

تحسين أداء لقمة المكبح المستخدمة في نظام الفرملة للقطار

الدكتور نزار عبد الرحمن*

الدكتورة ميساء شاش**

مجدولين طريفي***

(تاريخ الإيداع 14 / 9 / 2014 . قُبِلَ للنشر في 20 / 11 / 2014)

□ ملخص □

يتضمن هذا البحث دراسة لتحسين أداء لقم المكبح المستخدمة في السكك الحديدية، حيث يعتمد هذا البحث على المعالجة الحرارية للقم المكبح المصنوعة من حديد الصب الرمادي، مما يسمح بالحصول على بنية بلورية جديدة لحديد الصب تعطيه قساوة عالية ومقاومة اهتراء عالية، كما أنه يضاعف من عمرها الفني ويزيد من عامل السلامة والأمان على شبكة السكك الحديدية. وقد تمت مقارنة نتائج الاختبارات للعينات المعالجة حرارياً مع العينات التي لم تخضع لمعالجة حرارية، وأعطت عمليات المعالجة نتائج جيدة تسمح بتطبيق هذه العمليات على اللقم المستخدمة حالياً على شبكة الخطوط الحديدية السورية .

الكلمات المفتاحية : السكك الحديدية ، لقم المكبح ، حديد الصب الرمادي .

*أستاذ مساعد - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- قسم التصميم والإنتاج - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** مدرس- كلية الهندسة التقنية - جامعة تشرين - طرطوس - سورية.

*** طالبة دراسات عليا - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - قسم التصميم والإنتاج - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Improving the performance of Brake Shoe Used in Braking System of the Train

Dr. Nezar Abdul-Rahman*
Dr. Mayssa Shash**
Majdoleen Treifi***

(Received 14 / 9 / 2014. Accepted 20 / 11 / 2014)

□ ABSTRACT □

This study includes a work to improve the performance of brake shoe which is used in rail, where it depends on heat treatment to brake shoe which is made of gray cast iron, which makes the occurrence of the largest dissolve of the carbon in austenite. It allows obtaining a new crystalline structure of cast iron which has high toughness and high wear resistance. It increases the life service of brake shoe, and increases safety factor on rail way.

The test results were compared to the heat treated samples with samples that were not subjected to heat treatment, and treatment processes gave good results that allow to apply these operations on bits currently used on the railway network in Syria.

Keywords: Rail; Brake Shoe; Cast iron.

* Associate Professor; Department of Design & Production; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering; University of Tishreen; Lattakia, Syria.

* Assistant Professor; Department of Design & Production; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering; University of Tishreen; Tartous, Syria.*

*** Postgraduate Student; Department of Design & Production; Faculty of Mechanical & Electrical Engineering; University of Tishreen; Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعتبر منظومة الكبح من تجهيزات الأمان الأساسية في القطارات التي تتطلب اهتماماً خاصاً أثناء عملية استثمار التجهيزات المحركة والمتحركة (القاطرات، العربات) على السكك الحديدية، ومن الأجزاء الأساسية لمنظومة الكبح المتكاملة هي لقم الكبح، أو ما يسمى في مصطلحات السكك الحديدية بالقباقيب (لأنها تأخذ شكلاً يشبه القباقب).

ومن خلال دراسة اللقم المستخدمة حالياً على شبكة الخطوط الحديدية السورية والمصنوعة من حديد الصب الرمادي تبين وجود عدة مشاكل فيها، ومن هذه المشاكل:

تآكل وتفتت اللقمة وأحياناً انهيارها بشكل مفاجئ نتيجة لقصافتها العالية وانخفاض متانتها، حيث تبين لنا عند السؤال في محطة القطار عن كفاءة هذه اللقمة أن أدائها منخفض نسبياً، والعمر التشغيلي لهذه اللقم أقل بكثير من العمر الافتراضي.

انطلاقاً من ذلك تم دراسة هذا الموضوع باهتمام بهدف الوصول إلى خصائص أفضل لهذه اللقم حيث تم إجراء معالجات حرارية للقم الكبح بهدف تحسين بعض خصائصها الميكانيكية.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من أهمية لقم الكبح، حيث تعتبر ذات أهمية خاصة للأسباب الآتية:

1- تلتمح لقم الكبح مباشرة بالسطح الدوراني لعجلات القطار، ومن ثم فإن كامل فعالية هذه القوى تتوقف على مواصفات هذا الجزء.

2- تعتبر جزءاً أساسياً في نظام الكبح وهي أكثر القطع عرضة للتآكل أو للتلف والاستبدال، فعلى شبكة الخطوط الحديدية السورية يتم سنوياً استبدال الآلاف من هذه القطع.

3- هذه اللقم هي القطع الوحيدة تقريباً من مجموعة أجزاء القاطرات التي يتم تصنيعها محلياً نظراً للطلب المتزايد عليها وقلّة تكلفة إنتاجها مقارنة مع تكاليف استيرادها من الخارج. ومن ثم فإن هدف البحث:

تحسين بعض الخواص الميكانيكية للقم الكبح، أي زيادة قساوتها ومتانتها ومقاومتها للاهتراء وذلك بإجراء معالجات حرارية لهذه اللقم، ومن ثم تحسين أداء اللقمة وإطالة عمرها الفني.

الدراسة المرجعية:

1- قام كل من M.Boz; A.Kurt في عام 2007 بدراسة تأثير أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 على الأداء الاحتكاكي لمكبح العربة [1]، وخلال هذه الدراسة تم إنتاج نوعين من بطانات الكبح: بطانات كبح مصنوعة من البرونز bronze فقط، وأخرى مصنوعة من البرونز المدعم بأوكسيد الألمنيوم Al_2O_3 ، وبعد ذلك تم دراسة خواص الاحتكاك والاهتراء لهذه البطانات وإجراء المقارنة بينها فكانت النتائج كما يأتي [1]:

• تزداد قساوة العينات التي تعتمد في أساسها على البرونز أثناء تطبيق اختبار الاحتكاك، ولم يلاحظ أية تغيرات معتبرة لقيم القساوة للعينات المدعمة بأوكسيد الألمنيوم أثناء الاختبار.

