المعدن ومدى امكانية تشكيله [٤]، و تنقسم إلي:

i. المطيليه (Ductile) :

قابلية الحديد لتحمل التشوية الناتج عن تأثير قوى الشد دون تمزق كما في عمليتي سحب الاسلاك والانابيب .

ii. اللدونة (Plasticity):

قابلية الحديد للصمود امام التشوهات الناتجة عن تأثير قوى الضغط دون تمزق كما في عمليتي الحدادة و الدرفلة .

iii. الصلادة (Hardness):

مقاومة الحديد للخدوش أو الاختراق أو التغلغل أو التأكل بواسطة أجسام أخرى .

iv. المتانة (Toughness):

قابلية الحديد على تحمل أو مقاومة اجهادات القص مثل الحني دون ان تنكسر وعكسها الليونة أو الطراوة.

v. القصافة (Brittle):

هي قابلية الحديد للتقصف عند تعرضه لإجهاد يحاول تغيير شكلة .

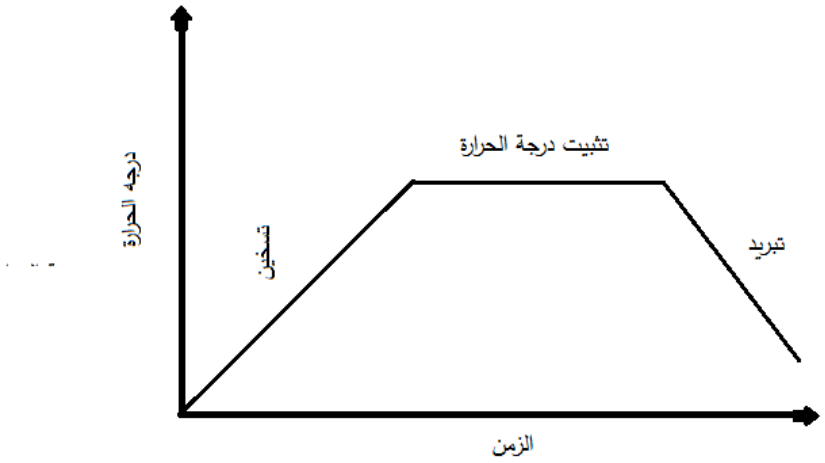
vi. المرونة (Elasticity):

هي قابلية الحديد للتغيير عند تعرضه لإجهاد و قابليته للرجوع الى شكلة الاصلي من دون اي تشوه عند زوال السبب .

6.2 المعالجات الحرارية للحديد الصلب

المقصود بالمعالجة الحرارية هو رفع درجة حرارة المعدن إلى درجة حرارة معينة و تثبت درجة الحرارة لفترة زمنية ملائمة ومن ثم التبريد بمعدل معين فهذه العوامل الثلاثة:

i. درجة الحرارة التي يسخن إليها المعدن.
ii. زمن تثبيت درجة الحرارة.
iii. معدل التبريد.



الشكل (3.2) يوضح دورة المعالجة الحرارية

لها تأثير بالغ الاهمية على الخواص المراد تحقيقها من المعالجة الحرارية لذا ينبغي أن تحدد هذه العوامل بصورة دقيقة ؛ وأن أي خطأ في تحديد هذه العوامل يؤدي إلى عدم تحقيق الخواص المطلوبة والغاية المتوقعة من المعالجة الحرارية. [٤]

1.6.2 أهداف المعالجة الحرارية

تهدف المعالجة الحرارية للاتي :

i. تحسين الخواص التكنولوجية (التشغيلية والتشكيلية) للمعدن وذلك بزيادة لدونته مما يسمح بزيادة إنتاجية التشغيل وعدم حدوث تشوهات أثناء عمليات التشكيل مثل الكبس والسحب ....الخ.

ii. إكساب المعدن الخواص النهائية المرغوب فيها ويتم ذلك على قطع العمل المنتهية مثل (التصليد، التصليد السطحي). [٢]

2.6.2 علاقة المعالجات الحرارية بالخواص الميكانيكية للصلب

i. المعالجة الحرارية تزيد من مرونة ولدونة الصلب (عملية التخمير).

ii. المعالجة الحرارية تزيد من مقاومة الصلب للخدش والتآكل (عملية التصليد).

iii. المعالجة الحرارية تقلل من الهشاشة الموجودة في الصلب بعد عملية التصليد (عملية المراجعة).

iv. المعالجة الحرارية تعمل على تنظيم التركيب البيني للمعدن نتيجة لتغيره في عمليات التشكيل على البارد (عملية المعادلة).

7.2 أنواع المعالجة الحرارية

هناك أربعة أنواع من المعالجات الحرارية التي تجرى لغرض تغيير خواصه الميكانيكية وهي :

i. التصليد أو التقسية Harding.

ii. التخمير (التلدين) Annealing.

iii. المعادلة (الاستعدال) Normalizing.

iv. المراجعة (التطبيع) Tempering.

1.7.2 التخمير (التلدين) Annealing

هو أحد أشكال المعالجات الحرارية حيث يتم تسخين المعدن تسخينا بطيئا وإبقاؤه عند هذه الدرجة فترة زمنية معينة ومن ثم تبريده تبريداً بطيئا داخل الفرن و تترك داخل الفرن لتبرد، ويتم ذلك على ثلاث مراحل:

i. نمو الحبيبات.
ii. إعادة التبلور.
iii. التخلص من الإجهادات الداخلية.

