مجلة النهضة العلمية

Al-Nahda Scientific Journal

Journal homepage :https://ous.edu.ly/Journal/index.php/OUSJ

دراسة ومقارنة التغير في البنية المجهرية والتركيب البلوري لسبائك الصلب الكربوني C22, C27, C40 المشغلة مسبقا بعملية الخراطة بعد إجراء المعالجة الحرارية "التصليد" باستخدام الفحص المجهري

*عماد مختار المصراتي، مؤيد اعمارة عبدالصمد ، ايوب عادل حماد ، محمد ابراهيم الصديق

قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة، جامعة الزيتونة، ترهونة، ليبيا

*البريد الإلكتروني : imadmokhtar@yahoo.com

الملخص

تهدف هذه الورقة إلى إجراء دراسة عملية لتقييم مدى تغير البنية المجهرية لسبائك الصلب الكربوني المشغلة مسبقا بعملية الخراطة، عند إجراء المعالجة الحرارية بالتصليد، حيث إنه بسبب تعرض المواد الخام أثناء تصنيع المنتجات المختلفة لقوى القطع والحرارة العالية أثناء تشغيلها تتأثر بعض الخواص الميكانيكية، مثل: خاصية الصلادة؛ لهذا تجرى المعالجات الحرارية للمنتجات المشغلة والمصنعة لإعادة بنيتها البلورية وتحسين خواصها. وللتأكد من ذلك يتم التقييم من خلال إجراء الفحص المجهري لعدة عينات من الصلب متوسط الكربون نوع C40 ، والصلب منخفض الكربون نوع C27 ، C22 قبل وبعد المعالجة الحرارية بالتصليد. ومن خلال نتائج الفحص المجهري للبنية البلورية للعينات بعد المعالجة الحرارية بالتصليد، يتضح أنه تم تحويل هياكل الفرايت والبرلايت إلى أشكال مختلفة، مما يقلل من حجم الفرايت ويجعل البرلايت يتحول إلى ثنايا رقيقة تسمي المارتنسيت (Martensite)، حيث لوحظ وجود طوري الفرايت والبرلايت بالإضافة إلى طور المارتنسيت، وهذه التغييرات تؤدي إلى تحسين خصائص الصلب الميكانيكية مثل الصلادة.

الكلمات المفتاحية: البنية المجهرية، تشغيل المعادن، المعالجة الحرارية، الفحص المجهري، الصلادة.

Study of the Change in Microstructure and Crystal Structure of Pre-turned C22, C27, and C40 Carbon Steel Alloys after Hardning Heat Treatment

*Imad Mokhtar Mosrati , Muwayyid Aemara , Ayoub Hammad , Muhammad Alsiddig
Mechanical Engineering, Engineering College, Azzaytuna University, Tarhuna, Libya
*Corresponding Email: imadmokhtar@yahoo.com

Abstract

This paper aims to conduct an experimental study to evaluate the extent of microstructural changes in carbon steel alloys previously processed by turning, after Hardning heat treatment. Due to the exposure of raw materials to cutting forces and high temperatures during the manufacturing of various products, some mechanical properties, such as hardness, are affected. Therefore, heat treatments are performed on machined and manufactured products to restore their crystalline structure and improve their properties. To verify this, the evaluation is conducted through microscopic examination of several samples of medium-carbon steel (C40) and low-carbon steel (C27,C22) before and after heat treatment. The microscopic examination of the crystalline structures of the samples after heat treatment reveals that the ferrite and pearlite structures were transformed into different shapes, reducing the ferrite volume and transforming the pearlite into thin folds called martensite. The presence of ferrite and pearlite phases, in addition to the martensite phase, was observed. These changes lead to improved mechanical properties of the steel, such as hardness.

Keywords: Microstructure , Metalworking, Heat treatment, Microscopy, Hardness.

Received 19 March 2025 - Accepted 30 June 2025

المقدمة:

