

## التحقق من تأثير عمليات المعالجة الحرارية على سلوك الاهتراء لفولاذ بوهلر K720

سامي نبيل انطكلي

عباد نوفل كاسوحة

قسم هندسة التصميم والإنتاج || كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية || جامعة البعث || سوريا

الملخص: هدفت الدراسة إلى التحقق من تأثير عمليات المعالجة الحرارية على مقاومة الاهتراء لفولاذ بوهلر العالي الكربون K720، حيث تم الحصول على قطعة غير معالجة من هذا الفولاذ أبعادها (500x60x10 mm). وتم قصها إلى عينات أبعادها (60x15x10 mm). وأجرى على كل جزء من هذه العينات معالجات مختلفة تمثلت بالتسخين حتى 810°C والإبقاء لمدة 30 min ثم التبريد بأوساط مختلفة (الماء، الزيت، الهواء)، وأجريت عملية المراجعة على جزء من العينات التي تم تبريدها بالزيت عند درجات حرارة (100,200,300,400°C) لمدة زمنية 30 min، وبذلك نكون قد حصلنا على ثمانية نماذج من العينات من ضمنها العينة الأساس تختلف عن بعضها بظروف المعالجة الحرارية.

تم فحص البنية المجهرية لكل نموذج وتم قياس القساوة وفق روكويل HRC والاختبار على الاهتراء باستخدام دولاب مطاطي مع تطبيق حمولة مسبقة وتيارملي Rubber Wheel.

بينت نتائج الاختبار أن العينات المسقاة بالماء لها أكبر قساوة 70HRC وأخفض معدل اهتراء 0.14%، لكن السقاية بالماء سببت حدوث تشققات في العينات، أما التبريد في الهواء أعطى أخفض قساوة 59HRC وأعلى معدل اهتراء من بين العينات المسقاة 0.306%. بالنسبة للعينات المسقاة بالزيت والمراجعة، فبينت النتائج أنه مع زيادة درجة حرارة المراجعة من 100°C حتى 400°C نقصت القساوة من 64HRC حتى 50HRC، وزاد معدل الاهتراء من 0.201% حتى 0.451%.

والخلاصة أن عملية السقاية التي تهدف للحصول على بنية مارتزيتية وتسبب إجهادات داخلية ضمن البنية نتيجة سرعة التبريد كانت بالزيت وأعطت قيم قساوة ومقاومة اهتراء عاليتين ودون حدوث تشققات أو تمزقات في العينة، ومن خلال عملية المراجعة والتي تعتبر ضرورية لجعل العينات المسقاة أكثر استقراراً يمكن إعادة التحكم بهاتين القيمتين بما يلائم التطبيقات العملية عن طريق تغيير درجة الحرارة.

الكلمات المفتاحية: سبائك الفولاذ، المعالجة الحرارية لسبائك الفولاذ، التطبيقات الصناعية لسبائك الفولاذ.

### 1- مقدمة:

وجد الفولاذ في العصر الحديث تطبيقات ضخمة في معظم النواحي، وتطورت المنتجات الفولاذية في العقود الأخيرة، حيث يمثل الفولاذ المجموعة الأكثر أهمية في المواد الهندسية حيث إن له تطبيقات واسعة في المواد الهندسية<sup>[1]</sup>.

بشكل اعتيادي يعتبر الكربون هو العنصر الأكثر أهمية الذي يؤثر على الخصائص الميكانيكية للفولاذ، وبزيادة محتوى الكربون في الفولاذ تزداد القساوة والمتانة، وعلاوةً على ذلك فالفولاذ متوسط الكربون يملك متانة جيدة يمكن أن تقاوم درجات الحرارة، والجو المحيط وهو متوفر بكميات كبيرة، مع أشكال متعددة وتكلفة إنتاجية قليلة.

وأيضاً للعناصر السبائكية دور كبير في تحسين خصائص الفولاذ، وهي تضاف بكميات مدروسة بحسب الخاصية المراد تطويرها.

