# تأثير تغير نسبة الكربون و درجة التسخين لعملية التصليد على نتائج الصلادة للصلب متوسط الكربون

جيهان عبد الرحيم الداعور
قسم الهندسة الميكانيكية- جامعة الزيتونة

تاريخ الاستلام 2023/03/20 j.aldaoor@azu.edu.ly

**الملخص**

المعالجات الحرارية يطلق عليها أيضاً المعاملات الحرارية وهي عملية صناعية, والمقصود بها هو رفع درجة حرارة المعدن أو السبيكة إلي درجة حرارة معينة (درجة الحرارة الحرجة) وتثبت درجة الحرارة لفترة زمنية ملائمة من ثم التبريد بمعدل تبريد معين ،وعليه فإن الغرض من هذا البحث هو دراسة تأثير المعالجة الحرارية المعروفة باسم (التصليد) للصلب متوسط الكربون ذو نسب مختلفة من الكربون على خاصية الصلادة والتغير في التركيبة المجهرية للعينات كنتيجة لهذه المعالجة، حيث تم اختبار مجموعة من عينات الحديد متوسط الكربون و تم التأكد من مطابقتها للمواصفات المطلوبة بالتحليل الكيميائي باستخدام جهاز التحليل الطيفي و عليه تم تحديد نسب العناصر الموجودة في العينة المختبرة ليكون لدينا أربع قيم لنسب الكربون وهي (0.318٪ ، 0.403٪ ، 0.628٪ ، 0.807٪) حيث تم الحصول على العينات المراد إجراء التجارب عليها من معسكر 47 التابع لهيئة التصنيع الحربي بالهيرة مما يجعل العينات موضوع البحث تحت مسمى الصلب متوسط الكربون ، ثم قطعت العينات إلى أجزاء و ذلك باستخدام منشار كهربائي ليكون عددها 4 أجزاء لكل نسبة و

من ثم استخدام عينة واحدة من كل نسبة في قياس الصلادة والفحص المجهري قبل المعالجة الحرارية، ثم سخنت الثلاث عينات المتبقية من كل نوع في الفرن بحسب المواصفات القياسية لدرجات حرارة (750– 900 – 1000°م) ثم تبريدها في وسط مائي، وعند التبريد السريع بواسطة الماء كان الشكل الأبري الناتج يعبر عن المارتنسيت مع وجود جرافيت على شكل كروي، مع ملاحظة نشوء عدد من كريات السمنتيت عند نهاية محور الصفائح ، حيث يتواجد عدد من الكريات التي مازالت مرتبطة بالصفائح و العدد القليل قد انفصل عنها و يلاحظ أيضا وجود نمو حجمي و أيضاً تحتوي البنية على الفيرايت و كريات من السمنتيت المعزولة و الكبيرة الحجم نسبيا.

بينما عند مقارنة قيم الصلادة لجميع العينات ما قبل المعالجة و ما بعدها عند درجات الحرارة المختلفة للتصليد أتضح أن أعلى قيمة تم تسجيلها للعينة التي تحوي نسبة كربون 0.318٪ عند 900°م وأقل قيمة للصلادة للعينة التي تحوي نسبة كربون 0.628٪ و المعالجة عند 750°م ويعزى ذلك لعدم كفاية التحول الكامل للأوستنيت مما نتج عنه قصور في تكون المارتنسيت ما أدى إلى تسجيل أقل صلادة.

**الكلمات الأستدلالية:** التصليد - صلب متوسط الكربون - المعالجة الحرارية – المارتنسيت - السمنتيت

**أهداف البحث**

إيجاد العلاقة بين نسب الكربون و درجات حرارة التسخين المختلفة لأنواع من الصلب الكربوني والمقارنة بين قيم الصلادة الناتجة لتأثير هذه المعالجة الحرارية المسماة بالتصليد أو التقسية (Hardening) حيث تتضمن هذه العملية تسخين الصلب الكربوني لدرجة حرارة تعلو درجة الحرارة الحرجة العليا للصلب المطلوب معالجته ثم إبقاؤه في هذه الدرجة لفترة زمنية تسمى زمن التشبع الحراري بعدها تتم عملية التبريد بوسط تبريد مثل الماء لتكون البنية الناتجة ذات صلادة

عالية جداً ثم الحصول في حال نجاح العملية على بنية المارتنسيت، حيث أن نسبة الكربون 0.3 هي الحد الأدنى المقبول لنجاح التصليد والجدول (1) يبين تأثير نسبة الكربون على مدى تعديل خصائص الصلب بالتسخين و التبريد.

الجدول (1) / تأثير نسبة الكربون على خصائص الصلب بالتسخين و التبريد (م. عارف راوح & م. محفوظ يا ماجد، 2017، ص15-16 )

| نوع الصلب | النسبة المئوية للكربون | تأثير التسخين و التبريد |
|---|---|---|
| صلب منخفض الكربون | أقل من 0.3٪ | لا تأثير (يمكن إهماله) |
| صلب متوسط الكربون | 0.5-0.3 | يصبح أكثر صلادة |
| | 0.9-0.5 | |
| صلب عالي الكربون | 1.3-0.9 | يصبح صلدا جداً |

**منهجية البحث**

تم إتباع المنهج الوصفي التحليلي و التجريبي لتحقيق أهداف البحث، حيث تم ترتيب خطوات البحث و تحديد الأدوات و توصيف الإجراءات اللازمة لإنجاز البحث، كالتالي:

- أخذ عينات الحديد متوسط الكربون من هيئة التصنيع الحربي بالهيرة و ذلك بتحديد نسب الكربون الموجودة في العينات المختبرة بواسطة التحليل الكيميائي عن طريق إستخدام جهاز التحليل الطيفي الموجود في المركز العالي للسباكة – سيدي السائح نوع Foundary Master Pro. و ذلك عن طريق عمل قوس كهربائي بين العينة و الإلكترود في وسط غاز خامل (غاز الأرجون) و ينتج عنه حرارة تؤدي إلى خروج عدة أطياف حسب كمية و نوع العناصر المكونة للمعدن و يتم ألتقاطها بواسطة عدة عدسات و تم تحليلها بواسطة الحاسوب لتحديد نسب تلك العناصر.