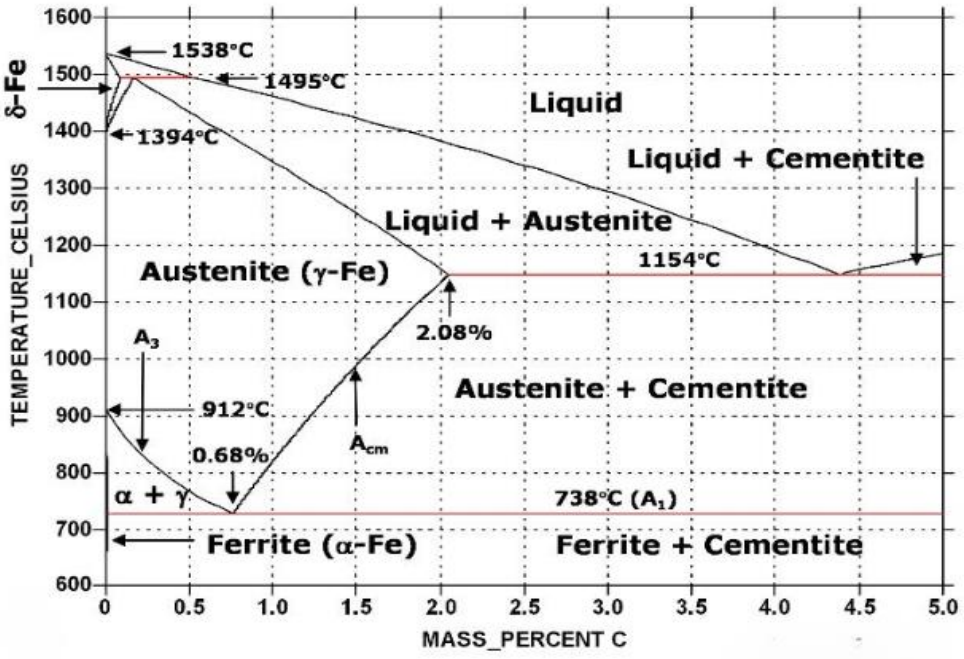
علم المعادن هو تكنولوجيا استخراج المعادن من خاماتها وتجهيزها للاستخدام النهائي (Gordon, 2018). وهو علم يدرس البنية المجهرية للمعدن، وفحصه تحت المجهر، وتحدد البنية المجهرية الخواص الميكانيكية للمعدن، بما في ذلك السلوك المرن والبلاستيكي عند تطبيق القوة، وكذلك يدرس التركيب الكيميائي والمحتوى النسبي للعناصر داخل السبيكة المعدنية، وعادة يعبر عنه كنسبة مئوية من الوزن، يهتم أيضا بالمعالجة والأطوار الحرارية للمعادن، حيث تستخدم المعادن وسبائكها على نطاق واسع في حياتنا اليومية، فيتم استخدامها لأغراض مختلفة، مثل: صنع الآلات ،والجسور والسيارات والسكك الحديدية وهياكل المباني والسفن والطائرات و الأدوات الزراعية (Lerman, 2019). وبطبيعة الحال فإن معظم المعادن توجد في الحالة المركبة إلاعدد قليل، مثل: الذهب والفضة والبلاتين والزئبق، فهي موجودة كحالة حرة في القشرة الأرضية (Choi , 2017). وتوجد المعادن في قشرة الأرض مع عناصر أخرى، فهي موجودة بكميات كبيرة في الطبيعية، ويمكن استخراجها منها اقتصاديا وتسمى المواد الخام (Xiaogang, 2018).

تتكون سبائك المعادن من عنصر معدني واحد أو أكثر (مثل الحديد والألمنيوم والنحاس التيتانيوم والذهب والنيكل) أو متحدة مع العناصر غير المعدنية (مثل الكربون والنيتروجين والأكسجين)، ويمكن تصنيف المواد

المعدنية إلى مواد حديدية وهي المواد التي يشكل الحديد النسبة الأكبر من مكوناتها، أو مواد غير حديدية وهي المعادن التي لا يدخل الحديد في تركيبها، وتعد السبائك الحديدية أو المواد الحديدية منخفضة التكاليف ولها خواص ميكانيكية جيدة، مثل: قوة الشد الكبيرة والصلابة العالية وغيرهما. حيث إن الصناعة اليوم تواجه تحديا كبيرا لتصنيع منتجات بخصائص عالية وبالجودة المطلوبة (قحمان، 2021)، لذلك فإن الحاجة اليوم إلى سبائك المعادن سببه الاحتياج إلى خواص أخرى غير قوة المعدن، مثل تحمل درجات الحرارة العالية ومقاومة التآكل والكلال و الاحتكاك، وكذلك تحسين الخواص الكهربية والمغناطيسية و الضوئية (بغني، 2014).

مخطط الحديد والكربون لسبائك الصلب:

يعد الصلب والحديد الزهر والحديد المطاوع من أهم المواد المعدنية المستخدمة بكثرة في الصناعات الهندسية وهذه المواد في الحقيقة سبائك أساسها الحديد والكربون، ومن أهم ميزاتها إمكانية تغيير بنيتها البلورية وبالتالي خواصها بمعالجتها حراريا (تسخينها وتبريدها بأساليب معينة)، الشكل (1) يمثل مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون، وعلى المحور الأفقي تمثل النسبة المئوية لعنصر الكربون، والراسي لدرجة الحرارة ومن الشكل نلاحظ أن أعلى نسبة للكربون يمكن إذابتها في الحديد تساوي 6.7 % (مؤسسة التعليم الفني، 2008).