1.1.7.2 أنواع التخمير:

i. التخمير لإزالة الإجهادات
ii. تايد إعادة التبلور (التخمير الشامل)
iii. التخمير الحبيبي (تخمير التكوين)
iv. المراجعة (التطبيع)

الغرض من عملية المراجعة : تقليل القصافة، تقليل الصلادة بنسبة قليلة، زيادة المتانة.

2.7.2 المعادلة (الاستعدال) Normalizing

تتم عملية المعادلة برفع درجة حرارة الصلب أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا بمقدار 40°C . ومن ثم يتم التبريد إلى درجة حرارة الغرفة بالهواء الساكن ، الهدف من عملية المعادلة:

i. تحسين الخواص التشغيلية للصلب.
ii. إعادة استدقاق البنية إثر عوامل التضخم الحبيبي للبنية.
iii. توحيد الحجم الحبيبي في البنية.
iv. الحصول على مقاومة للشد وصلادة أعلى مع خواص تشغيلية أفضل عن تلك التي يتم الحصول عليها في حالة التخمير الكامل.

3.7.2 المراجعة (التطبيع) Tempering

لا تستخدم قطع العمل المصلدة في التطبيقات العملية كما هي وذلك لقصافتها ويلزم إجراء عملية المراجعة لتقليل هذه القصافة وذلك برفع درجة حرارة الصلب إلى درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة الدنيا (أقل من 723°C) ومن ثم تركها تبرد تبريداً بطيئاً. الغرض من عملية المراجعة:

i. تقليل القصافة.
ii. الصلادة بنسبة قليلة.
iii. زيادة المتانة.

4.7.2 التصليد أو التقسية (Hardness)

تهدف هذه العملية إلى زيادة صلادة الفولاذ ورفع مقاومته لإجهاد الشد ومقاومة التآكل بالاحتكاك ويتم التصليد إما بالتشكيل على البارد أو بالمعالجات الحرارية.

1.4.7.2 تكنولوجيا التصليد:

الصلب (الفولاذ) من المعادن المتأصلة .ففي درجات الحرارة الأعلى من النطاق الحرج العلوي يكون عبارة عن أوستنيت وله نظام شبكة بلورية مكعب متمركز الوجه (FCC) والتي تذيب الكربون .

عند تبريد الصلب (الفولاذ) تبريدا بطيئا يتحول إلى الفريت ذي الشبكة المكعبية المتمركزة الجسم التي لا تذيب الكربون .

عند التبريد السريع الفجائي وسرعة التحول من الشبكة المكعبية المتمركزة الوجه إلى الشبكة المكعبية المتمركزة الجسم لا تجد ذرات الكربون فرصتها للخروج خارج حدود الذرات

فتحشر داخل الذرات مكونة بنية صلدة وقصفة تسمى المرتنزيت ولا يحدث ذلك إلا بالتبريد المفاجئ السريع. [٣]

2.4.7.2 الأسس الفنية لعملية التصليد:

i. درجة حرارة التصليد:

يتم تسخين الصلب اليوتكتيدي والقبل يوتكتيدي بمقدار 15°C ما فوق النطاق الحرج العلوي، أما الصلب ما بعد اليوتكتيدي فيتم تسخينه بمقدار 15°C إلى ما بعد النطاق الحرج السفلي يتم اختيار درجة الحرارة حسب نسبة الكربون بحيث يتحول طور الفرايت الى أوستنيت ذلك طور البيرليت الى اوستنيت.

ii. وجوب تجانس الأوستنيت قبل التبريد:

لضمان التوزيع المنتظم لذرات الكربون داخل حبيبات الأوستنيت حتى لا نحصل على صلب ذي صلادات متباينة، وتحسب في الغالب ساعة لكل 2.5 من القطر.

iii. الانتقال الحراري أثناء عملية التبريد:

صلادة قطعة العمل تعتمد على سرعة التبريد فيجب التقليب السريع والمستمر أثناء التصليد للتخلص من الطبقة الغازية المحيطة لقطعة العمل.

iv. نوع وسيط التبريد:

يجب أن يتمتع وسيط التبريد ولو بشكل نسبي بميزة استيعاب كمية الحرارة في اللحظات الأولى لعملية التبريد لضمان تكون المرتنزيت ثم بمعدل تبريد منخفض لمنع التشوه الذي قد يحدث في منطقة العمل، ومن وسائط التبريد المستخدمة الماء، الزيت، الماء والملح، الملح المنصهر، الهواء الساكن.

v. درجة حرارة وسيط التبريد:

كلما زادت درجة حرارة وسيط التبريد قل معدل التبريد، ولضمان ذلك يجب استخدام كميات كبيرة من وسيط التبريد وإحداث حركات دوامية أثناء تقليب قطع العمل.

vi. سطح قطعة العمل المصلدة:

تتكون على سطح قطعة العمل طبقة من الأوكسيد نتيجة بخار الماء وهذه الطبقة تقلل معدل التبريد ويتغلب على ذلك بعدة طرق منها:

a. الطلاء بالنحاس.

b. استخدام جو خامل داخل فرن التسخين.

c. التسخين في حمامات الأملاح المنصهرة.

d. إحاطة الجزء ببرادة حديد الزهر.