- قطع العينات إلى أجزاء و ذلك بإستخدام منشار كهربائي ليكون عددها 4 أجزاء لكل نوع ثم إستخدامها في قياس الصلادة والفحص المجهري قبل المعالجة الحرارية
- إستخدام المجهر الضوئي نوع (ZEISS)، مجهز بكاميرا رقمية مرتبطة بالكمبيوتر لإلتقاط صور للسطح بدرجة تكبير (100X) لدراسة التركيب الداخلي للعينات، عن طريق إعداد العينة المراد فحصها تحت المجهر بحيث تكون ذات سطح أملس خالي من الخدوش يشبه المرآة بواسطة تجليخ العينة بواسطة صحن دوار مثبتة عليه أوراق الصنفرة يحتوي على مادة حاكة متدرجة الخشونة من (220- 1200) تكون البداية بالخشن فالأنعم، ثم تصقل بواسطة قماش ذو نسيج خاص مبلل بسائل يحوي مادة حاكة مناسبة ذات حبيبات دقيقة الحجم ومن ثم تعريض سطح العينة لمحلول الإظهار لعدة ثوان تبعاً لمادة العينة، و محلول الإظهار المستخدم يتكون من (98٪ كحول مثيلي +2٪ حمض النيتريك) و لتوضيح نتائج الفحص المجهري بدقة أكثر تم إستخدام جهاز تحليل الصور نوع (ZEISS) و الذي من خلاله تحديد نسبة الأطوار المكونة للسبيكة في مساحة محددة.
- إستخدام طريقة روكويل لإختبار الصلادة بالضغط على سطح العينة عن طريق محدث الأثر الكروي أو المخروطي، ثم أخذ عدة قراءات في أماكن مختلفة للعينات (قبل المعالجة الحرارية) و ذلك بإستعمال الجهاز BULUT – BMS 201 – R حسب المواصفة ASTM E 18 ، ثم حساب المتوسط للقراءات.
- إجراء المعالجة الحرارية بإستخدام فرن كهربائي و ذلك بتسخين العينات في الفرن عند درجة حرارة (750 – 900 – 1000 °م) لكل النسب المستخدمة من الصلب الكربوني ثم تبريد العينات في الماء.

- إعادة الفحص المجهري وإختبار الصلادة للعينات المعالجة حرارياً.
- تحليل النتائج و مقارنتها.

**المقدمة**

الحديد أحد أكثر المعادن تواجداً في القشرة الأرضية وهو في صورته النقية معدن فضي اللون رقمه الذري 26 وتبلغ كتلته الذرية 55.85 وحدة كتل ذرية (amu) وكثافته 7.85 جرام/سم$^3$ . يتجمد الحديد المصهور عند درجة 1534$^0$م في نسق المكعب المركزي الجسم (BCC) ويطلق عليه في هذه الصورة دلتا$\delta$ فيريت، وبإنخفاض درجة الحرارة عند 1391 $^0$م يتحول الحديد إلى نسق المكعب المركزي الأوجه FCC ويسمي بحديد $\gamma$ (جاما) وبإستمرار التبريد يتحول الحديد مرة أخري عند 910$^0$م إلى نسق المكعب المركزي الجسم ويطلق عليه $\alpha$(الفا) فيريت الذي يبقي مستقرا في درجات الحرارة التي تقل عن ذلك يتميز الحديد في صورة $\alpha$ فيريت بخواص مغناطيسية مرتفعة حتى درجة 768$^0$ م التي عندها يفقد الحديد خواصه المغناطيسية وتسمي تلك الدرجة بنقطة كوري (Curie Point). يشكل الحديد الأساس المعدني لجميع السبائك المعروفة بالصلب والحديد الزهر، كما أن الكربون من أهم العناصر التي يجري تسابك الحديد معها ولا تخلو منه أية سبيكة تقوم على أساس الحديد . والكربون عنصر لامعدني رقمه الذري 6 وكتلته الذرية 12 وحدة كتل ذرة (amu) وتبلغ كثافة الكربون 2.5 جرام/سم$^3$ ودرجة انصهاره 3500$^0$م ، تحت الظروف الإتزانية يتبلور الكربون في نسق الجرافيت السداسي ولكن يمكن أن يتواجد في نسق الماس المؤقت الإستقرار و يذوب الكربون في الحديد سواء في الحالة المنصهرة أو الحالة الجامدة كما يمكنه أن يكون مع الحديد مركبا كيميائيا هو كربيد الحديد (د. عياد عبد الواحد& د. كمال زاهر، 2004 ، ص 93-94).

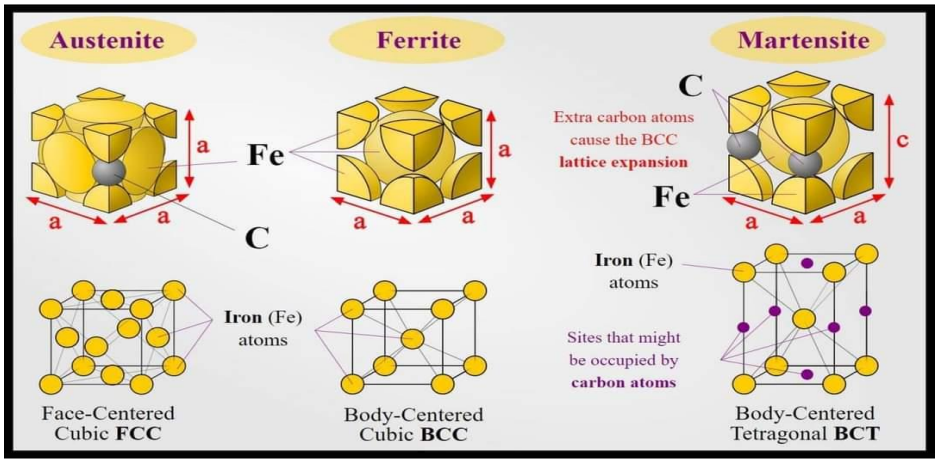
**الصلب الكربوني** موضوع البحث هو سبيكة أساسها الحديد يحتوي علي نسبة كربون لا تتعدي 1.4% إضافة إلي عناصر سبائيكية أخري مثل المنجنيز (1%) والسيلكون (0.3%) والفسفور (0.05%) والكبريت (0.05%). تؤثر نسبة الكربون علي خواصه الميكانيكية فزيادتها تقلل من قابليته للحام وسهولة تشكيله وتشغيله ومقاومته للشد ومقاومته للتآكل، والجدول (2) يبين أهم استخدامات الصلب الكربوني.