- أعلى معامل احتكاك كان في العينات التي تحتوي على أكسيد الألمينيوم بمعدل 4%، أما العينات التي تحتوي على 2% من أكسيد الألمينيوم أظهرت معامل احتكاك ثابت.
 - أعلى معدل اهتراء كان في العينات التي لا تحتوي على أكسيد الألمينيوم، أي العينات التي تعتمد في أساسها على البرونز فقط.
- 2- قام كل من C.Ferrer; M.Pascual; D.Blsquets; E.Rayon في عام 2010 بدراسة لقم كبح مصنوعة من سبيكة ملبدة (Fe-Cu-Cr-graphite) Sintered alloy [2]:
تم إنتاج لقم كبح مصنوعة من سبيكة ملبدة، وتم مقارنتها مع لقم كبح مصنوعة من حديد الصب الرمادي، إذ إن التركيب الكيميائي للسبيكة المستخدمة في الدراسة موضح بالجدول (1) [2]:

الجدول (1) التركيب الكيميائي للسبيكة الملبدة:

| العنصر | Cu | Fe | C | Cr | Sn | O | AL |
|--------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| النسبة | 38 % | 34% | 15 % | 3 % | 4 % | 4 % | 2 % |

- عينات حديد الصب الرمادي المستخدمة في هذه الدراسة أخذت من لقم كبح تجارية لقطار نقل البضائع، حيث أظهرت البنية المجهرية وجود صفائح الغرافيت في مزيج البرليت. أهم نتائج الدراسة:

- ازدياد معامل الاحتكاك لعينة حديد الصب الرمادي على خلاف السبيكة الملبدة، والتي أظهرت معامل احتكاك ثابت تقريباً على طول 500m من مسافة الاختبار.
 - سلوك الاهتراء في عينة حديد الصب الرمادي كان مستقر وثابت على مسافة اختبار 100m، أما في السبيكة الملبدة فإن الاهتراء كان متزايداً، ووصل مستوى الاهتراء إلى 4.5mm من أجل السبيكة الملبدة بعد مسافة اختبار 500m، أما من أجل حديد الصب الرمادي فوصل إلى 2.25mm عند المسافة نفسها.
- 3- قام كل من V.Marusic; I.Vitez; I.Kladaric في عام 2004 بدراسة تأثير زيادة نسبة الفوسفور في تركيب حديد الصب على خواص لقم الكبح [3] وفي نهاية البحث توصل الباحثون للنتائج الآتية:
- لقم الكبح التي تحتوي على نسب عالية من الفوسفور P (1.01÷1.10) قساوتها أعلى من تلك المحتوية على P 0.92%.
 - مقدار اهتراء لقم الكبح الحاوية على نسب عالية من الفوسفور كان أقل من تلك الحاوية على نسب منخفضة.
 - أثناء عملية الكبح ترتفع درجة حرارة لقم الكبح ولا تتأثر قساوة اللقم بالتلدين الحاصل، حيث يوضح تحليل البنية المجهرية على أنه لا يوجد أية تغيرات ملحوظة في شكل وتوزيع الصفائح الغرافيتية والبرليت والفوسفيت اليوتكتيكي.

4- قام د.أحمد يونس في عام 2006 بدراسة لقم كبح جديدة تعتمد على معالجة حديد الصب الأبيض [4] وتم التوصل إلى أن: لقم الكبح المصنعة من خلائط حديد الصب الأبيض المعالج حرارياً، يمتاز بقساوة عالية ويؤمن قوة تماسك كبيرة بين اللقم والسطح الدوراني لعجلات القطار، وهذا ما يزيد من معامل الاحتكاك بينهما ضمن مجالات السرعة المختلفة.

5- قام كل من R.Ertan; N.Yavuz في عام 2010 بدراسة تأثير بارامترات التصنيع على الخواص الميكانيكية لمواد لقم الكبح [5]، وتوصل الباحثون إلى النتائج الآتية:

* تتأثر لقم الكبح بالضغط المطبق أثناء عملية الصب، وبدرجة حرارة المعالجة الحرارية بعد عملية الصب.
* تتناقص الخواص الميكانيكية للقم الكبح كلما تناقص زمن عملية الصب، تحت شروط ثابتة لدرجة حرارة الصب وضغط الصب ودرجة حرارة المعالجة الحرارية.
* عند درجات حرارة صب عالية يتناقص استقرار معامل الاحتكاك ويزداد معدل الاهتراء عند ثبات ضغط الصب.

* يزداد معامل الاحتكاك للقم الكبح عند زيادة ضغط الصب مع ثبات درجة حرارة الصب وزمن الصب وبارامترات المعالجة الحرارية، وبالمقابل يتناقص عدد مرات الكبح وتتناقص مقاومة الاهتراء عند ضغط صب عالٍ.
* لا يؤثر كثيراً زمن المعالجة الحرارية على الخواص الميكانيكية للقم الكبح مقارنة مع غيرها من البارامترات، وقد لوحظ فقط انخفاض قليل لمقاومة الاهتراء للقم عند ازدياد زمن المعالجة الحرارية.