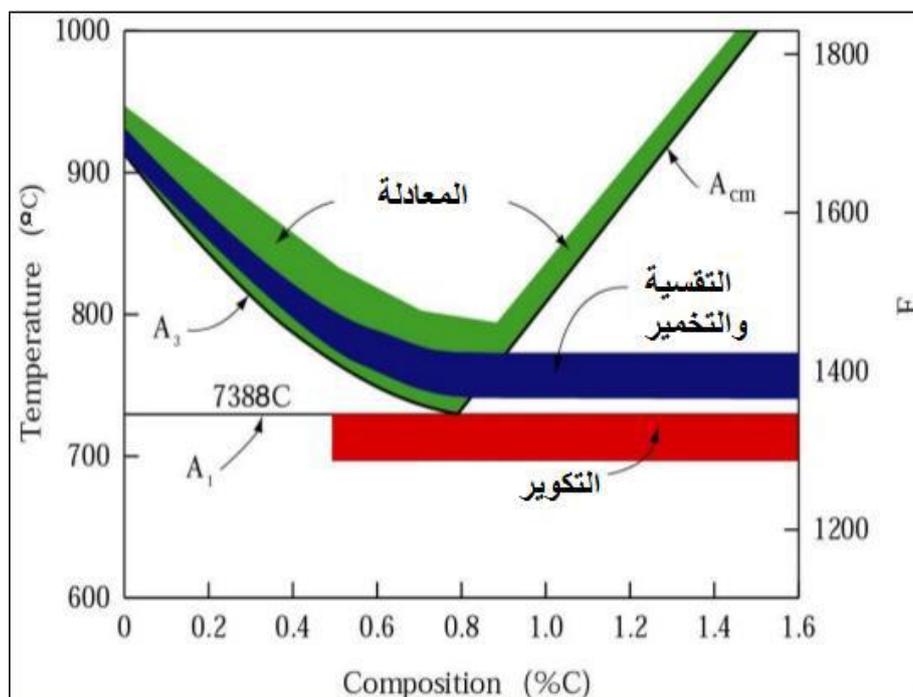
يطلق اسم الفولاذ الكربوني عادةً على السبيكة من الحديد والكربون بمحتوى من الكربون يتراوح بين أجزاء بالمئة حتى حوالي 2%Wt.

عناصر سبائكية أخرى تتواجد وتكون نسبتها حتى 5%Wt في الفولاذ منخفض السبائكية وأعلى من ذلك في الفولاذ مرتفع السبائكية مثل فولاذ العدة والفولاذ المقاوم للصدأ<sup>[2]</sup>.  
يبيد الفولاذ مجال واسع من الخواص بالاعتماد على التركيب بالإضافة للأطوار ووجود الإضافات المكروية، والتي بدورها تعتمد على المعالجة الحرارية<sup>[3]</sup>.

### المعالجات الحرارية للفولاذ:

تعتمد طرق المعالجة الحرارية للفولاذ على نوعية الخواص الميكانيكية المطلوبة، ومن الملاحظ أن التبريد يؤثر في الخواص الميكانيكية للمعدن بأكمله، وفيما يلي أهم طرق المعالجة الحرارية:  
أولاً: التخمير: عبارة عن عملية تسخين المعدن أو السبيكة إلى درجة معينة (فوق درجة AC3 بقليل)، ثم التبريد البطيء داخل الفرن، للحصول على معدن مطيل قابل للتشكيل ذو حبيبات كبيرة، والخواص الميكانيكية ستكون ضعيفة<sup>[4]</sup>.  
ثانياً: المعادلة: عبارة عن عملية تسخين الفولاذ لدرجة حرارة أعلى من الخط (AC3-ACm) ثم التبريد في الهواء الجوي لدرجة الحرارة العادية، والغرض من ذلك إنتاج نوعيات من الفولاذ لها صلابة وقوة شد عالية، وتحسين قابلية التشغيل على الآلات<sup>[5]</sup>.

ثالثاً: التقسية: مع زيادة سرعة التبريد عن الطرق السابقة لن يكون هناك وقت كافي للكربون لينتشر ويخرج من بلورات الأوستنيت، ويبقى الكربون محصوراً داخل بلورة الحديد وهذا المحلول يسمى مارتنزيت، ويكون على شكل إبري رقيق أبيض أو دائري، ويحتاج لإزالة الإجهادات وبالتالي تخفيض القساوة عن طريق التسخين لدرجات حرارة منخفضة (100-300°C) للحصول على صفائح رقيقة من المارتنزيت داخل الفريت، أو لدرجات حرارة أعلى والتبريد السريع للحصول على المارتنزيت الكروي<sup>[6]</sup>. والشكل (1) يلخص المعالجات الحرارية التي يمكن إجراؤها على الفولاذ الكربوني.



الشكل (1) المعالجات الحرارية للفولاذ الكربوني<sup>[6]</sup>

## اهتراء الفولاذ:

يعرف الاهتراء بأنه إزالة المادة من الأسطح الصلبة، والتي من الممكن أن تسبب فشل القطع الصناعية، تم تطبيق عدة دراسات للتحقق من البلى طوال السنوات الماضية<sup>[7]</sup>.