الجدول (2) أهم الاستخدامات الشائعة لأنواع للصلب الكربوني .(د. عثمان محمد عثمان & و آخرون،2005، ص 115-117)

| نوع الصلب | نسبة الكربون | أمثلة على الأستخدام |
|---|---|---|
| صلب منخفض الكربون | 0.15 – 0.1 | القضبان ، الأسلاك، الأنابيب المسحوبة |
| صلب طري | 0.3 -0.15 | صفائح الغلايات أعمال الجسور ، المقاطع الإنشائية |
| صلب متوسط الكربون | 0.5 -0.3 | المحاور ، مشغولات الحدادة ، أدوات الزراعة |
| | 0.7-0.5 | النوابض، عجلات القطارات ، قوالب الحدادة |
| | 0.9 -0.7 | النوابض، قوالب الحدادة الصغيرة ، الأزاميل |
| صلب مرتفع الكربون | 1.1 - 0.9 | قوالب الضغط، أدوات العمل على الخشب، السنابك |
| | 1.4 - 1.1 | الأمواس، المبارد، المثاقب، أدوات القياس |

تهدف التقسية (التصليد) إلي زيادة الصلادة للصلب ورفع مقاومته لإجهاد الشد ومقاومة التآكل بالاحتكاك ويتم التصليد إما بالتشكيل علي البارد أو بالمعالجات الحرارية. و بما أن الحديد من المعادن المتأصلة ففي درجات الحرارة الأعلى من النطاق الحرج العلوي يكون عبارة عن أوستنيت ذو الشبكة المكعبة المتمركزة الوجه والتي تذيب الكربون، وعند تبريد الحديد تبريداً بطيئا يتحول إلي الفيرايت ذو الشبكة المكعبة المتركزة الجسم التي لا تذيب الكربون لكن عند التبريد السريع الفجائي وسرعة التحول من الشبكة المكعبة المتمركزة الوجه إلي الشبكة المكعبة المتمركزة الجسم لا تجد ذرات الكربون فرصتها للانتشار خارج حدود الذرات فتحشر داخل الذرات مكونة بنية صلدة

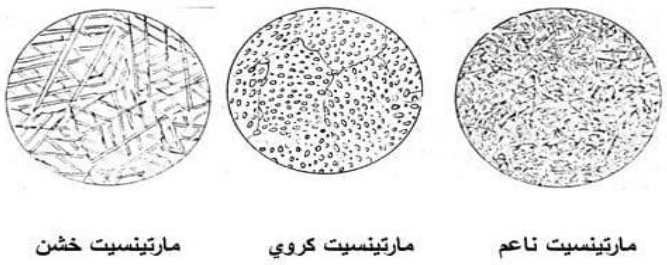
وقصفة تسمي المارتنسيت ولا يحدث ذلك إلا بالتبريد المفاجئ السريع. حيث يتكون المارتينسيت من محلول جامد مشبع من الحديد والكربون ، وله شكل بلوري رباعي ذو ضلعان متساويان ، والضلعان الآخران أكثر استطاله نتيجة لوجود ذرات الكربون، وهو السبب الأساسي وراء شدة صلابة المارتينسيت. و الشكل (1) يوضح الفرق في التركيب البلوري بين الأنواع سابقة الذكر.




شكل (1) التركيب البلوري للفيرايت و الأوستنيت و المارتنسيت (T. V. Rajan et.al ,1992)

ويظهر المارتينسيت تحت المجهر على شكل إبري رقيق أبيض أو دائري ، وهي صفائح شديدة الصلابة وهشة ، ولذلك فأن المارتنسيت عادة ما يحتاج إلى إزالة الإجهادات لزيادة الصلابة وتخفيض الصلادة ، ويتم ذلك بالتسخين إما إلى درجة حرارة ما بين 200 و 300 °م ويكون التركيب المجهري عبارة عن صفائح رقيقة من المارتنسيت الناعم داخل الفيرايت ، أو التسخين إلى ما بين 400 و 700 °م ثم التبريد السريع ليعطي بنية داخلية تتكون من كرات صغيرة تسمى بالمارتينسيت الكروي، وهذه البنية أقل صلادة من النوع الصفائحي. أما في حالة تسخين المعدن إلى درجة حرارة أعلى من المنطقة المحددة للتقسية في الأوستينيت فإن التركيب المجهري يكون مارتنسيت خشن أي يحتوي على صفائح كبيرة خشنة قاسية وهشة. وفي السنوات الأخيرة وجد أن الكثير من السبائك تحذو حذو

تكوين المارتنسيت في الحديد ومن هذه السبائك: الحديد والنيكل، النحاس والخارصين، والنحاس والألومنيوم، ومن مشاكل المارتينسيت وجود الإجهادات الداخلية والهشاشة أو التقصف وهذا يمكن تلافيه بالتطبيع. (د. عيسى بغني، 2014، ص87-88)

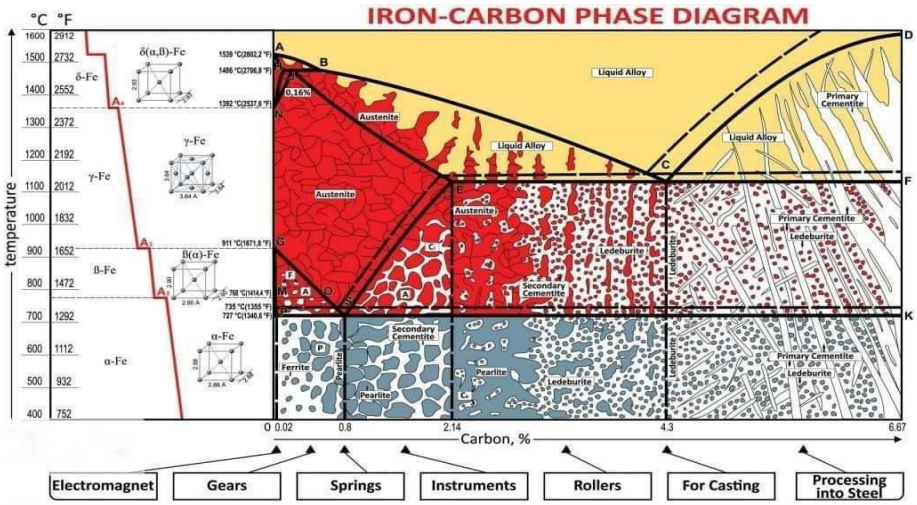



شكل (2) يوضح الفرق بين حالات المارتنسيت (د. عيسى بغني، 2014، ص87-88 )

### 1-1 / مخططات الإتزان الحراري- الطوري للحديد والكربون

تعتبر مخططات الإتزان الحراري الطوري من أهم المصادر التي تقدم معلومات عن سلوك المواد، فهي تزودنا بمعرفة التركيب الكيميائي والاستقرار الطوري عند تغير درجات الحرارة، ولقد تحددت معالم الرسم البياني لأطوار سبائك مجموعة الحديد و الكربون كما نعرفه الآن نتيجة الأبحاث التي قام بها عدد من علماء المعادن، وقد بدأ إنشاء هذا الرسم البياني العالم الروسي د. تشرنوف الذي أكتشف النقاط الحرجة للصلب عام 1868م و قد أعيد هذا الرسم أكثر من مرة من قبل علماء آخرون و لتوضيح منحنى التوازن الحراري بين الكربون والحديد تؤخذ سبائك من الحديد والكربون بنسب مختلفة، وتؤخذ كل منها إلى درجة الانصهار ثم تبرد وتسجل درجات حرارة معينة عند نقاط التوقف بحيث يمكن إظهار التغيرات الطورية التي تحدث أثناء عملية التبريد، حيث يتم تنظيم جدول بين درجة الحرارة والزمن لكل سبيكة ومن ثم توقع هذه البيانات على شكل منحنيات التبريد التي يمكن عن طريقها تحديد التغيرات التي تطرأ على السبيكة من بداية درجة حرارة التجمد إلى

درجة حرارة الغرفة ومن المعلومات التي يتم الحصول عليها من عدد كبير من السبائك التي تحتوي على نسب مختلفة من الكربون وبالتالي يمكن رسم العلاقة بين الحديد والكربون في درجات الحرارة المختلفة و أيضاً يمكن الحصول على مخطط الاتزان الطوري الحراري لنظام الحديد والكربون شكل (3). (د. عياد عبد الواحد& د. كمال زاهر، 2004 ، ص 193-195)




الشكل (3) التحولات الطورية التي تحصل عند تبريد أو تسخين الصلب

وفي الشكل (4) يلاحظ وجود ثلاث خطوط أساسية الخط الأول وهو خط أفقي يمثل درجة حرارة التحول السفلية وتسمى بدرجة حرارة إعادة التبلورعند 723 °م.