من خلال الدراسات المرجعية السابقة نلاحظ أن هذه الدراسات في معظمها اعتمدت على دراسة مادة لقم الكبح، والتغيير في تركيب اللقم بالنسبة للقم المعدنية، أو إلى استبدالها بلقم من مواد مركبة، ولكن الدراسات المرجعية التي تناولت تأثير المعالجة الحرارية على خواص لقم الكبح قليلة جداً، ومن هنا جاءت فكرة البحث، في دراسة أثر المعالجة الحرارية في لقم الكبح المصنعة محلياً، بحيث تشكل هذه الدراسة إضافة إلى الدراسات السابقة في هذا المجال.
4- لقم الكبح المستخدمة في نظام الفرامل للقطار:

وهي عبارة عن سبيكة من حديد الصب الرمادي على شكل هلال يطابق قطر دولاب القاطرة أو العربة، وهذه اللقم هي تقريباً القطع الوحيدة من مجموعة أجزاء القاطرات التي يتم تصنيعها محلياً، وقد تبين أن طريقة تصنيع هذه اللقم قديمة، حيث يتم صهر الفونت الرمادي مع بقايا لقم الكبح المستهلكة حتى تصل درجة حرارة الفرن إلى 1600°C ، وبعدها يسكب المحلول المنصهر في قوالب رملية خاصة وتترك للتجمد لمدة ساعتين ثم تبرد لمدة 12 ساعة في الهواء الطلق، وبعد عملية التبريد تصبح هذه اللقم جاهزة للاستخدام، علماً أنه بعد عملية الصهر والسكب والتبريد، لا يتم إجراء أي معالجة حرارية لهذه اللقم، ويوضح الشكل (1) لقم الكبح وكيفية تركيبها على دولاب القطار:



الشكل (1) لقم الكبح المستخدمة في نظام الفرامل للقطار

والمكابح المستخدمة في أنظمة الفرامل للقطارات هي مكابح طنبوروية خارجية، حيث يتم تثبيت لقمتين بشكل جاسئ من كل جهة على جانبي الدولاب.

طرائق البحث ومواده:

اعتمد البحث على:

- 1- تحضير عينات مختلفة ذات أبعاد وشكل محددين من حديد الصب الرمادي.
- 2- إجراء معالجة حرارية لهذه العينات وفق عدة برامج.
- 3- إجراء اختبارات (القساوة - الضغط - الاهتراء) لدراسة مدى تحسن الخواص الميكانيكية لهذه العينات ومقارنتها مع خواص معدن اللقم الأساسية.

أهم المعالجات الحرارية لحديد الصب الرمادي:

1- التلدين (annealing):

وتنقسم عملية التلدين لحديد الصب الرمادي إلى:

1-1 التلدين الفيريتي Ferritizing annealing:

وتجرى هذه العملية لحديد الصب الرمادي غير السباتكي أو ذي العناصر السباتكية المنخفضة، عندما تكون النتيجة المطلوبة هي تحويل البنية البرليتية الكريبدية إلى فيريتية غرافيتية وذلك من أجل تحسين الخواص التشغيلية. وفي هذه العملية لا يتم تسخين المصبوبة إلى درجة أعلى من درجة حرارة التحول الطوري بكثير، وعند زيادة درجة الحرارة فوق $595C^{\circ}$ فإن معدل تحلل الكريبد إلى فيريت وجرافيت يزداد بشكل واضح، وأعلى درجة حرارة يمكن الوصول إليها هي $760C^{\circ}$ ويمكن تطبيقها لمدة ساعة [13].

1-2 التلدين المتوسط Medium annealing :

تتم هذه العملية بالتسخين لدرجات تتراوح ما بين $(790\div 900)C^{\circ}$ تستخدم هذه العملية عندما تكون عملية ferritizing غير فعالة من أجل حديد الصب ذي المحتوى السباتكي العالي [13].

1-3 التلدين الغرافيتي Graphitizing annealing:

إذا كانت البنية المجهرية تحتوي على جزيئات كريبدية كثيرة، فإن عملية التلدين يجب أن تتم عند درجات حرارة عالية، وهذه العملية ضرورية من أجل تحويل جزيئات الكريبد إلى بيرليت وجرافيت، ولكن بعض التطبيقات بحاجة لتطبيق عملية تلدين فيريتي وذلك لتزويد المنتجات بالحد الأعلى للخواص التشغيلية .

لتحطيم الكريبدات بالسرعة المناسبة فإن أقل درجة حرارة مطلوبة هي $870C^{\circ}$ ، وعند زيادة درجة الحرارة بمعدل $55C^{\circ}$ فإن نسبة انفصال الكريبدات ستكون مضاعفة .

عادة درجة الحرارة المستخدمة لهذه العملية هي ما بين $(900\div 950)C^{\circ}$ ، حيث إن الطور البيونكتيكي الفوسفيتي الموجود بنسبة % 0.1 أو أكثر ينصهر عند الدرجة $925C^{\circ}$ وما فوق، زمن الإبقاء عند درجة حرارة التلدين يمكن أن تتفاوت من بضع دقائق إلى بضع ساعات .

اختيار معدل التبريد يعتمد على الاستخدام النهائي للحديد فإذا كان الهدف من المعالجة الحرارية تحطيم الكريبد وكانت الصفات المرغوبة بها هي الحفاظ على متانة عالية ومقاومة تآكل جيدة، فيجب أن تبرد المصبوبة من درجة حرارة التلدين إلى الدرجة $540C^{\circ}$ في الهواء الخارجي وذلك للسماح بتشكيل البنية البرليتية، أما إذا كان المطلوب من المصبوبة خواص تشغيلية عالية فيجب أن تبرد المصبوبة بالفون حتى الدرجة $540C^{\circ}$ وبعبارة خاصة من أجل ضمان عملية التبريد البطيء خلال فترة التحول [13].