الشكل (1) مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون (الجبوري، 2021)

أطوار الحديد

يوجد الصلب في عدة أطوار حرارية كما في الشكل (1)، حسب نسبة الكربون ودرجة الحرارة، وهي كما يلي :

1. طور الفرايت

هذا الطور يتكون عند درجات الحرارة الأقل من 912°c يرمز له بالرمز (α) طري نسبيا وبناؤه البلوري مكعبي مركزي الجسم (BBC) وقابلية ذوبان الكربون في هذا الطور محدودة؛ نظرا لأن ذرة الكربون أكبر من أن تذوب بالانتشار في الأماكن البيئية وكذلك أصغر من أن تؤهل لشغل أماكن ذرات الحديد بالإبدال وأعلى نسبة للكربون يمكن إذابتها في الحديد تساوي 0.02 %عند درجة حرارة 727 °c.

2. طور السمنتايت

هو مركب كيميائي صيغته Fesc ويسمى في بعض الأحيان الكربيد، وهو طور غني بالكربون ونسبة الكربون فيه تساوي 6.7 % وهي أقصى نسبة يمكن إذابتها في الحديد ويتميز هذا الطور بصلادة وقصافة عاليتين.

3. طور الأوستنايت :

يرمز له بالحرف (γ)، هذا الطور يكون محصور بين درجتي الحرارة 912°c و 1394°c وبناؤه البلوري مكعبي مركزي الوجه (Fcc) ، هذا الطور يمكن أن يذيب كميات كبيرة من الكربون حيث أن خلايا هذا النظام تحتوي على فراغ في وسط الخلية يسمح بقبول ذرات الكربون، وأعلى نسبة للكربون يمكن إذابتها في الحديد تساوي 2% عند درجات الحرارة 727°c .

وهناك أطوار أخرى أقل نسبة من الأطوار الحرارية السابقة متل طور دلتا فرايت يتكون فوق درجة الحرارة 1394°c بناؤه البلوري (Fcc) ونسبة ذوبان الكربون فيه أقل من نسبة ذوبانه في الحديد (٧) (Suryanarayana, 2017).

المعالجة الحرارية بالتصليد

بشكل عام هي تسخين الصلب إلى درجات حرارة عالية ثم يبرد تبريد فجائيا في الماء البارد وهذه المعالجة تزيد من مقاومة الشد كثيرا ولكنها تقلل المطولية ، إذا كان تركيب الصلب تحت اليوتيكتويد، يسخن الصلب ليتحول إلى أوستنايت ويتم العمل بعد ذلك بالتبريد السريع لكي يتحول الأوستنايت إلى مارتنسيت ، وإذا كان تركيب الصلب فوق اليوتيكتويد ، يتم تسخينه فوق درجة الحرارة الحرجة السفلى كما في الشكل (1)، معدلات التبريد هنا حرجة بمعنى أنه كلما احتجنا لمعدلات تبريد سريعة ليتم التحول المطلوب كلما كان من الأصعب التحكم في عمليات التحول، إذ أن زيادة نسبة الكربون وبعض العناصر الأخرى تقلل من سرعة التبريد المطلوبة ليتم التحول وعليه فإنه يكون من الأسهل التحكم في العملية، والأوساط المستخدمة في عمليات التبريد السريع، هذه عادة ماتكون الماء أو الزيت وفي بعض الأحيان تيار الهواء.

خاصية الصلادة للمادة Hardness

وهي قدرة المادة على مقاومة الخدش، التغلغل، والتآكل. أي أن صلادة المادة هي الخاصية التي تمكنها من الاحتفاظ بشكل سطحها سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال، كما تعرف الصلادة بأنها قدرة المادة على مقاومة الخدش أو القطع أو حدوث علامة بها.

الفحص المجهري

يُستخدم الفحص المجهري لتحديد حجم وشكل الحبوب أو البلورات في معدن أو سبيكة معينة، ولتحديد المراحل الموجودة في سبيكة معينة، كما يستخدم لتحديد ما إذا كان المعدن أو السبيكة قد تعرضت للتشوه أثناء عمليات التشغيل أو التشكيل، ولتحديد وجود شوائب أو تحولات ناتجة عن المعالجات الحرارية. ولغرض تحضير العينة للفحص المجهري الذي يجب أن يتميز سطحه بالاستقامة والخلو من الخدوش يتم وضع السطح على الموديل ومن ثم حلقه أو تنعيمه لإزالة الخدوش من عملية الطحن أثناء التشغيل وغيره، وهناك طريقتان أساسيتان لتلميع النماذج المعدنية، الأولى ميكانيكية والثانية كهروكيميائية باستخدام المواد الكيميائية (Suryanarayana, 2014).