3.4.7.2 العيوب الممكن حدوثها أثناء عملية التصليد:

i. انخفاض الصلادة وتحدث نتيجة عدم التسخين إلى درجة الحرارة اللازمة أو عدم التبريد بالسرعة الكافية

ii. الصلادة المتفاوتة وتحدث لعدم تجانس الأوستنيت في البنية

iii. تأكسد السطح واحتراق الكربون فيه ويحدث نتيجة عدم عزل سطح القطعة المصلدة.

iv. اعوجاج وتشقق المشغولات وهو من أخطر العيوب ويحدث نتيجة الإجهادات الكبيرة التي تحدث أثناء عملية التصليد لذلك يجب تدوير أركان القطع المصلدة والتدرج في مقاطع المشغولات .ويمكن أن ينتج عن الزيادة الكبيرة في درجة الحرارة. [٦]

8.2 انواع التصليد

هنالك عدة انواع للتصليد منها الآتي:

1.8.2 تصليد بالتسقية (quenching hardening)

يتم رفع الصلادة (أو تصليد) والمقاومة الميكانيكية لكل من الفولاذ الكربوني والفولاذ السبائكي من خلال تسخين القطع المعالجة الى التركيب الاوستونيتي– أي الى درجة حرارة فوق درجة الحرارة العليا ،والاحتفاظ به عند تلك الدرجة لفترة زمنية مناسبة تعتمد على سمك المقطع –يليه تبريد سريع مفاجئ (تسقية– وتعرف ايضا باسم إخماد) الى درجة حرارة الغرفة. ويستخدم لعمليات التبريد –وسيأتي ذكرها بالتفصيل فيما بعد– الماء، أو الماء الملحي، أو الزيت أو الهواء البارد . وعندما يكون معدل التبريد منخفضا، يتحول الاوستنيت الى برليت رقائقي، وبزيادة معدل التبريد، فإن البرليت الناتج يكون عندئذ في صورة دقيقة وأكثر صلادة، وعندما يزيد معدل التبريد على معدل التبريد الحرج (قيمة محددة لكل سبيكة) يتحول الاوستنيت الى مارتنزيت، والمارتنزيت هو أصلد البنى في الفولاذ، وعموما، فإن الفولاذ الناتج عن هذه المعالجة يتميز بارتفاع صلادته، ويمكن استخدامه لتصنيع القطع التي تحتفظ بنصل قاطع حاد حتى تحت اقسى ظروف الاستخدام. واللقم المصنعة من الفولاذ المصلد بالتصدية يمكنها مقاومة البري ، كما أن هذه المعالجة ترفع مقاومة أجزاء الآلات للكسر. ورغم الميزات المذكورة يجب ان نتذكر ايضا ان الفولاذ العالي الصلادة غالبا ما يكون عرضة للتقصف الزائد او ارتفاع في التقصف، وعلى مهندس التصميم أو مهندس الفلزات الذي يقترح أسلوب المعالجة الحرارية، ان يحاول الوصول الى الحالة المثالية التي تجمع بين اقصى صلادة ممكنة واقصى متانة ممكنة ايضا. وأفضل حل مثالي لهذه المعضلة يمكن ان يحقق من العلاقة: صلادة عالية ومتانة مقبولة من خلال عملية التسقية، يليها عملية التطبيع.

ولتحقيق تصليد الفولاذ بالتسقية ، والحصول على قيم الصلادة المطلوبة بطريقة مرضية، فلا بد من توافر ثلاثة شروط أساسية هي على النحو التالي:

i. محتوى كربوني مناسب من الفولاذ السبائكي لتكوين المارتنسيت.

ii. التسخين لدرجة الحرارة الصحيحة مع إعطاء القطع المعالجة الزمن الصحيح للوصول الى التشريب الحراري الصحيح؛ بحيث يتحول كامل التركيب البنائي الى الحالة الواسطية.

iii. معدل تبريد سريع بما فيه الكفاية، ولا بد ان يكون التبريد صحيحا بحيث لا يسمح بأي تحول قبل الوصول الى درجة حرارة التحول المارتنزيتي.

2.8.2 التصليد السطحي:

يكون التصليد السطحي على سطح قطع العمل فقط؛ وذلك للحصول على سطح صلد ، يقاوم التآكل و الاحتكاك مع الاحتفاظ بقلب لين يقاوم الصدمات بشكل عام على الصلب منخفض الكربون وذلك بعدة طرق: [٧]

a. التصليد بالكربون(الكربنة):

تتم للصلب الكربوني منخفض الكربون نسبة الكربون أقل من 25. % و تعتمد علي تغلغل الكربون وانتشاره على سطح الصلب مكوناً مركب كربيد الحديد بعد تسخينه لدرجة تكون الأوستنيت، والكربون يكون محاطاً بقطعة العمل على شكل صلب أو سائل أو غاز.