2- التطبيع Normalizing:

تتم هذه العملية وذلك بالتسخين لدرجة حرارة أعلى من درجة التحول الطوري، ويتم الإبقاء عند هذه الدرجة لمدة 1h لكل 2.54mm من سماكة المقطع الأعظمي للعينة، ثم تبرد في الهواء الخارجي بدرجة حرارة الغرفة . يمكن استخدام هذه العملية من أجل تحسين الخواص الميكانيكية (الصلابة - متانة الشد)، مجال درجات الحرارة لهذه العملية تتراوح ما بين $(885 \div 925)C^{\circ}$ [11,12,13]

3- التقسية والمراجعة (Hardening and tempering):

يتم تقسية حديد الصب الرمادي وبعد ذلك مراجعته من أجل تحسين الخواص الميكانيكية وبالأخص المتانة ومقاومة الاهتراء، حيث يظهر حديد الصب المقسى مقاومة اهتراء أعلى بـ 5 مرات من حديد الصب البرليتي. يمكن أن تطبق التقسية بالفرن أو بحمام مالح بشكل واسع على حديد الصب الرمادي أكثر من التقسية باللهب أو التقسية التحريضية، حديد الصب الرمادي غير السباتكي والذي يحتوي على نسبة منخفضة من الكربون المرتبط يجب أن تطبق عليه عملية الأستنة لمدة طويلة حتى يتم إشباع الأوستنيت بالكربون [11, 12, 13]

3-1 الأستنة (Austenitizing):

عند تقسية حديد الصب الرمادي تسخن المصبوبة إلى درجة حرارة عالية كافية للوصول إلى الحالة الأوستينيتية، ويتم الإبقاء عند هذه الدرجة حتى ينحل كل الكربون المطلوب انحلاله في الأوستنيت .

يتم تحديد درجة حرارة التسخين تبعاً لدرجة حرارة التحول الطوري الخاصة بالحديد المستخدم، يمكن أن يكون مجال التحول الطوري أعلى بـ $55C^{\circ}$ من الدرجة A1 (درجة بدء التحول الطوري) [11,12,13]

3-2 التسيقة (Quenching):

التبريد بالزيت هي أكثر الطرق استخداماً بالنسبة إلى تبريد حديد الصب الرمادي، أما الماء فلا يستخدم كوسيط لتبريد حديد الصب المسخن في الفرن، إذ ينتزع الحرارة بسرعة جداً ويؤدي إلى تشوهات وتصدعات (شقوق) حرارية في كل الأجزاء ماعدا تلك الأجزاء الصغيرة البسيطة التصميم.

3-3 المراجعة (Tempering):

بعد عملية التقسية عادة يتم تطبيق عملية المراجعة على المصبوبة عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة التحول الطوري وهي حوالي 1h لكل 2.54cm من سماكة المقطع العرضي [11, 12, 13].

القسم العملي:

في البداية قمنا بإجراء تحليل طيفي للقيمة الكبح بغية تحديد التركيب الكيميائي لمعدن اللقمة المستخدمة في فرامل القطارات العاملة في شركة الخطوط الحديدية السورية، وبعد ذلك تم تحضير عدة عينات أسطوانية أخذت من لقمة الكبح الأساسية المستخدمة في فرامل القطار، وتم تحضير عدد من العينات بحسب الشكل النموذجي لاختبارات بحثنا.

- تم تحضير عينات أسطوانية الشكل بارتفاع (40mm) وقطر (20mm) من أجل اختبار الضغط، على المخرطة وتم جليخ سطحي نهابة العينات، وبوضح الشكل (2) شكل عينة اختبار الضغط:



الشكل (2) عينة اختبار الضغط

- تم استخدام عينات اختبار الضغط من أجل اختبار القساوة، حيث تم إجراء اختبار القساوة على العينات المعالجة حرارياً والعينة الأساسية، وبعدها تم إجراء اختبار الضغط.
- تم تحضير عينات أسطوانية بارتفاع (20mm) وقطر (16mm) بحسب الشكل النموذجي لعينة اختبار الاهتراء، ويوضح الشكل (3) شكل عينة اختبار الاهتراء:



الشكل (3) عينة اختبار الاهتراء

سطح الاحتكاك: عبارة عن ورق صنفرة ذي حجم حبيبات P 40، بأبعاد 400 × 473 mm وبسماكة 1mm.

- أجرينا عمليات المعالجة الحرارية للعينات في المعهد الصناعي الأول (ثانوية الشهيد عدنان مخلوف) في اللاذقية، بعد الانتهاء من عمليات المعالجة الحرارية للعينات تم اختبار العينة الأساسية التي لم يجر عليها أي عملية معالجة والعينات التي تم معالجتها حرارياً ومقارنتها مع بعضها.
- حيث تم اعتماد الاختبارات الآتية خلال هذا البحث:
- اختبار القساوة: تم استخدام جهاز اختبار القساوة الموجود في كلية الهندسة التقنية بطرطوس.
- اختبار الضغط: تم استخدام جهاز اختبار الضغط (Amsler) الموجود في جامعة تشرين.
- اختبار الاهتراء: تم استخدام جهاز اختبار الاهتراء الموجود في معمل الاسمنت في طرطوس.
- 1- التحليل الطيفي للقمة الكبح:
- يبين الجدول (2) التركيب الكيميائي لمعدن لقمة الكبح:

الجدول (2) نتائج التحليل الطيفي للقمة الكبح:

| العنصر | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | Al |
|----------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| النسبة % | 91.5 | 3.09 | 2.41 | 0.643 | 0.325 | 0.113 | 0.0551 | 0.0172 | 0.0302 | 0.0020 |

| Co | Cu | Mg | Nb | Ti | V | Pb | Sn | B | Zr | As |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| <0.0050 | 0.0284 | 0.0021 | 0.0070 | 0.0687 | 0.0154 | 0.0500 | 0.127 | 0.0228 | 0.0030 | 0.0768 |