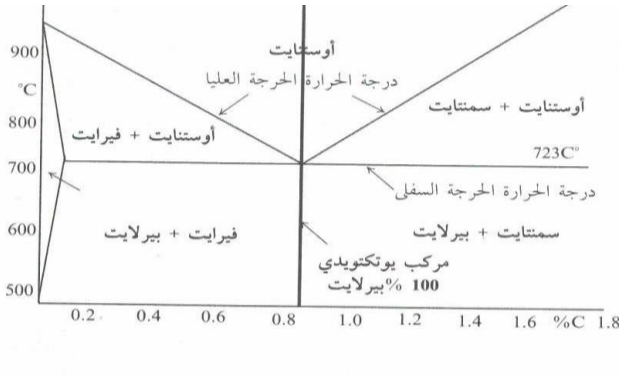
أما الخطان الآخران المائلان فيمثلان درجات حرارة التحويل العلوية أو(درجات حرارة إعادة التبلور العليا) ومن هذه الخطوط يمكن التعرف على :

1- درجة الحرارة التي يبدأ عندها الأوستنيت.

2- درجة الحرارة التي يكتمل فيها تكون الأوستنيت.

فأي محلول يقع أعلى من خط درجة الحرارة العليا هو عبارة عن محلول صلب من طور الأوستنيت.

(د. عثمان محمد عثمان و آخرون، 2005، ص 35-37).




شكل (4) جزء من مخطط الحديد والكربون الخاص بالصلب

ليتكون الصلب من ثلاثة أنواع رئيسية علي النحو التالي :

**1 - الصلب اليوتكتويدي**

هو الصلب الذي يحتوي علي كربون بنسبة (0.86٪) وبنية هذا الصلب تحتوي علي كمية متوازنة من الحديد ألفا (فيرايت) وكربيد الحديد (السيمنتيت) ويسمي هذا المخلوط الميكانيكي بالبيرلايت وتظهر البنية تحت المجهر علي هيئة صدفية الشكل.

**2- الصلب قبل اليوتكتويدي**

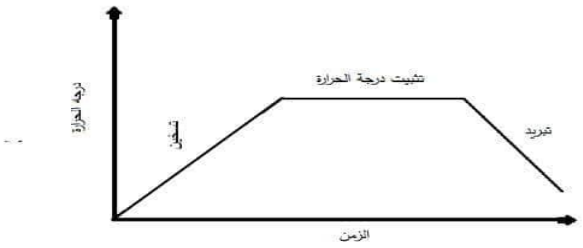
وهو الصلب الذي يحتوي علي كربون بنسبة أقل من (0.86٪) وتتكون هذه البنية من الفيرايت وكميات غير متوازنة من البيرلايت .

**3 - الصلب بعد اليوتكتويدي**

هو الصلب الذي يحتوي علي كربون بالنسبة أكثر من (0.86٪) ويتكون من صفائح السيمنتيت وكميات غير متوازنة من البيرلايت.

## 1-2/ المعالجة الحرارية للصلب Heat Treatment of Steel

المعالجات الحرارية يطلق عليها أيضاً المعاملات الحرارية وهي عملية صناعية, والمقصود بها هو رفع درجة حرارة المعدن أو السبيكة إلي درجة حرارة معينة (درجة الحرارة الحرجة) وتثبت درجة الحرارة لفترة زمنية ملائمة من ثم التبريد بمعدل تبريد معين شكل (5).




الشكل (5) يوضح دورة المعالجة الحرارية

### 1-2-1/ العوامل الأساسية لإجراء المعالجات الحرارية :

أ - درجة الحرارة التي يسخن إليها المعدن ب - زمن تثبيت درجة الحرارة

ج - معدل التبريد

حيث أن العوامل سابقة الذكر لها تأثير بالغ علي الخواص المراد تحقيقها من المعالجة الحرارية لذا ينبغي أن تتحدد هذه العوامل بصورة دقيقة , وأن أي خطأ في تحديد هذه العوامل يؤدي إلي عدم تحقيق الخواص المطلوبة والغاية المتوخاة من المعالجة الحرارية .(د. عثمان محمد عثمان & و آخرون،2005، ص 115-117)

### 1-2-2/ أنواع المعالجة الحرارية

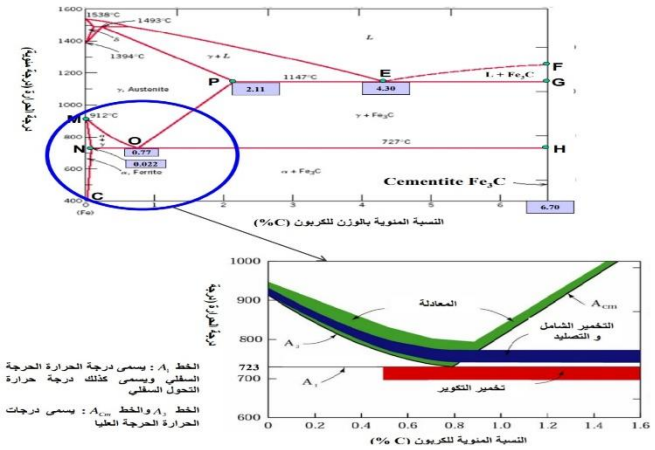
هناك أربعة أنواع من المعالجات الحرارية التي تجرى لغرض تغيير خواصه الميكانيكية وهي :

أ . التصليد (التقسية) Hardening ب. التخمير (التلدين) Annealing

ج . المعادلة (الإستعدال) Normalizing د. المراجعة (التطبيع ) Tempering

**1-2-3/ علاقة المعالجات الحرارية بالخواص الميكانيكية للصلب**

- المعالجة الحرارية تزيد من مرونة ولدونة الصلب (**عملية التخمير**)
- المعالجة الحرارية تزيد من مقاومة الصلب للخدش والتأكل (**عملية التصليد**)
- المعالجة الحرارية تقلل من الهشاشة الموجودة في الصلب بعد عملية التصليد (**عملية المراجعة**)
- المعالجة الحرارية تعمل على تنظيم التركيب البيني للمعدن نتيجة لتغيره في عمليات التشكيل على البارد (**عملية المعادلة**).( م. محمود أحمد عمري، 2008،ص 97-98)