وتنقسم الكربنة الى الاتي :

i. الكربنة في وسط صلب: توضع قطع العمل في صناديق وتكون محاطة بالمادة الكربونية مثل فحم الخشب أو الفحم الحيواني أو فحم العظام أو الجلد الحيواني وتوضع على مسافات 50mm؛ و تضاف مادة منشطة مثل كربونات الصوديوم أو كربونات الباريوم ويحكم غلق الصندوق بحشو إسمنتي مانع للتسرب ويسخن ببطء حتى درجة حرارة الكربنة °C (900–950) و يحفظ عند هذه الدرجة لمدة تصل إلى خمس ساعات تبعا لسمك الطبقة المطلوبة.

ii. الكربنة في وسط سائل: تتم في حمامات منصهرة تحتوي على (20% – 50%) من سيانيد الصوديوم مع كربونات الصوديوم بنسبة تصل إلي 40 % ثم يضاف كلوريد الصوديوم أو الباريوم ، ويسخن هذا الخليط الغني بالسيانيد في بواتق مغلفة بالألمنيوم حتى درجة حرارة °C (950_870) ، ويغمر المنتج الموضوع في سلال من السلك لفترات تتراوح من خمس دقائق وحتى ساعة وذلك حسب الطبقة المطلوبة. ومن مميزات هذه الطريقة نظافة سطح المشغولات ودقة التحكم في درجة حرارة الحمام المنصهر مع إمكانية تبريد السلة الحاوية للمنتج تبريداً فجائيًا، وتستخدم هذه الطريقة لإنتاج طبقة رقيقة على السطح من سمك 0.1mm حتي 0.25mm

iii. الكربنة في وسط غازي: تجرى عمليات الكربنة الغازية في الأفران ذات الإنتاج المتقطع والأفران الإنتاجية و فيها تسخن المنتجات حتي 900°C لمدة ثلاث أو أربع ساعات في جو يحتوي على الكربون.

b. التصليد بالنتروجين (النتردة) :

تشبه النتردة عملية الكربنة، وذلك باستخدام النيتروجين بدًلا من الكربون بالإضافة إلى أن عملية النتردة تحتاج إلى أنواع خاصة من الصلب السبائكي وتتم في درجات حرارة منخفضة نسبياً 550°C في غرفة محكمة يمر بداخلها غاز الأمونيا(النشادر).

c. التصليد بالسيندة (السيانيد):

وفي هذه الطريقة يغمس الفولاذ في مصهور سيانيد البوتاسيوم لفترة قصيرة ويبرد بعد ذلك تبريداً فجائيا سريعا، حيث يمتص الفولاذ بعضا من الكربون والنيتروجين، ما يؤدي إلى زيادة الصلادة السطحية، وتطبق هذه الطريقة للحصول على تصليد سطحي قليل العمق.

3.8.2 التصليد باللهب:

تتم عملية التصليد باللهب على المشغولات الكبيرة، وذلك لتصليد مناطق محددة مثل مواضع المرتكزات على المحاور، ويتم تسخين السطح بلهب غاز، مثل خليط غاز

الأسيتيلين والأوكسجين ويبلغ عمق طبقة التصليد أقل من 1mm ويتم التحكم بواسطة درجة حرارة اللهب وفترة التسخين.

4.8.2 التصليد بالحث الكهربائي:

يستخدم ملف لإنتاج مجال مغناطيسي متردد يحدث تيارات دوامية في قطعة العمل، ويؤدي سريان التيار إلى ارتفاع سريع في درجة حرارة الطبقة السطحية المطلوب تصليدها، حيث يبلـ عمق التصليد من mm (50–2) وتستخدم هذه العملية في أغلب الأحوال في المشغولات السابق تصليدها وتطبيعها، ومن مميزات هذه الطريقة إمكانية التحكم في عمق الطبقة السطحية المصلدة وقلة التشوه في المشغولات الناجم من عملية التصليد.

الصلب الكربوني الذي يحتوي على نسبة كربون أقل من 0.25% لا يقبل المعالجات الحرارية.

9.2 اختبارات الصلادة (Hardness Tests)

صلادة المادة هي خاصية تعبر عن مدي مقاومة سطح المادة لاختراق بواسطة مادة اخري او مقاومة السطح للخدش او التآكل او الاحتكاك.

حيث تستخدم طرق متفق عليها عالميا لقياس صلادة المادة و تكون علي اساس كلما زادت صلادة المادة صعب اختراقها او خدشها. [٨]

من اكثر اختبارات الصلادة شيوعا الانواع الاتية:

i. اختبار برنيل (Brinell test)
ii. اختبار فيكرز (Vickers test)
iii. اختبار روكويل (Rockwell test)
iv. اختبار ارتداد ليب (Leeb Hardness Test)

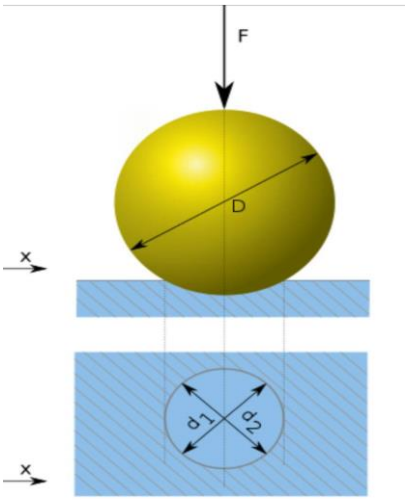
و هذه الاختبارات الثلاثة تعتمد علي قوة تضغط علي المادة المقاسة صلادتها فيحدث لها تشوه لدن.

1.9.2 اختبار برنيل (HB):

في هذا الاختبار تستخدم كرة صغيرة من الفولاذ المصلد حيث تضغط الكرة لمدة (10–15) ثانية علي سطح المادة المراد قياس صلادتها تحت مفعول قوة قياسية ، بعد إزالة التحميل و الكرة يقاس قطر الموضع الذي أحدثته الكرة في السطح.