2- المعالجة الحرارية:

من خلال الدراسة النظرية لأهم المعالجات الحرارية لحديد الصب الرمادي، وبعد الاطلاع على المشاكل التي تتعرض لها لقمة الكبح وآلية انهيارها، تبين لنا أن إجراء عملية تقسية وبعدها إجراء مراجعة حرارية هو الأسلوب المناسب للحصول على لقم كبح ذات متانة عالية ومقاومة اهتراء جيدة، ويوضح الشكل (4) فرن المعالجة الحرارية الذي تم العمل عليه:



الشكل (4) فرن المعالجة الحرارية

وهو عبارة عن فرن تسخين كهربائي والوسط الموجود بداخله هو الهواء، يحوي بداخله 8 وشائع كهربائية أربع من كل جهة، وعلى جانبه يوجد لوحة التحكم حيث يتم عن طريقها التحكم بدرجة حرارة الفرن وسرعة التسخين. يوضح الجدول (3) برامج المعالجات الحرارية التي تم العمل عليها خلال هذا البحث:

الجدول (3) برامج المعالجات الحرارية للعينات المختبرة:

| البرنامج الأول (العيينة A): | البرنامج الثاني (العيينة B): |
|--|---|
| - التسخين للدرجة 790C°. | - التسخين للدرجة 790C°. |
| - الإبقاء عند درجة حرارة التقسية 30 min. | - الإبقاء عند درجة حرارة التقسية حوالي 30min. |
| - التبريد السريع بالزيت. | - التبريد السريع بالزيت. |
| - إجراء عملية المرجعة عند الدرجة 400C°. | - إجراء عملية المراجعة عند الدرجة 150 C°. |
| - الإبقاء عند هذه الدرجة حوالي 20min. | - الإبقاء عند هذه الدرجة حوالي 60 min. |
| - التبريد البطيء بالفرن. | - التبريد البطيء بالفرن. |

| البرنامج الثالث (العيينة C): | البرنامج الرابع (العيينة D): |
|--|--|
| - التسخين للدرجة 850C°. | - التسخين للدرجة 850C°. |
| - الإبقاء عند درجة حرارة التقسية 30min. | - الإبقاء عند هذه الدرجة حوالي 30min. |
| - التبريد السريع بالزيت. | - التبريد السريع بالزيت. |
| - إجراء المراجعة عند الدرجة 400C°. | - إجراء عملية المراجعة عند الدرجة 150C°. |
| - الإبقاء عند درجة حرارة المراجعة حوالي 20min. | - الإبقاء عند درجة حرارة المراجعة حوالي 60min. |
| - التبريد البطيء بالفرن. | - التبريد البطيء بالفرن. |

النتائج والمناقشة:

3-7 نتائج اختبار القساوة:

تم إجراء اختبار القساوة وتم تسجيل القيم المتوسطة لثلاث قراءات وفق الجدول (4):

الجدول (4) نتائج اختبار القساوة للعينات المختبرة:

| رقم العينة | Total |
|------------|---------|
| O | 170HB |
| A | 212HB |
| B | 215.6HB |
| C | 219 HB |
| D | HB 222 |

من الجدول (4) نلاحظ أن:

- العينات A ، B التي تم تسخينها للدرجة $790C^{\circ}$ ازدادت قساوتها بمعدل 24% ، 26% على التوالي، ونلاحظ أن قساوة العينة B التي تم مراجعتها عند الدرجة $150C^{\circ}$ أعلى من قساوة العينة A التي تم مراجعتها عند الدرجة $400C^{\circ}$.

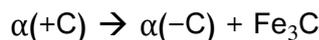
بينما العينات C ، D التي تم تسخينها للدرجة $850C^{\circ}$ ازدادت قساوتها بمعدل 29% ، 31% على التوالي ، ونلاحظ أيضاً أن قساوة العينة D التي تم مراجعتها عند الدرجة $150C^{\circ}$ أعلى من قساوة العينة C التي تم مراجعتها عند الدرجة $400C^{\circ}$.

ومن هذه النتائج نلاحظ أن العينة D كانت الأفضل من بين العينات المختبرة حيث زادت قساوتها بمعدل 31% عن قساوة العينة الأصلية.

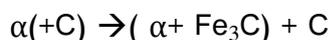
- العينات التي تم معالجتها حرارياً ارتفعت قساوتها بشكل واضح مقارنة مع قساوة العينة الأساسية، ويفسر ذلك بأنه عند تسخين العينات لدرجة حرارة تزيد عن $723C^{\circ}$ تتحول بنية حديد الصب الأولية (وهي عبارة عن البرليت والفيريت) إلى الأوستنيت، وبعد الإبقاء عند درجة حرارة التسخين لإتمام التحولات الطورية والتبريد التالي بسرعة تزيد عن سرعة التبريد الحرجة تكون البنية الناتجة بعد عملية التقسية هي المارتنيسيت والأوستنيت المتخلف (المتبقي)، ولذلك فإن العينات التي تم معالجتها حرارياً ارتفعت قساوتها بشكل واضح عن قساوة العينة الأساسية O.

- العينات C و D التي تم تسخينها للدرجة $850C^{\circ}$ زادت قساوتها بمعدل أكبر من العينات A و B التي تم تسخينها للدرجة $790C^{\circ}$ ، ويمكن تفسير ذلك بأنه كلما زادت درجة حرارة التسخين فوق الدرجة $723C^{\circ}$ كلما زاد نسبة انحلال الكربون في الأوستنيت ومن ثم الحصول على قساوة أعلى.