شكل (6)/ أنواع المعالجات الحرارية التي من خلالها تتغير الخواص الميكانيكية للصلب الى وتكتوي دي

(د. عثمان محمد عثمان & و آخرون،2005 )

نستنتج من الشكل (6) أنه في حالة التركيب قبل الى وتكتوي دي يتم تسخين الصلب لدرجة حرارة فوق النقطة الحرجة العليا $A_3$ لجميع المعالجات الحرارية (تصليد - تخمير- معادلة)، أما التركيب بعد الى وتكتوي دي فالتسخين فوق النقطة الحرجة العليا $A_{cm}$ بالنسبة لعملية المعادلة

أما التصلىد والتخمىر فىكون التسخين فوق النقطة الحرجة السفلى$A_1$. (د. عثمان محمد عثمان & و آخرون،2005 )

**المواد والطريقة**

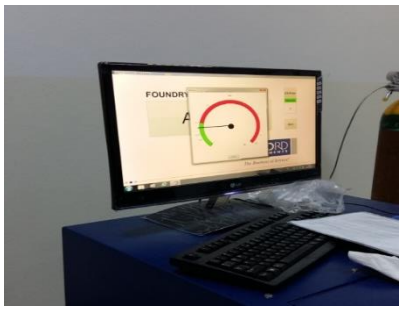
سيتم عرض خطوات و نتائج الإختبارات المعملية نتيجة لتأثير المعالجة الحرارية لعينات صلب متوسط الكربون بنسب مختلفة من الكربون على كل من تركيبه المجهري وصلادته، حيث تم إجراء الفحوصات المعملية بالمركز الليبي العالي المهني للسباكة بسيدي السائح وفق التسلسل التالي:

**2-1/ التركيب الكيميائي للعينات**

تم الحصول على العينات المراد إجراء التجارب عليها من هيئة التصنيع الحربي بالهيرة كما ذكر أنفاً شكل (7) حيث تم إختبار مجموعة من عينات الحديد متوسط الكربون و ذلك بتحديد نسب العناصر الموجودة في العينات المختبرة والتأكد من مطابقة العينات للمواصفات المطلوبة بالتحليل الكيميائي بإستخدام جهاز التحليل الطيفي (ألماني الصنع) موديل Fondary Master Pro شكل (8).

شكل (7) صور لعينات الحديد متوسط الكربون التي تم إختبارها

ليكون لدينا أربع قيم لنسب الكربون وهي (0.318٪ ، 0.403٪ ، 0.628٪ ، 0.807٪)، مما يجعل العينات موضوع البحث تحت مسمى الصلب متوسط الكربون.




شكل (8) جهاز التحليل الطيفي

ثم قطعت العينات إلى أجزاء و ذلك باستخدام منشار كهربائي ليكون عددها 4 أجزاء لكل نوع ثم استخدامها في قياس الصلادة والفحص المجهري قبل و بعد المعالجة الحرارية شكل (9).

شكل (9) المنشار الكهربي المستخدم لقطع العينات إلى (4) أجزاء لكل عينة ليتم معالجتها وقياس صلادتها

### 2-2/ الفحص المجهري

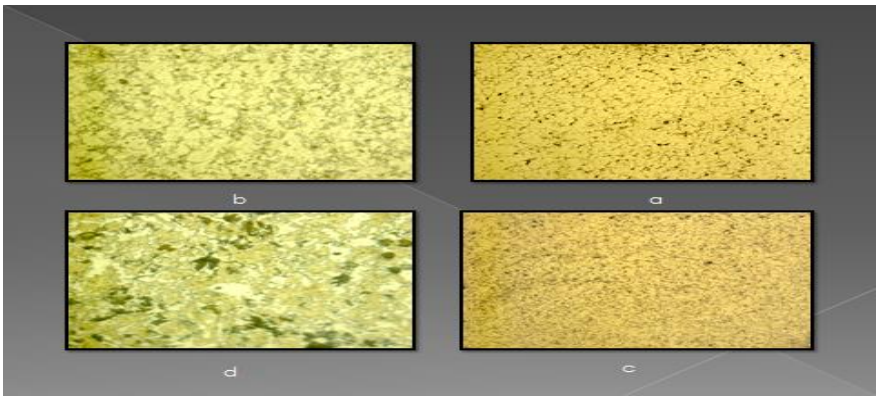
تم تجهيز سطح العينات للفحص المجهري بالطرق القياسية باستخدام أجهزة شركة BULUPOL وذلك بإجراء عمليات السنفرة Grinding شكل (10) لمسح طبقات الصدأ ومن ثم إجراء التلميع Polishing باستعمال $Al_2O_3$ ليبدو السطح المعدني بعد صقله مضيئاً كالمرآة وأخيراً خطوة الإظهار Etching باستخدام محلول 2٪ حمض النيتريك لمدة زمنية تقدر بـ 10

ثواني حيث يبدأ محلول الإظهار بمهاجمة السطح لتتأكل حدود الحبيبات بصورة أسرع من الحبيبات فتتميز الحبيبات عن بعضها البعض فيمكن بعد الإظهار رؤية الحبيبات و حدود الحبيبات و أخيراً الفحص باستخدام الميكروسكوب بوضع العينة تحت المجهر و يتم إختيار التكبير المناسب ومن ثم ضبط البعد البؤري للحصول على أوضح صورة و تسجيل الصور الناتجة بتكبير 100X.

شكل (10) جهاز السنفرة

### 2-3/ النتائج المجهرية قبل المعالجة الحرارية

أظهرت الصور الناتجة من الفحص للعينات الأربع الغير المعالجة حراريا وجود طور الفيرايت و البر لايت والسمنتيت شكل (11).




شكل (11) صورة مجهرية للعينات الغير المعالجة حرارياً تظهر المنطقة البيضاء (الفيرايت) و السوداء (الجرافيت) و المتعرج (البر ليت)

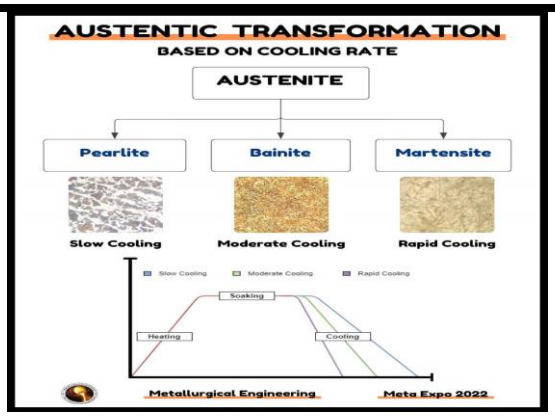
**((a) 0.3% C - (b) 0.4% C – (c) 0.6% C- (d) 0.8% C)**

**2-4/ المعالجة الحرارية**

تمت المعالجة الحرارية بإستخدام فرن كهربائي شكل (12) و ذلك بتسخين العينات في الفرن عند درجة حرارة (750 – 900 – 1000 °م) لكل النسب المستخدمة من الصلب الكربوني ثم تبريد العينات في الماء.