اما رقم برنيل يوجد بقسمة القوة التي استخدمت علي المساحة السطحية لموضع الكرة.

اختبار برنيل لا يمكن استخدامه في مواد لينة جدا نسبة لتساوي قطر الموضع المضغوط علية مع قطر الكرة المستخدمة و أيضا لا يمكن استخدامه في مواد صلدة جدا لأنه من الممكن عدم ظهور موضع مضغوط علي السطح مما لا يمكن من قياس قطرها. لهذا فإن الاختبار يصلح لمواد تتعدي صلادتها 450 HB بكرة فولاذية.

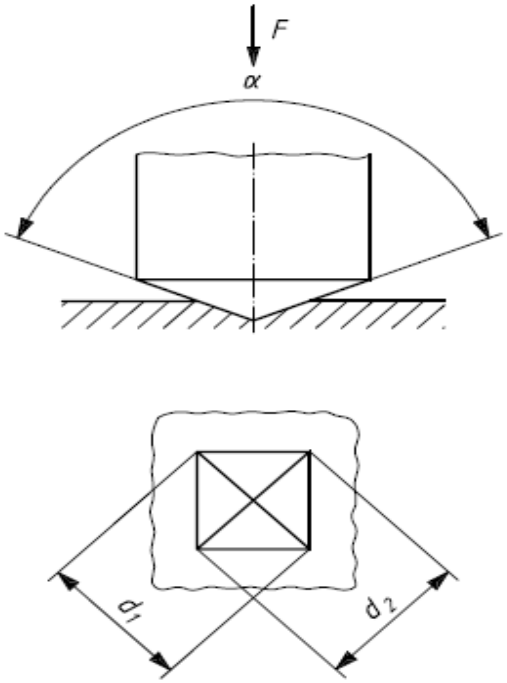


الشكل (4.2) يوضح اختبار برنيل

2.9.2 اختبار فيكرز (HV):

فيهذا الاختبار يوضع مثلث من الماس علي شكل هرم بقاعدة رباعية و زاوية رأسية 136درجة. حيث يضغط المثلث تحت حمل (15_10) ثانية علي سطح المادة المقاسة ليكون الأثر علية بعد إزالة القوة الضاغطة شكلا رباعيا فتقاس الاوتار لحساب و إيجاد رقم فيكرزHV.

لهذا الاختبار ميزة علي اختبار برنيل نسبة للدقة الزائدة.



الشكل(5.2) يوضح اختبار فيكرز

3.9.2 اختبار روكويل (HR):

هذا الاختبار يختلف عن اختبار برنيل و فيكرز في ان قيمة الصلادة لا تكون بدلالة المساحة السطحية و إنما باستخدام عمق السطح.

يستخدم في هذا الاختبار مثلث مخروطي الشكل من الماس او كرة من الفولاذ المصلد.

4.9.2 اختبار صلابة ارتداد ليب (Leeb) :

هو واحدة من الطرق الأربع الأكثر استخداما لاختبار صلابة المعدن .

الشكل(6.2) يوضح اختبار ليب

وقد تم تطوير طريقة "انتعاش ليب" لاختبار الصلابة في عام 1975 من قبل العالم"ليب" لتوفير اختبار صلابة المحمولة للمعادن. وقد تم تطويره كبديل لمعدات قياس صلابة التقليدية غير المعقدة وأحيانا المعقدة. أول منتجل "انتعاش ليب " في السوق كان اسمه "إكوتيب"، وهي العبارة التي لا تزال تستخدم بشكل مترادف مع "انتعاش ليب" بسبب تداول واسع من المنتج "إكوتيب".

قياسات الصلادة التقليدية، على سبيل المثال، من روكويل، فيكرز، وبرنيل، هي ثابتة، والتي تتطلب محطات عمل ثابتة في مناطق اختبار منفصلة أو المختبرات. في معظم الأحيان، وهذه الطرق هي انتقائية، والتي تنطوي على اختبارات مدمرة للعينات.

من النتائج الافراد، هذه الاختبارات استخلاص استنتاجات إحصائية ل دفعات كاملة. قابلية اختبار ليب يمكن أن تساعد في بعض الأحيان على تحقيق معدلات اختبار أعلى دون تدمير العينات، وهذا بدوره يبسط العمليات ويقلل من التكلفة

1.3 تجهيز عينات الاختبار

تم تحضير العينات المراد اجراء التجارب عليها كالاتي :

تم اختيار نوع المعدن، حيث تمت معاينة عمود من الحديد متوسط الكربون و تم التأكد من مطابقته للمواصفات المطلوبة ، كما تم تحديد ابعاد العينات حيث تقرر استخدام الابعاد (الطول 10mm و القطر 65mm) وذلك بناء على توصية مشرف المشروع و مشرف معمل المعادن وذلك لاعتبارات خاصة بأبعاد الفرن المستخدم حيث اوصى بالأبعاد المذكورة لكي يتثنى ادخالها و إخراجها تصليدها بصورة جيدة في الفرن المستخدم .

تم قطع العمود الي الطول المطلوب وذلك باستخدام منشار كهربائي ، حيث قطع العمود اولاً الى قطعة كبيره بطول 80mm، لكي يتم تقطيعها فيما بعد الى العينات المطلوبة .