- العينة B التي تم مراجعتها عند الدرجة $150C^{\circ}$ قساوتها أعلى من العينة A التي تم مراجعتها عند الدرجة $400C^{\circ}$ وكذلك الأمر بالنسبة إلى العينات C و D، فقساوة العينة D أعلى من قساوة العينة C، وهذا يعود إلى أنه عند درجة حرارة المراجعة المنخفضة $150^{\circ}C$ يتفكك المارتنيسيت والأوستنيت المتبقي إلى مارتنيسيت مراجع وفق المعادلة الآتية:



بينما مع ارتفاع درجة الحرارة الى الدرجة 400°C يحدث تحول للمارتنيسيت الناتج عن التقسية الى أرضية برليتية وعرافيت حر (يمكن أن تكون الأرضية فيريتية فقط أو فيريتية وبرليتية) وذلك بسبب الطاقة الحرارية الأعلى المقدمة لذرات الكربون والتي تسمح لها بالانتشار بشكل أكبر



إن البنية البرليتية هي أقل قساوة من البنية المارتنيسية وهذا مايفسر انخفاض قيمة القساوة مع ارتفاع درجة الحرارة المراجعة.

4- نتائج اختبار الضغط:

تم تسجيل نتائج اختبار الضغط وفق الجدول (5):

العينة B التي تم تقسيته عند الدرجة 790°C ومراجعتها عند الدرجة 150°C ذات قوة انهيار أعلى على الضغط، حيث نلاحظ أن قوة الانهيار للعينة B ازدادت بمقدار 22% عن قوة الانهيار للعينة الأصل O، بينما قوة الانهيار للعينة D ازدادت بمقدار 9%، والعينات A, C ازدادت بنسب أقل 7%، 5%.

الجدول (5) نتائج اختبار الضغط للعينات المختبرة

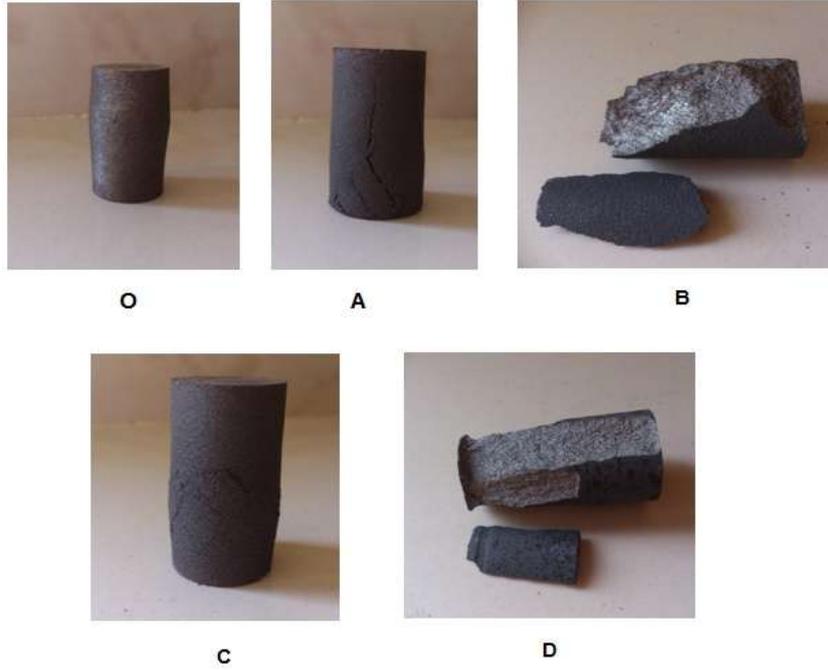
| رقم العينة | قوة الانهيار |
|------------|--------------|
| O | 220KN |
| A | 235KN |
| B | 270KN |
| C | 230KN |
| D | 240KN |

- زيادة مقاومة الضغط القصوى لجميع العينات التي تم معالجتها حرارياً مقارنة بمقاومة الضغط القصوى للعينة الأساسية، ويفسر ذلك بزيادة قساوة العينات المعالجة حرارياً عن قساوة العينة التي لم يجر عليها معالجة حرارية.

- مقاومة الضغط للعينات التي تم تسخينها لدرجات حرارة عالية 850°C كانت أقل من العينات التي تم تسخينها لدرجات حرارة منخفضة 790°C ويفسر ذلك بأنه عند الاستمرار بالتسخين لدرجات أعلى من درجة حرارة التحول الطوري يزداد حجم الحبيبات وتصبح الحبيبات خشنة وتتنخفض مقاومة الضغط وإجهاد الخضوع، أما عند التسخين للدرجة 790°C تكون الحبيبات ناعمة وتكون مقاومة الضغط لهذه العينات عالية.

- العينات التي تم مراجعتها عند 150°C كانت أفضل من العينات التي تم مراجعتها عند 400°C، ذلك لأن الأخطاء الشبكية (الانخلاعات) في البنية البرليتية سهلة الحركة، بينما تكون هذه الأخطاء صعبة الحركة في البنية المارتنيسية، ومن ثم نلاحظ انخفاض في قيمة مقاومة الضغط مع ارتفاع درجة حرارة المراجعة وذلك نتيجة للتحول البنيوي الحاصل في كل درجة والمذكور مسبقاً.

ويوضح الشكل (5) شكل تحطم العينات بعد اختبار الضغط:



الشكل (5) شكل تحطم العينات بعد اختبار الضغط

من الشكل (5) نلاحظ أن:

- شكل انهيار العينات O و A و C قريب من الانهيار المطيلي، حيث رافق عملية الانهيار تشوه لدن (التفطح الحاصل في منتصف العينات) وبعد ذلك انهارت العينة وذلك بتشكيل عدة شروخ على طول العينة، ويفسر ذلك بأن البنية الأولية للعينة O هي عبارة عن برليت أو برليت وغرافيت، أي قساقتها منخفضة وبذلك يكون شكل انهيارها قريب من الانهيار المطيلي، أما العينات A و C تم مراجعتها عند درجات حرارة عالية عند 400°C أي تم إزالة كامل الإجهادات الداخلية تقريباً، وبذلك تصبح حركة الانخلاعات سهلة (أي ترتفع اللدونة قليلاً) وتزداد المتانة وتتنخفض القساوة ولذلك فإن شكل انهيارها قريب من الانهيار المطيلي.