**شكل (12) الفرن الكهربي المستخدم للمعالجة الحرارية**

حيث أنه من خلال تسخين العينات الى التركيب الأوستنيتي - أي إلى درجة حرارة فوق درجة الحرارة العليا والإحتفاظ به عند تلك الدرجة لفترة زمنية مناسبة تعتمد على سمك المقطع (بحساب 25 مم لكل ساعة) يليه تبريد سريع مفاجئ تسمى (تسقية وتعرف أيضا باسم إخماد) الى درجة حرارة الغرفة، ويستخدم لعمليات التبريد الماء- الماء الملحي- الزيت أو الهواء البارد. وعندما يكون معدل التبريد منخفضا، يتحول الأوستنيت الى بيرلايت رقائقي، وبزيادة معدل التبريد فإن البيرلايت الناتج يكون عندئذ في صورة دقيقة وأكثر صلادة ، وعندما يزيد معدل التبريد على معدل التبريد الحرج (قيمة محددة لكل سبيكة) يتحول الأوستنيت الى مارتنسيت وعموما فإن الصلب الناتج عن هذه المعالجة يتميز بارتفاع صلادته شكل (13). (م. محمد عبد الرضا الشمري،2009،ص 35-55)




الشكل (13) التحول الطوري للأوستنيت على حسب معدل التبريد

وللحصول على تبريد جيد وسريع يجب أن يكون المعدن في حالة إهتزاز أثناء التبريد.

### 2-5/ اختبار الصلادة

الصلادة هي قدرة المادة على مقاومة الخدش و التآكل الناتج من الاحتكاك و التغلغل. تقاس الصلادة بشكل عام بفكرة تطبيق حمل و ضغطه ببطء بزاوية $90°$ على سطح المعدن المراد اختباره حيث يستعمل أداة ضاغطة Indenter و التي هي في الغالب كرة أو هرم أو مخروط من مادة قاسية جداً مثل الفولاذ المصلد أو كربيد التنجستن أو الماس لفترة زمنية محددة و بعد الانتهاء من عملية الضغط و نزع Indenter تقاس مساحة أو عمق العلامة بواسطة مؤشر رقمي، و تستخدم طريقة روكويل مادة اختبار مصنوعة من مخروط ماسي زاوية فتحة رأسه $120^0$ أو تستخدم كرة من الفولاذ قطرها 1.59mm تضغط على سطح العينة تحت حمل بسيط تمهيدي 10Kg وكذلك نضغط حمل إضافي رئيسي 90Kg للكرة و 140Kg للمخروط لمدة 5 ثواني ثم يحسب الفرق بين الأثرين أو الضغوط. (S. Avner,1987, p 201-202)

**شكل (14) جهاز روكويل للصلادة**

تم أخذ عدة قراءات في أماكن مختلفة للعينات (المعالجة و الغير معالجة) باستعمال اختبار روكويل للصلادة باستخدام الجهاز BULUT – BMS 201 – R حسب المواصفة ASTM E 18 ، ثم حساب المتوسط للقراءات ( ASTM E18, 2008).

**جدول (3) نتائج الصلادة للعينات المختبرة قبل و بعد المعالجة**

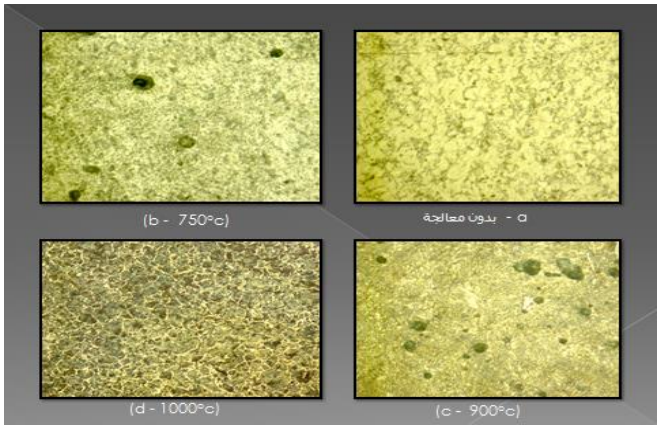
| رقم العينة | نسبة الكربون | الصلادة قبل المعالجة | الصلادة بعد المعالجة | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 750°م | 900°م | 1000°م |
| 1 | ٪0.318 | 28 | 39 | 98.33 | 49 |
| 2 | ٪0.403 | 46.33 | 91.66 | 92.00 | 44.00 |
| 3 | ٪0.628 | 52.66 | 29.33 | 82.66 | 50.00 |
| 4 | ٪0.807 | 64.66 | 39.00 | 85.66 | 50.68 |

**المناقشة**

**3-1 / النتائج المجهرية بعد المعالجة**

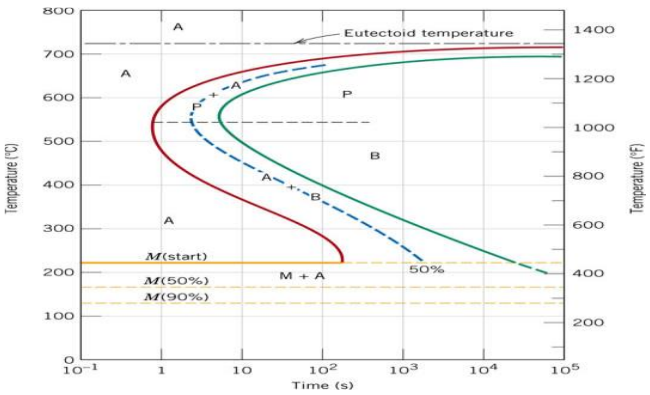
**3-1-1/ تغيرات البنية المجهرية بعد المعالجة الحرارية**

عند مقارنة التركيب المجهري لعينة الصلب بنسبة 0.6٪ كربون عند درجات حرارة (750- 900- 1000°م) كمثال يظهر الإختلاف في كمية المارتنسيت المتكونة نتيجة التغير في درجة التسخين المستخدمة في كل حالة شكل (15).