مشكلة الدراسة

أثناء عمليات تصنيع وتشغيل المنتجات، تتعرض مواد التصنيع لقوى القطع والحرارة العالية، وتتأثر بعض خواصها الميكانيكية، ولهذا تجرى المعالجات الحرارية للمنتجات المشغلة والمصنعة لتحسين بنيتها البلورية لا سيما خواصها الميكانيكية، وللتأكد من ذلك تم إجراء دراسة عملية لتقييم مدى تغير البنية المجهرية لسبائك الصلب الكربوني المشغلة مسبقا بعملية الخراطة بعد إجراء المعالجة الحرارية بالتصليد ويتم التقييم من خلال

إجراء الفحص المجهري لعدة عينات من الصلب نوع C22، C27 ، C40 قبل وبعد المعالجة الحرارية بالتصليد.

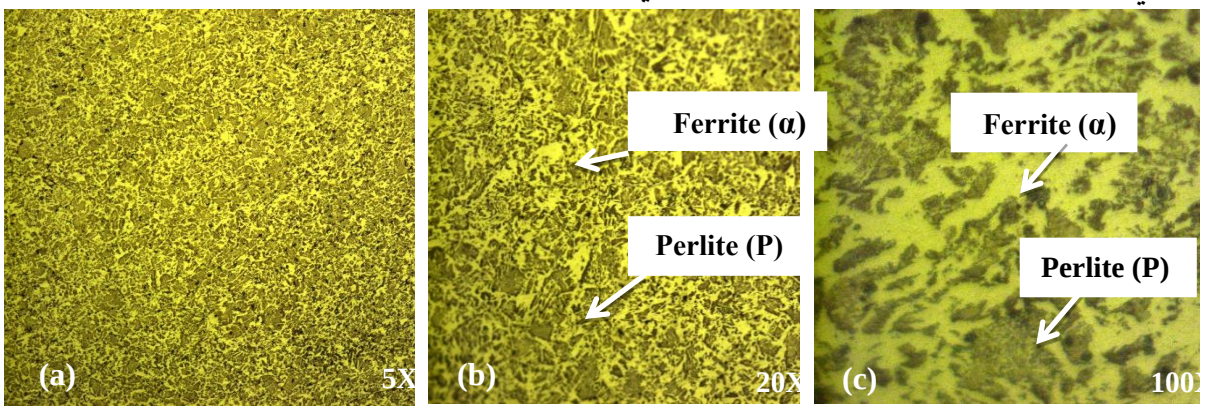
المواد وطرق العمل:

في هده الدراسة تم اختيار عدد 3 عينات من الصلب الكربوني مشغلة بالخراطة سابقا من قبل البحاث في دراسة سابقة، لهذا تم اختيار هذا العدد من العينات المتاحة فقط من البيانات والمواصفات الفنية وترميز عينات الشغل موضحة بالجدول (1). هذه العينات أجريت لها عملية المعالجة الحرارية بالتصليد بعد أن تم تشغيلها بالخراطة، ولغرض تقييم مدى تحسن خواصها وبنيتها البلورية بعد عملية المعالجة الحرارية تم إجراء الفحص المجهري للعين.