- العينات B و D انهارت بشكل فجائي أي الانهيار كان انهيار قصف، حيث نلاحظ أن هذه العينات التي تم مراجعتها عند الدرجة 150°C تحملت قوة ضغط كبيرة وبعد ذلك انهارت بشكل مفاجئ، وذلك لأن المراجعة عند درجات حرارة منخفضة تؤدي إلى تقليل الإجهادات الداخلية وليس إزالتها بشكل كامل ومن ثم تكون حركة الانخلاعات صعبة (أي تكون بنية المعدن قصفة) وبذلك يكون انهيارها بشكل مفاجئ أي انهيار قصف.

5- نتائج اختبار الاهتراء:

تم إجراء اختبار الاهتراء للعينات عند مسافات احتكاك مختلفة وتم حساب مقدار الاهتراء للعينات بطريقة الوزن المفقود:

Δm : مقدار الوزن المفقود.

m_1 : وزن العينة قبل الاختبار.

m_2 : وزن العينة بعد مسافة انزلاق 40m.

| | |
|---------------------------------------|----------------|
| العينة (O): | $m_1 = 28.25g$ |
| , $m_2 = 27.72g$, $\Delta m = 330mg$ | |
| العينة (A): | $m_1 = 27.92g$ |
| , $m_2 = 27.67g$, $\Delta m = 250mg$ | |
| العينة (B): | $m_1 = 27.53g$ |
| , $m_2 = 27.29g$, $\Delta m = 240mg$ | |
| العينة (C): | $m_1 = 28.13g$ |
| , $m_2 = 27.93g$, $\Delta m = 200mg$ | |
| العينة (D): | $m_1 = 27.63g$ |
| , $m_2 = 27.45g$, $\Delta m = 180mg$ | |

وتم حساب مقدار فقد الوزن بعد مسافات انزلاق 80m ، 120m ، 160m ، 200m ، وسجلت النتائج وفق الجدول (6):

الجدول (6) قيم الاهتراء للعينات عند مسافات انزلاق مختلفة:

| مسافة الانزلاق m | مقدار الاهتراء [mg] | | | | |
|---------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| | O | A | B | C | D |
| 40 | 330 | 250 | 240 | 180 | 200 |
| 80 | 443 | 360 | 330 | 300 | 270 |
| 120 | 562 | 465 | 427 | 415 | 335 |
| 160 | 677 | 573 | 530 | 538 | 408 |
| 200 | 782 | 670 | 620 | 653 | 470 |

تم حساب مقاومة الاهتراء للعينات وفق العلاقة الآتية:

$$wear\ resistance = 1/g$$

وتم تسجيل النتائج وفق الجدول (7):

الجدول (7) مقاومة الاهتراء للعينات المختبرة عند مسافات انزلاق مختلفة:

| مسافة الانزلاق m | مقاومة الاهتراء [1/g] | | | | |
|---------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | O | A | B | C | D |
| 40 | 3.03 | 4 | 4.16 | 5.55 | 5 |
| 80 | 2.25 | 2.77 | 3.03 | 3.33 | 3.70 |
| 120 | 1.78 | 2.15 | 2.34 | 2.4 | 2.9 |
| 160 | 1.47 | 1.74 | 1.88 | 1.85 | 2.45 |
| 200 | 1.27 | 1.49 | 1.6 | 1.53 | 2.12 |

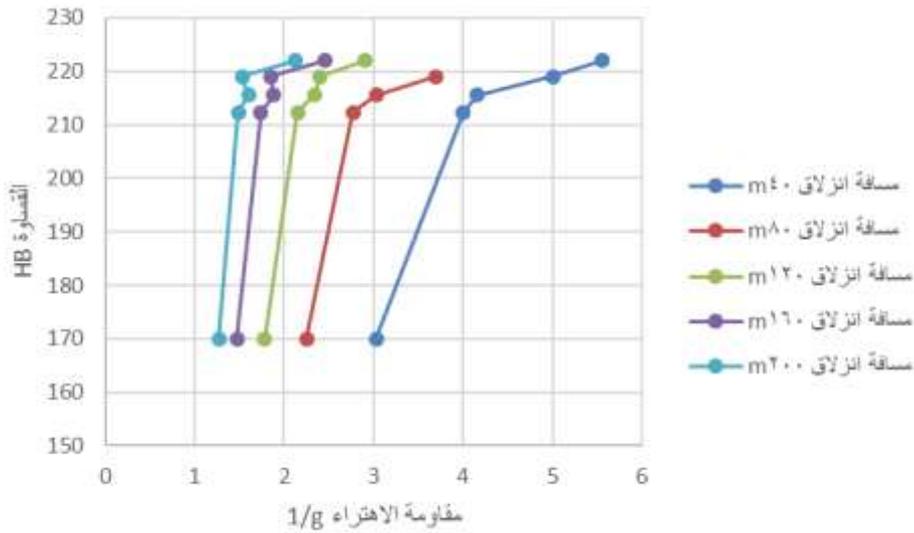
من الجدول (6) نلاحظ:

انخفاض معدل الاهتراء لجميع العينات التي تم معالجتها حرارياً مقارنة بمعدل الاهتراء للعيينة O ، ويفسر ذلك بزيادة قساوة العينات المعالجة حرارياً عن قساوة العينة الأساسية التي لم يجر عليها أية معالجة حرارية وهذا مثبت وفق الدراسات المرجعية.