شكل (15) التركيب المجهري لعينة 0.6٪ كربون سخنت لدرجة حرارة 750- 900- 1000 °م

عند التبريد السريع بواسطة الماء كان الشكل الأبري الناتج يعبر عن المارتنسيت مع وجود جرافيت على شكل كروي وهذا يتفق مع مخطط TTT شكل (16). .(T. V. Rajan et.al ,1992)




شكل (16) مخطط TTT للصلب الأيوتكتويدي (T. V. Rajan et.al ,1992)

يلاحظ أيضاً نشوء عدد من كريات السمنتيت عند نهاية محور الصفائح، حيث يتواجد عدد من الكريات التي مازالت مرتبطة بالصفائح و العدد القليل قد إنفصل عنها كما يلاحظ أيضا وجود

نمو حجمي و كذلك تكون المارتنسيت و في النهاية تحتوي البنية على الفيرايت و كريات من السمنتيت المعزولة و الكبيرة الحجم نسبيا، حيث يرجح ما تم الحصول عليه إلى ثلاث أسباب رئيسية وهي:

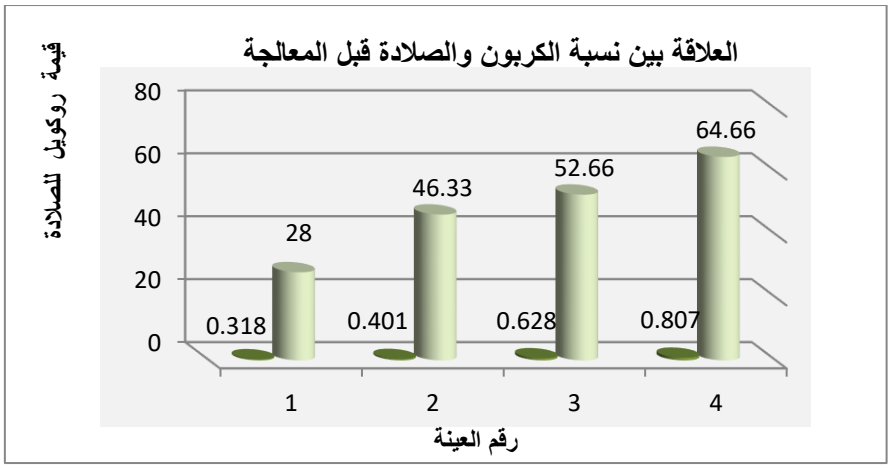
1- إرتفاع درجة حرارة المعالجة الحرارية إلى ما فوق $AC_3$ الأمر الذي يساعد في عملية الإنتشار السريع.

2- الإنحلال غير الكامل للسمنتيت الأمر الذي ساعد عملية التكور أيضاً.

3- تنشأ عيوب في الصفائح نتيجة التبريد القسري وغير المتوازن ، حيث تعتبر هذه العيوب مراكز تكور رئيسية في البنية.

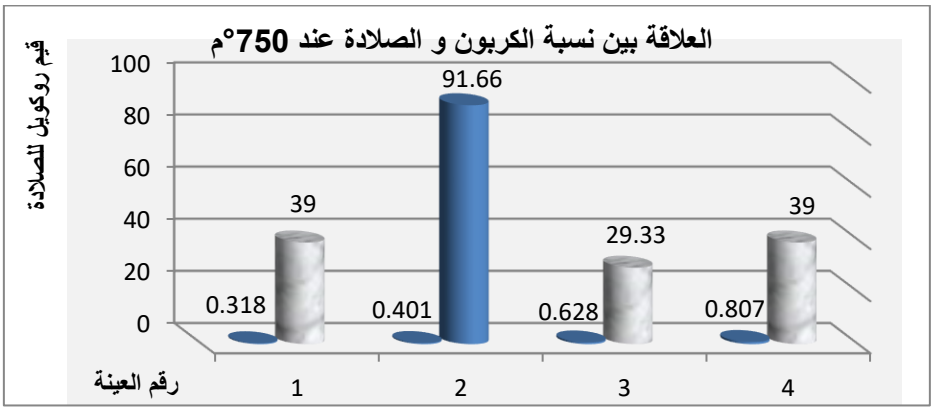
### 3-1-2/ نتائج الصلادة بعد المعالجة

من الشكل (17) يتضح أن الصلادة للعينة 4 قبل المعالجة و التي تحتوي على نسبة كربون (0.807٪) سجلت أعلى قيمة وذلك لأحتوائها على أكبر نسبة كربون مما يعزز إرتفاع خاصية الهشاشة لوجود كربيد الحديد (السمنتيت) و بالتالي ينتج عنه إنخفاض للمتانة.