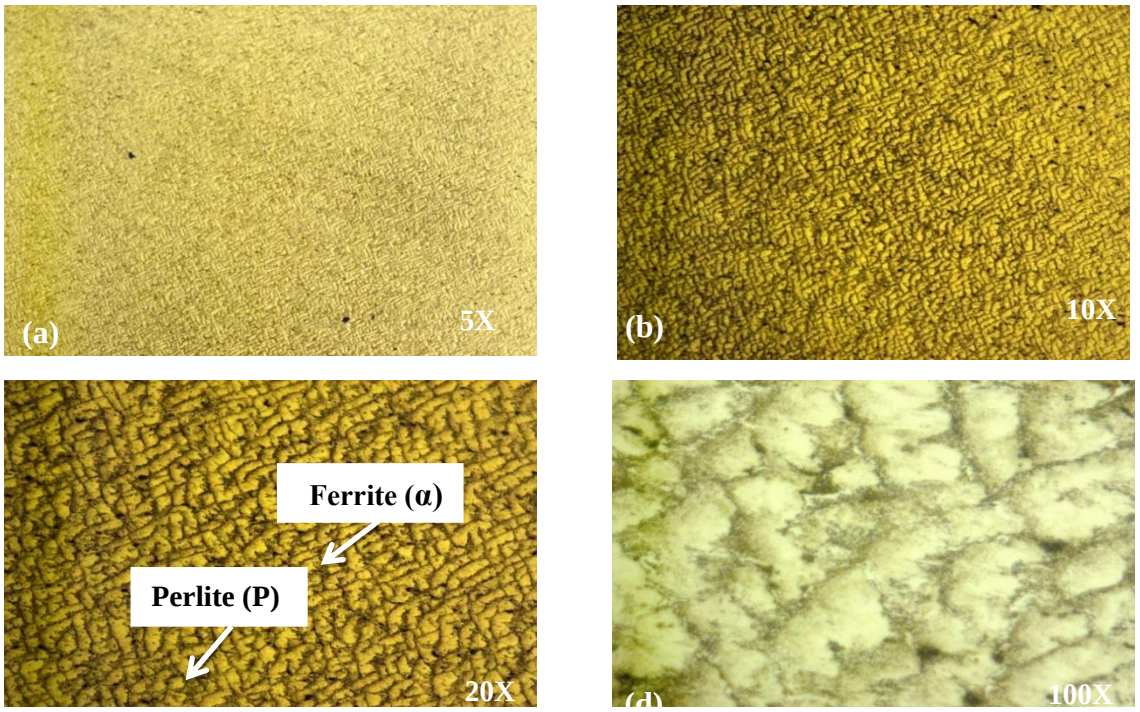
الجدول (1) المواصفات الفنية للعينات

نسبة الكربون %	نوع الصلب	رمز العينة	الأبعاد		الخواص الميكانيكية	
			القطر mm	الطول cm	مقاومة الشد N/mm^2	إجهاد الخضوع N/mm^2
0.40	صلب متوسط الكربون	C40	20	80	780	467
0.27	صلب منخفض الكربون	C27	14	92	600	413
0.22	صلب منخفض الكربون	C22	20	90	642	515

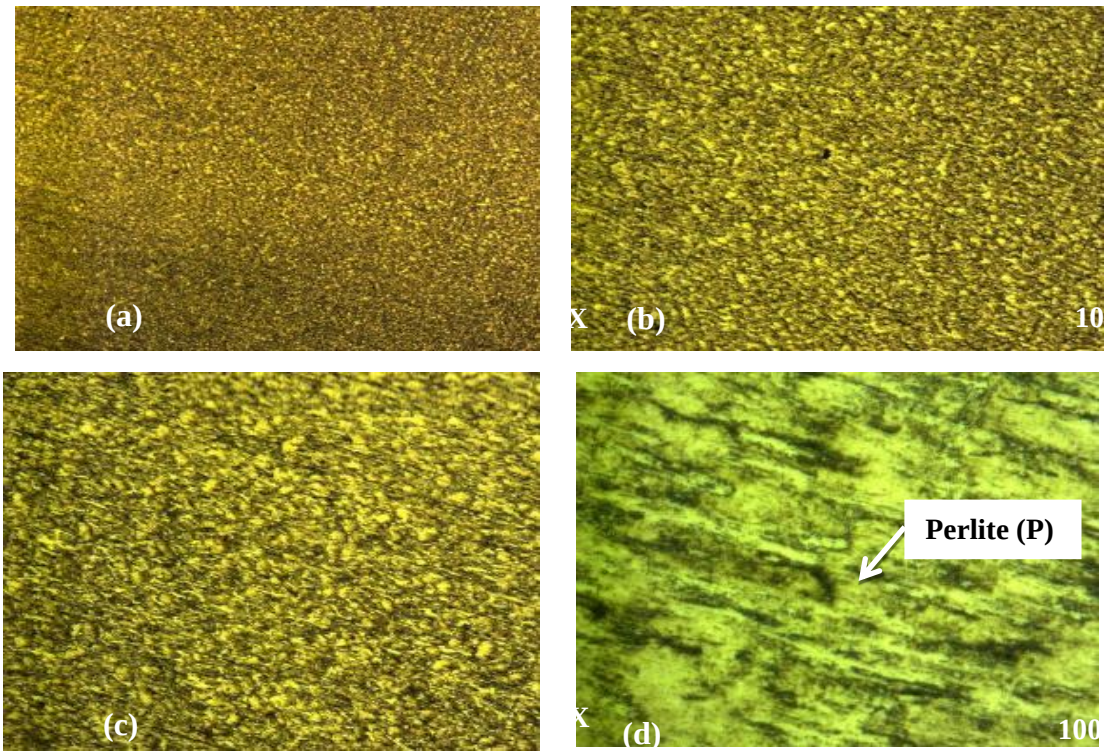
تم إجراء الفحص المجهري لغرض الكشف على التركيب الداخلي لعينات الشغل قبل وبعد عمليات المعالجة الحرارية بالتصليد، وتم الفحص المجهري على عدة مراحل، أولها قص العينات وتشغيلها بطول حوالي 1.5سم ، ومن ثم تمت مرحلة القولبة، حيث وضعت المشغولات المقطوعة داخل جهاز القولبة لمدة 25 دقيقة، لنصل للمرحلة الأخيرة وهي وضع المشغولات تحت جهاز المجهر الضوئي لالتقاط الصور مكبرة بدقة أربعة عدسات (5-10-20-100) للبنية المجهرية والحدود البلورية للعينات، الأشكال (2) ،(3) ،(4) توضح صور التقطت مباشرة من المجهر الضوئي، حيث أعطت الصور نتائج الفحص المجهري التركيب الداخلي لعينات الشغل قبل عملية المعالجة الحرارية.