الشكل (1.3) يوضح المنشار المستخدم

بعد ان تم الحصول على العمود بطول 80mm تم تقطيع العمود الى 6 قطع بطول 10mm تقريبا ، حيث تم استخدام ادوات قياس مثل القدمة لمعايرة الطول عند القطع في المنشار الكهربائي ، كما تمت معايرة اطوال العينات بعد القطع باستخدام (فرنية) حيث تم التأكد من مطابقة الطول المطلوب .

بعد التأكد من مطابقة الاطوال تم اخذ العينات الى ماكينة خراطة وذلك للحصول على القطر المطلوب ، حيث تمت خراطة العينات من قطر 90mm الى قطر65mm وذلك باستخدام قلم خراطة خارجي في سرعة متوسطة عند الخراطة و سرعة عالية عند التشطيب وبعدد اشواط قطع متفاوتة .

تم التأكد من القطر باستخدام فرنية وتم تغير اعدادات الماكينة استعدادا لعملية التشطيب ،حيث يتم التشطيب في سرعة عالية ،حيث تم وضع الماكينة في سرعة 600 لفة/دقيقة وذلك للحصول على تشطيب ناعم وذلك على كلتا جانبي القطعة .

بعد ذلك تم زيادة التنعيم باستخدام (صنفره) وذلك بتشغيل القطعة في سرعة عالية و تحريك الصنفرة في عكس اتجاه الدوران حتى الحصول على سطح انعم ولامع .

بعد ذلك تم نقل القطعة الى معمل المعادن ، حيث تم تنعيم القطعة مره اخرى باستخدام ماكينة التنعيم و بذلك اصبحت القطع جاهزة لعملية التصليد .

في المعمل تم اختيار مقياس الصلادة (Leeb) وذلك بناء على تجارب سابقه حيث وجد ان المقياس اعلاه يعطي نتائج ادق .

استخدم جهاز اختبار الصلادة (Hardness Tester TH160) وهو جهاز يعتمد على مبدأ فقدان الطاقة او ما يسمى بمبدأ صدم الجسم في اختبار الصلادة حيث يمتاز الجهاز بعدم تدمير العينات.

تم تقسيم القطع الى ثلاث مجموعات حيث تحتوي كل مجموعة على قطتين تبرد احداهما في الماء العادي واخرى في ماء مالح ، وتم تقسيم العينات الى ثلاث مجموعات بناء على درجات الحرارة المراد التصليد فيها حيث تم تصليد المجموعة الاولى في درجة حرارة 700°C (درجة الحرارة تحت الحرجة) و الثانية في درجة 850°C (درجة الحرارة الحرجة) و الثالثة في درجة 1000°C (درجة الحرارة فوق الحرجة) وذلك لكي تكون احدى الدرجات تحت درجة حرارة التصليد والثانية تمثل درجة حرارة التصليد و الاخيرة تمثل درجة اعلى من درجة حرارة التصليد.

الشكل (2.3) يوضح جهاز قياس الصلادة (Hardness Tester TH160)

الشكل (3.3) يوضح العينات قبل دخول الفرن

تم قياس درجات الصلادة للعينات المستخدمة قبل التصليد حتى يتثنى مقارنتها مع النتائج بعد عملية التصليد ، حيث تحصلنا على النتائج التالية :

الجدول(1.3) يمثل متوسط قراءات صلادة العينات قبل التصليد

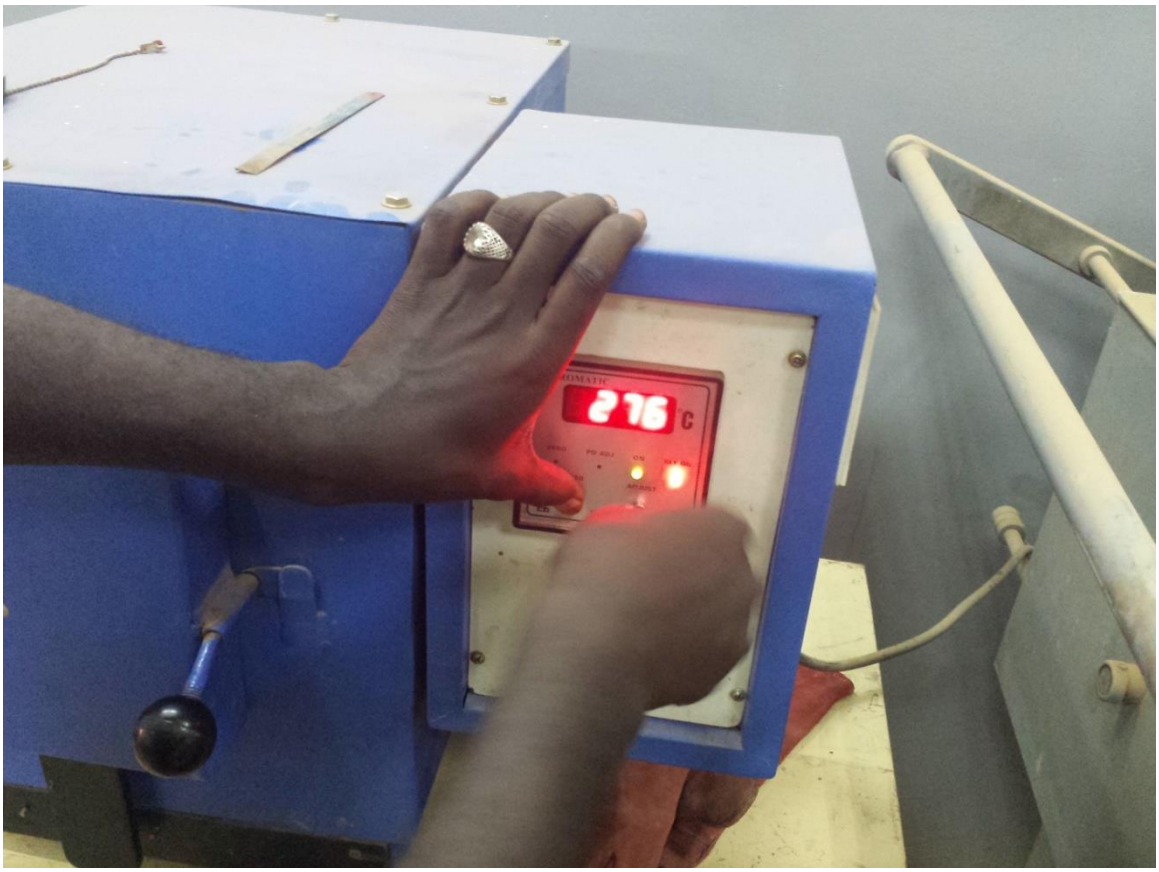
ماء عادي	432	322	390
ماء ملح	415	388	390