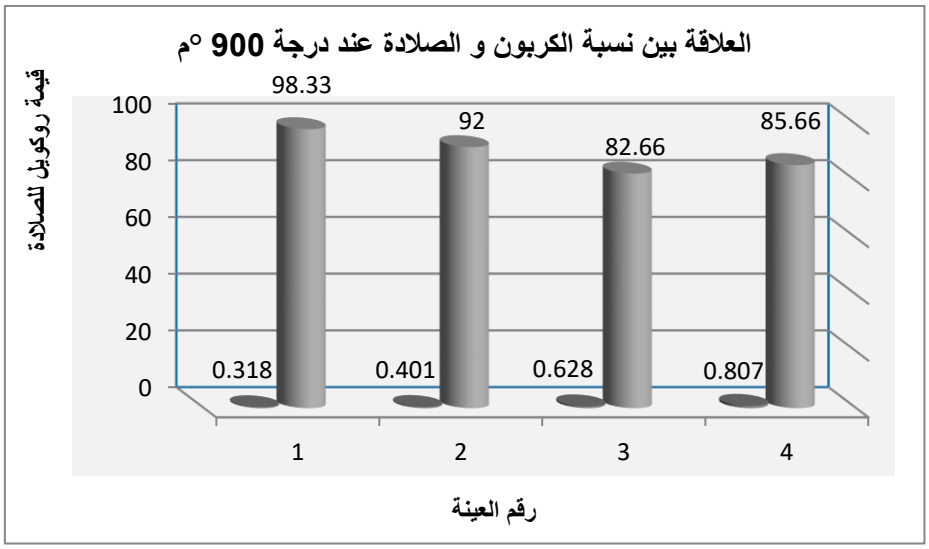



شكل (17) العلاقة بين نسبة الكربون و الصلادة قبل المعالجة

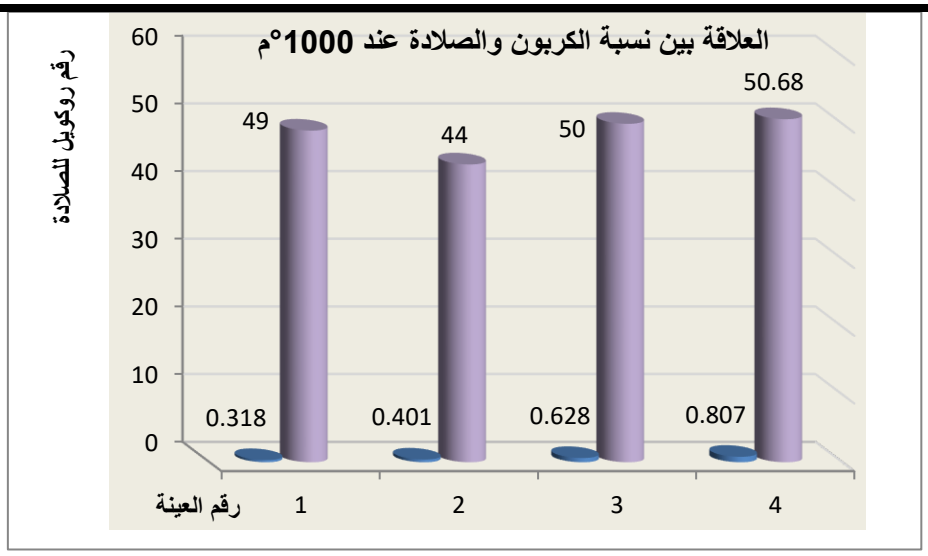
وعند إجراء المعالجة الحرارية بالتصليد عند درجات (750°م ، 900°م ،1000°م) تبين الأشكال (18- 19-20) أنه عند 750°م وبنسبة كربون 0.401٪ كانت أعلى نسبة للصلادة 91.66 بمقياس وكويل و عند 900°م وبنسبة كربون 0.318٪ كانت أعلى صلادة 98.33 عند 1000°م وبنسبة كربون 0.807٪ كانت أعلى نسبة للصلادة 50.68 ، أي أنه بنسبة كربون 0.318 و بمعالجة تصليد عند 900°م نتحصل على أعلى قيمة صلادة.




شكل (18) العلاقة بين نسبة الكربون والصلادة عند المعالجة عند 750°م

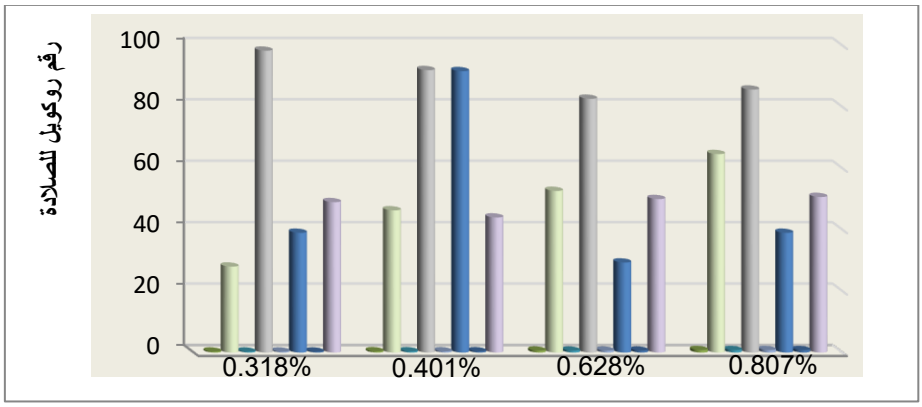



شكل (19) العلاقة بين نسبة الكربون والصلادة عند المعالجة عند 900°م




شكل (20) العلاقة بين نسبة الكربون والصلادة عند المعالجة عند 1000°م

بينما عند مقارنة جميع العينات ما قبل المعالجة و ما بعدها عند درجات الحرارة المختلفة للتصليد يتضح أن أعلى قيمة تم تسجيلها للعينة (1) و التي تحوي نسبة كربون 0.318٪ عند 900°م وأقل قيمة للصلادة للعينة (3) و التي تحوي نسبة كربون 0.628٪ و التي تمت معالجتها عند 750°م ويعزى ذلك لعدم كفاية التحول الكامل للأوستنيت مما نتج عنه قصور في تكون المارتنسيت مما أدى إلى تسجيل أقل صلادة شكل (21).




شكل (21) العلاقة بين نسبة الكربون والصلادة لكل العينات قبل وبعد المعالجة

## النتائج

من النتائج المتحصل عليها من المعمل عن تأثير التصليد على خاصية الصلادة و التركيب المجهري لعينات الصلب متوسط الكربون نخلص للنقاط التالية:

1- العينات الغير معالجة تتميز بصلادة منخفضة و هذا يعزى لوجود الفيرايت في التركيب المجهري و هذا ما تم إثباته بالصور المجهرية للعينات.

2- العينات المقساة بالماء أظهرت أعلى رقم للصلادة نتيجة لتكون المارتنسيت تم تسجيلها للعينة (1) و التي تحوي نسبة كربون 0.318٪ عند 900°م وأقل قيمة للصلادة للعينة (3) و التي تحوي نسبة كربون 0.628٪ و المعالجة عند 750°م ويعزى ذلك لعدم كفاية التحول الكامل للأوستنيت و هو ما أظهره التركيب المجهري أيضاً وبالتالي ينتج عن ذلك إنخفاض المتانة نظراً للقصافة الناتجة من معدل التبريد السريع و كذلك وجود كربيد الحديد.

3- عند التبريد السريع بواسطة الماء تكون الشكل الأبري و الذي يعبر عن المارتنسيت وهذا يتفق مع مخطط TTT مع وجود جرافيت على شكل كروي

4- يلاحظ نشوء عدد من كريات السمنتيت عند نهاية محور الصفائح ، حيث يتواجد عدد من الكريات التي مازالت مرتبطة بالصفائح و العدد القليل قد إنفصل عنها و يلاحظ أيضا وجود نمو حجمي وفي النهاية تحتوي البنية على الفريت و كريات من السمنتيت المعزولة و الكبيرة الحجم نسبيا.

## المراجع

**المراجع العربية**

1- م. عارف راوح، م. محفوظ أحمد ياماجد، إجراء عملية المعالجة الحرارية للمشغولات، 2017، الطبعة الأولى، وزارة التعليم التقني و التدريب المهني، ص 15- 16، اليمن.

2- د. عيسى مسعود بغني، أساسيات هندسة المواد، 2014، دار الكتب الوطنية – بنغازي، الهيئة الليبية للبحث و العلوم و التكنولوجيا.

3- د. عياد عبد الواحد، د. كمال زاهر، المواد الهندسية بنيتها و خواصها، 2004، الطبعة الأولى ، المكتب الوطني للبحث و التطوير، طرابلس.

4- د. عثمان محمد عثمان و آخرون، مبادئ تقنيات المواد و عمليات التصنيع، 2005، الطبعة الأولى، مكتب البحوث و الأستشارات الهندسية، طرابلس.

5- م. محمود أحمد عمري، علم المواد الهندسية، الطبعة الأولى، 2008، مكتبة المجتمع العربي للنشر و التوزيع، عمان.

6- م. محمد عبد الرضا الشمري، خواص و مقاومة المواد، 2009، الطبعة الأولى، دار صفاء للنشر و التوزيع ،عمان.

**المراجع الأجنبية**

7- S. Avner " Introduction to Physical Metallurgy" 2nd ed., McGraw Hill (1987).

8- ASTM E18. 2008, Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials, American Society of Testing and Materials.

9- T. V. Rajan et.al., "Heat Treatment Principles and Techniques" Prentic Hall of India (1992).