الشكل (2) البنية المجهرية العينة لصلب منخفض الكربون (C22) قبل عملية المعالجة الحرارية بعدسات مختلفة (a) 5x، (b) 20x، (c) 100x

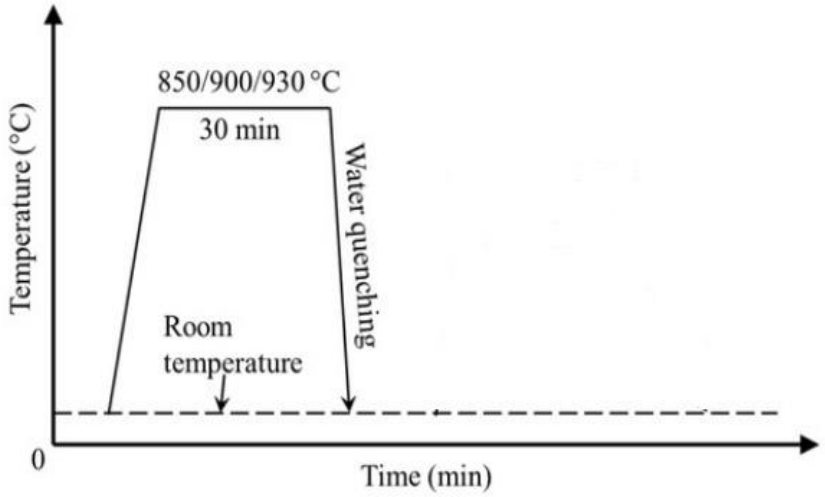


الشكل (3) البنية المجهرية لعينة الصلب منخفض الكربون (C27) قبل عملية المعالجة الحرارية باستخدام عدسات مختلفة (a)5x، (b)10x، (c) 20x و (d) 100x

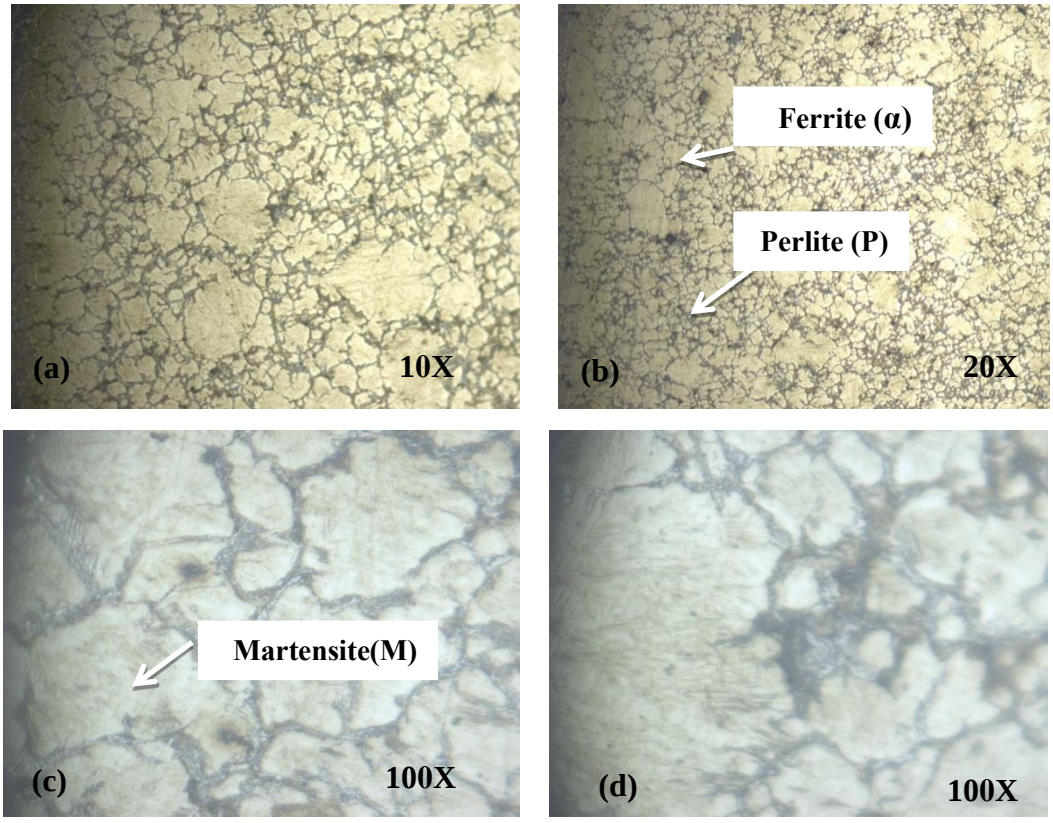


الشكل (4) البنية المجهرية العينة لصلب متوسط الكربون (C40) قبل عملية المعالجة الحرارية بعدسات مختلفة (a)5x ، (b) 10x ، (c) 20x، (d) 100x