تمثل القراءات اعلاه متوسط لجميع العينات قبل التصليد .

وبعد ذلك ادخلت اول عينتين الى الفرن.

2.3 طريقة عمل الفرن

توضع العينة داخل الفرن ويتم تشغيل الفرن ويعاد ضبط درجة حرارة الفرن الى الصفر حيث يتم ضغط زر الضبط الموضح في الصورة مع تحريك المؤشر حتى الصفر ، ومباشرة (دون افلات زر اعادة الضبط) يحرك المؤشر الى الدرجة المطلوبة ومن ثم يترك المؤشر و زر الضبط فيرجع عداد الحرارة حتى الصفر ومن ثم يزيد حتى الدرجة المطلوبة .



الشكل (4.3) يوضح طريقة ضبط الفرن

عند وصول العداد الى الدرجة المطلوبة يفصل الفرن أوتوماتيكيا ويبقى في الدرجة المطلوبة حتى فصله من الكهرباء.

يتم قياس المدة المراد التصليد فيها يدويا ، حيث يفصل التيار يدويا و تخرج القطعة.

تم تبريد العينتين و قراءة النتائج التالية :

بالنسبة للعينة الاولى بعد التصليد

الجدول(2.3) يمثل قراءات صلادة العينات بعد التصليد في 700°C

	١	٢	٣	Average
ماء عادي	596	471	405	491
ماء ملح	603	368	377	449

كل القراءات اعلاه بمقياس لييب للصلادة (HL)

بالنسبة للعينة الثانية بعد التصليد

الجدول(3.3) يمثل قراءات صلادة العينات بعد التصليد في 850°C

	1	٢	3	Average
ماء عادي	462	458	619	513
ماء ملح	532	464	493	493

كل القراءات اعلاه بمقياس لييب للصلادة (HL)

بالنسبة للعينة الثالثة بعد التصليد

الجدول(4.3) يمثل قراءات صلادة العينات بعد التصليد في 1000°C

	1	2	3	Average
ماء عادي	362	353	459	391
ماء ملح	438	482	438	419

كل القراءات اعلاه بمقياس لييب للصلادة (HL)

الشكل (5.3) يوضح العينات بعد التصليد

1.4 النتائج و تحليل البيانات :

من خلال الدراسة للنتائج المتحصل عليها في الباب الثالث قد توصلنا للاتي :

i. عند التصليد في درجة الحرارة 700°C زادت درجة التصليد بالنسبة للعينتين

ii. عند التصليد في درجة الحرارة 700°C كانت درجة الصلادة للعينة المبردة في الماء العادي اعلى من تلك المبردة في ماء الملح وذلك لان الماء العادي يبرد اسرع من ماء الملح و بالتالي تحول من اوستنيت الى مارتنزيت اعلى من ماء الملح .

iii. عند التصليد في درجة الحرارة 700°C نحصل على معدل تصليد متوسط بالمقارنة بدرجات التصليد الاخرى

iv. عند التصليد في درجة الحرارة 850°C زادت صلادة العينتين

v. التصليد في درجة الحرارة 850°C كانت درجة الصلادة للعينة المبردة في الماء العادي اعلى من تلك المبردة في ماء الملح وذلك لان الماء العادي يبرد اسرع من ماء الملح و بالتالي تحول من اوستنيت الى مارتنزيت اعلى من ماء الملح .