- معدل الاهتراء للعينات C,D والتي تم تقسيتهما عند الدرجة $850C^{\circ}$ أقل من معدل الاهتراء للعينات A,B والتي تم تقسيتهما عند الدرجة $790C^{\circ}$ ويفسر ذلك بأن قساوة العينات C,D أعلى من قساوة العينات A,B ، حيث إنه كلما زادت درجة حرارة الأستة زاد انحلال الكربون في الأوستنيت وبذلك ترتفع القساوة ومقاومة الاهتراء.

- معدل الاهتراء للعينات التي مراجعتها عند $150C^{\circ}$ أقل من معدل الاهتراء للعينات التي تم مراجعتها عند $400C^{\circ}$ ويفسر ذلك بأن المراجعة عند درجات حرارة منخفضة تؤدي إلى تقليل الإجهادات دون حدوث انخفاض ملحوظ في القساوة وترتفع مقاومة الاهتراء والمتانة، أما المراجعة عند درجات حرارة عالية $400C^{\circ}$ تؤدي إلى إزالة كامل الإجهادات الداخلية تقريباً ولكن تؤدي إلى تقليل في القساوة ومن ثم انخفاض مقاومة الاهتراء قليلاً.

- يبين الشكل (6) زيادة مقاومة الاهتراء للعينات المختبرة بزيادة القساوة عند مسافات انزلاق مختلفة:



الشكل (6) تغير مقاومة الاهتراء للعينات بتغير قيم القساوة

من الشكل (6) نلاحظ انخفاض مقاومة الاهتراء للعينات بزيادة مسافة الانزلاق وذلك بسبب ارتفاع درجة حرارة الاحتكاك وتضرر السطح المهترئ بشدة، وهذا متوافق مع إحدى الدراسات المرجعية [10].

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

أدت عمليات المعالجة الحرارية إلى زيادة الخصائص الميكانيكية لمعدن لقم الكبح، ومن هذه الخصائص:

1- القساوة

2- مقاومة الضغط

3-مقاومة الاهتراء

2-قساوة العينات التي تم معالجتها عند درجة أستتة عالية 850°C كانت أفضل من العينات التي تم معالجتها عند 790°C من ناحية القساوة ومقاومة الاهتراء.

3-مقاومة الاهتراء للعينات التي تم مراجعتها عند الدرجة 150°C كانت أفضل من العينات التي تم مراجعتها عند الدرجة 400°C .

التوصيات:

1-ضرورة إجراء معالجات حرارية (التقسية والمراجعة) لمعدن لقم الكبح بعد الانتهاء من عمليات الصب والتبريد، نظرا للخصائص الجيدة التي امتازت بها اللقم المعالجة حراريا، واستخدامها في الخطوط الحديدية السورية، لما يعود من فائدة للمؤسسة خاصة والبلاد عامة.

2-إجراء عمليات التقسية عند درجة أستتة عالية 850°C ، وإجراء عملية المراجعة عند درجات حرارة منخفضة 150°C نظرا لزيادة مقاومة الاهتراء والقساوة عند هذه الدرجات.

3-استكمال دراسة تحسين أداء لقمة الكبح عن طريق صب لقم كبح جديدة بتراكيب كيميائية جديدة.

المراجع:

- [1] BOZ,M; KURT,A. *The effect of Al_2O_3 on the Friction performance of automotive brake friction materials*.Tribolog International, volume 40(7), 2007, 1161-1169.
- [2] FERRER,C; PASCUAL,M; BUSQUETS,D; RAYON.E.*Tribological study of Fe-Cu-Cr-graphite alloy and cast iron rail way brake shoes by Pin-on disk technique*. Wear, 268, 2010, 784-789.
- [3] MARUSIC,V; VITEZ,I; KLADARIC,I. *Properties of brake shoes with increased phosphorus content*.Metalurgija, volume 43(4), 2004, 323-327.
- [4] يونس،د.أحمد. نعلات لجام جديدة للسكك الحديدية .مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، المجلد (28) ، العدد (1) ، 2006، 167-177.
- [5] ERTAN,R; YAVUZ,N. *An experimentally study on the effects of manufacturing parameters on the Tribological properties of brake lining materials*.Wear, volume268, 2010, 1524-1532.
- [6] GARSLTIN,N.A.P; KULIK,V.I; NILOV,A.S. *Braking Friction materials Based on Fiber-Reinforced composites with carbon and ceramics matrices*.Refractories and Industrial Ceramics, volume 49(5), 2008, 54-60.
- [7] الأحمد، د.نوفل. *تكنولوجيا المعادن*، منشورات جامعة تشرين 2011.
- [8] لاختين، يو. *علم المعادن والمعاملة الحرارية للمعادن*.الاتحاد السوفيتي-موسكو، دار مير للطباعة والنشر، 1983.
- [9] ماليشيف، أ؛ نيكولايف، ج؛ شوفالوف، ي. *تكنولوجيا المعادن*.الاتحاد السوفيتي، ترجمة الدكتور أنور الطول، دار مير للطباعة والنشر، الطبعة الثانية، 1973.
- [10] UEDA,Y; YOSHIOKA,A; FUJIWARA,H. *Compound cast iron for making brake shoes*.United States Patent, 1973, 65.
- [11] أبو جهجاه، د.جميل. *المعادن خواصها واختباراتها-معالجتها الحرارية*. جامعة دمشق، 1994.
- [12] هنتر، علي. *المعالجات الحرارية للمعادن*. جامعة تشرين، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية ، 2000.
- [13] COPLEY,S.M; LANGER,E.L.*Heat Treating*. ASM Handbook, 1991, 1455-1475.