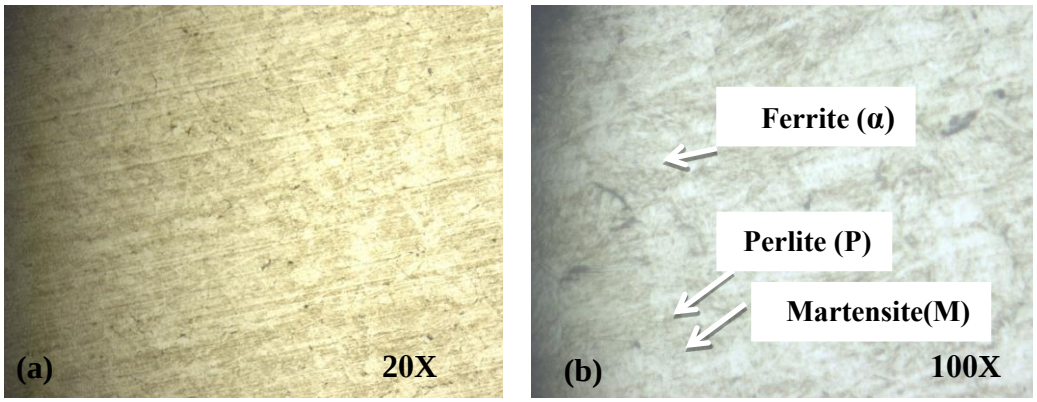
وبعد أن تم إجراء عملية المعالجة الحرارية بالتصليد لتحسين صلادة الصلب، حيث تتضمن هذه العملية تبريد الصلب بسرعة باستخدام وسط التبريد الماء وذلك بعد تسخينه إلى درجة حرارة 850 درجة مئوية، وإبقاءه في هذه الدرجة لمدة 30 دقيقة، والشكل رقم (5) يبين مخطط توضيحي لطريقة التبريد السريع بالماء، حيث إن التبريد السريع يؤدي إلى تغير في بنية الصلب المجهرية وتكوين أطوار حرارية مختلفة. تم إجراء الفحص المجهري لجميع العينات كما هو موضح بالأشكال (6)،(7)،(8).



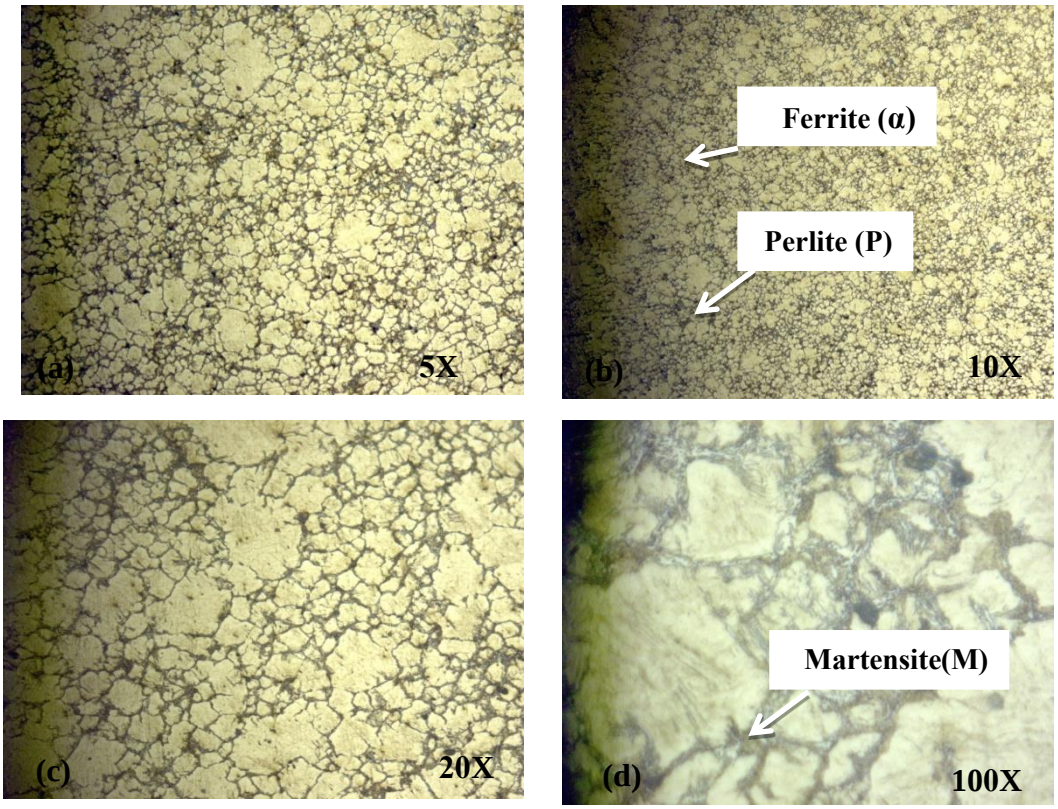
الشكل (5) التبريد السريع بالماء (Zhang, et al. 2022)