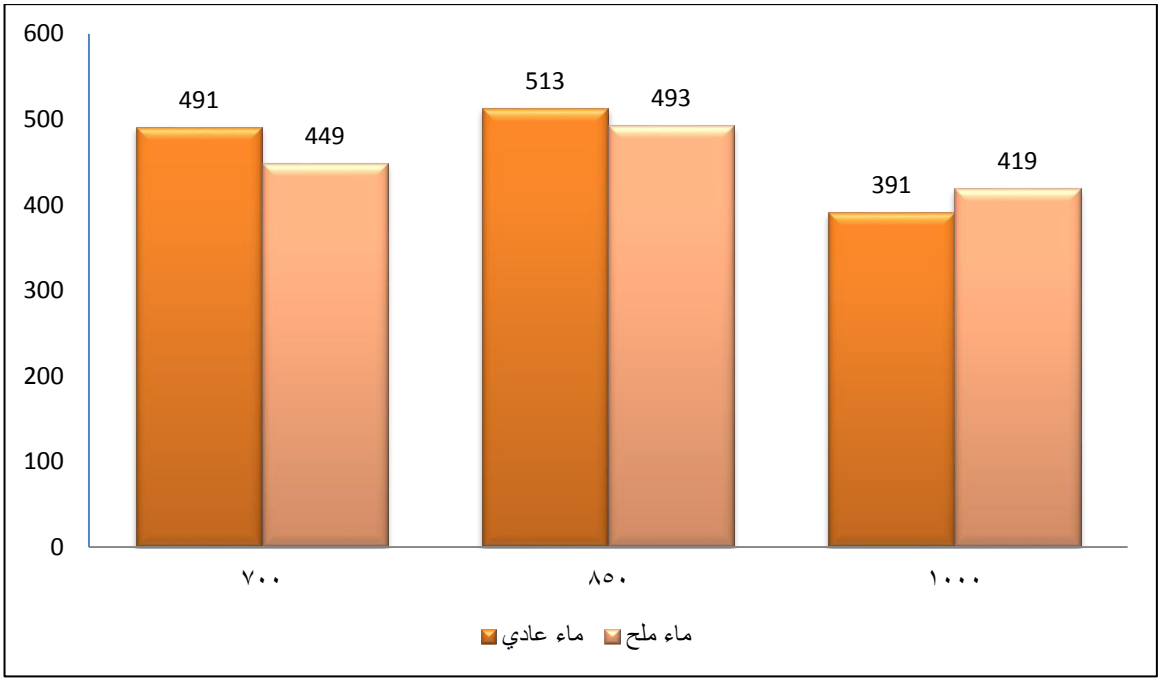
vi. التصليد في درجة الحرارة 850°C اعلى من التصليد في درجة حرارة 700°C

vii. عند التصليد في درجة حرارة 1000°C زادت الصلادة زيادة طفيفة

viii. عند التصليد في درجة حرارة 1000°C كانت العينة المبردة في ماء الملح اعلى صلادة من تلك المبردة في الماء العادي

ix. عند التصليد في درجة حرارة 1000°C نحصل على اقل معدل صلادة مقارنة بالتصليد في درجات الحرارة الاخرى

الجدول (1.4) يوضح العلاقة بين درجات حرارة التصليد و الصلادة المتحصل عليها بمقياس لييب للصلادة



الجدول (1.4) يوضح العلاقة بين درجات التصليد ودرجات حرارة التصليد

2.4 التوصيات :

من خلال الدراسة التي تمت على النتائج اعلاه و التقصي للحقائق المعروضة نقدم جملة من التوصيات نوردها كالاتي :

i. عند التصليد في درجة الحرارة 700°C تصلد العينات التي تحتاج الى تصليد متوسط
ii. عند التصليد في درجة الحرارة 850°C تصلد العينات التي تحتاج الى تصليد عالي
iii. عند التصليد في درجة الحرارة 1000°C تكون الزيادة في الصلادة خفيفة جدا
iv. التبريد في الماء العادي او الاوساط المائية يزيد من الصلادة
v. يمكن تحليل البنية البلورية للقطعة المعالجة في حالة توفر امكانية إجراء ذلك

3.4 قائمة المراجع

(١) ب. ممدوح عبد الغفور حسن ، مملكة المعادن ، الطبعة الثانية ، الشركة العربية للنشر و التوزيع ، القاهرة ١٩٩٧م.

(٢) د. محمد عز الدهشان ، الحديد و الفولاذ : المعالجات الحرارية و السطحية ، الطبعة الثالثة ،مكتبة الملك فهد الوطنية ، الرياض ١٩٩٩م.

(٣) د. عارف أبو صفية ، ديناميك الحرارة الميتالورجية ، الطبعة الاولى ، مركز التعريب و النشر ، بغداد ١٩٨٥م.

(٤) د. عبد الرازق اسماعيل خضر ، المعاملات الحرارية للمعادن الحديدية و اللاحديدية ، الطبعة الاولى ،دار المعتز للنشر و التوزيع ، القاهرة ٢٠١٤م.

(٥) د. عبد الرحيم سعد عمر ، علم الفلزات ، الطبعة الاولى ، دار عزة للطباعة و النشر ، الخرطوم ١٩٩٩م.

(٦) د. حسين باقر رحمة الله ، مبادئ هندسة المعادن و المواد ، مطبعة جامعة الموصل ، الموصل ١٩٨٥م.

(٧) د. محمد فيصل الرفاعي ، التسقية _ تجهيز المشغولات ، دار شبرنجر فيرلاج للنشر ، برلين ١٩٧٩م.

(٨) د. محمد عزالدين حلمي ، علم المعادن ،الطبعة الرابعة ، مكتبة الانجلو المصرية ، القاهرة ١٩٧٧م.