الشكل (6) البنية المجهرية لصلب منخفض الكربون للعينة (C22) بعد عملية المعالجة الحرارية بالتصليد



الشكل (7) للبنية المجهرية لصلب متوسط الكربون للعينة رقم (C40) بعد عملية المعالجة الحرارية بالتصليد



الشكل (8) البنية المجهرية لصلب منخفض الكربون للعينة رقم (C27) بعد عملية المعالجة الحرارية بالتصليد

النتائج:

كانت نتائج الفحص المجهري لدراسة التركيب البلوري للصلب الكربوني قبل المعالجة الحرارية أن الصلب (C22) و (C27) يحتوي على الفرايت والبرلايت، حيث يتميز الفرايت بوجود حبيبات صغيرة منتظمة، أما الصلب (C40) لوحظ وجود حبيبات من البرلايت ذات الحبيبات غير المنتظمة التوزيع، الأمر الذي سيؤثر على خواص الصلب الكربوني. وبعد أن تم إجراء عملية المعالجة الحرارية بالتصليد لتحسين صلادة الصلب تم إجراء الفحص المجهري مجددا لجميع العينات، فاتضح أنه تم تحويل هياكل الفرايت والبرلايت إلى أشكال

مختلفة، مما يقلل من حجم الفرايت ويجعل البرلايت يتحول إلى ثنايا رقيقة تسمي المارتنسيت (Martensite) ولوحظ وجود طوري الفرايت والبرلايت بالإضافة طور المارتنسيت، تؤدي هذه التغييرات إلى تحسين خصائص الصلب الميكانيكية.

التوصيات:

من خلال نتائج الدراسة اتضح أنه يمكن الاعتماد على صور الفحص المجهري لإثبات أن هناك تغير وتحسن للخواص الميكانيكية للصلب من خلال تغيير بنيته البلورية وتغيير الأطوار الحرارية المتكونة بعد المعالجة الحرارية. ونوصي بإجراء دراسة عملية مماثلة علي تحسين البنية البلورية وخواص سبائك الصلب عالي الكربون، باستخدام عمليات معالجة حرارية أخرى، متل: التلدين والمراجعة.

المراجع :

Gordon R. (2018), Transformative innovation in mining and metallurgy In Metallurgical Design and Industry, Springer.

Braga B, Lerman, (2019), Accounting for homeownership in estimating real income growth. Economics Letters Journal.

Choi SS, I B, Hong J, Yoon KJ, Son JW, Lee JH. (2017), Catalytic behavior of metal catalysts in high-temperature reaction, experiments and first-principles calculations. Scientific.

Bi W, Xiaogang L, You R, Chen M, Yuan R, Huang, (2018), Surface immobilization of transition metal ions on nitrogen-doped graphene realizing high-efficient and selective CO2 reduction. Advanced Materials.

Gohman Abdullatif, Mosrati Imad, Sakeb Abdurahim, Shabeesh Wannes, (2021), Optimization of The Surface Roughness During The Electrical Discharge Machining of Tool Steel Alloy DIN 1.2080, Journal of Alasmarya University, Basic and Applied Sciences, Vol.6, No.5.

بغني، عيسي مسعود، (2014)، أساسيات هندسة المواد، الطبعة الأولي دار الكتب الوطنية بنغازي ليبيا.

المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، (2008)، علم المواد، تخصص ميكانيكا إنتاج.

سمير الجبوري، (2021)، مخطط الاتزان الحراري، كلية العلوم الهندسية، جامعة بغداد.

Suryanarayana, C.(2017), Microstructure: An Introduction.

Zhang H. , Huo M., Ma Z., Wu H., Su G., Li L., Zhang T., Lin F., Chen F., Jiang Z. (2022), Effects of Quenching and Tempering Heat Treatment Processing on the Microstructure and Properties of High-Strength Steel Metals.