وهناك نماذج متعددة للاهتراء أهمها:

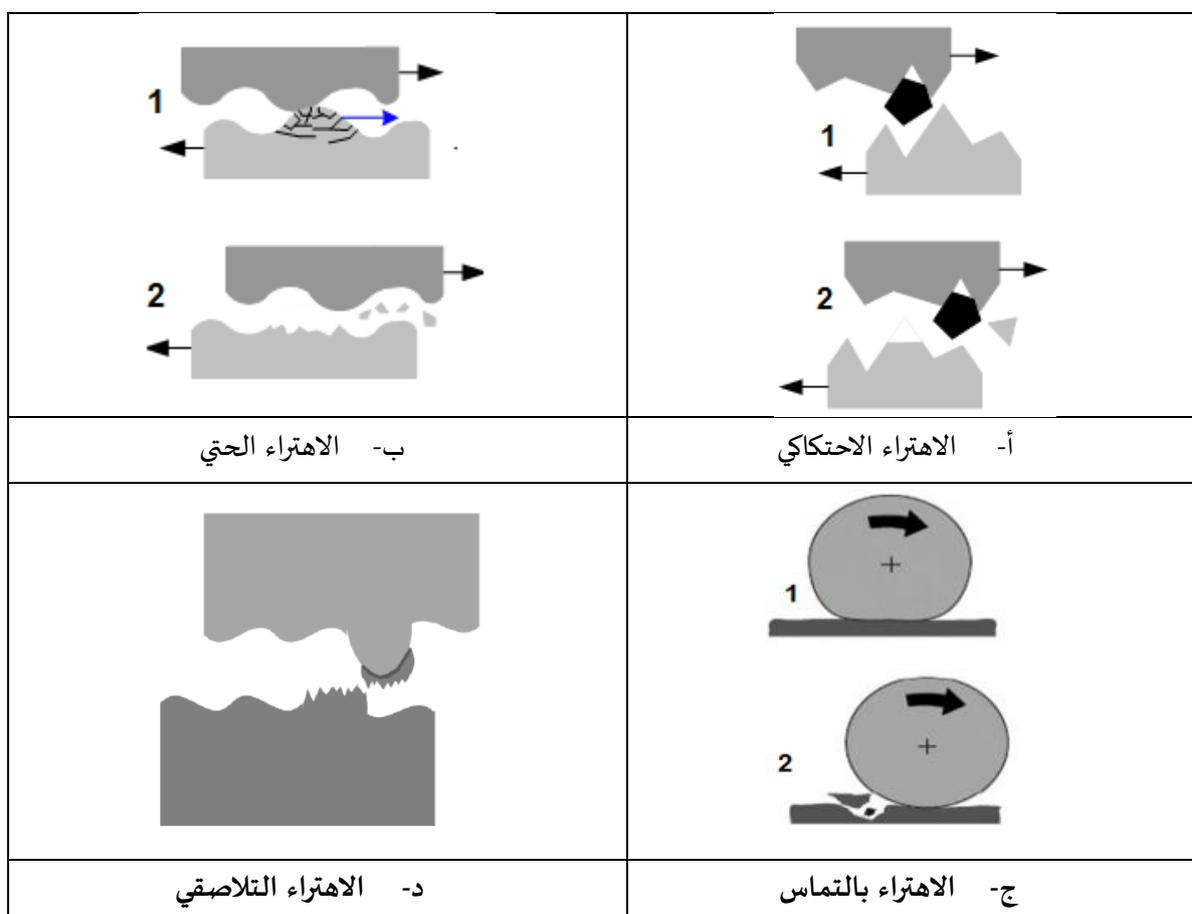
أولاً: الاهتراء الاحتكاكي: يتضمن حفر أسطح التماس الموضعية من خلال المواد المتزاوجة الأخرى، الجزيئات غير المعدنية تسبب الحك ويمكن للجزيئات المعدنية أن تسبب الحك أيضاً، والمادة سوف يتم خدشها أو حكها في حال كانت الجزيئات أقسى منها<sup>[8]</sup>.

ثانياً: الاهتراء الحثي: تتضمن هذه العملية الاهتراء الناتج عن الاهتزازات الصغيرة عند الاتصالات الميكانيكية مثل الوصلات المبرشمة، وهذا بسبب التأثير المزدوج للأكسدة والبلى الحثي<sup>[9]</sup>.

ثالثاً: الاهتراء بالتآكل: يتضمن التآكل تأثير محاليل التآكل، والتآكل هو عملية إزالة إلكتروكيميائية للمادة من السطح بالانحلال بينما الاهتراء يتضمن إزالة المادة نتيجة العمل البيئي الفيزيائي بين الأسطح، هاتان العمليتان تؤثران بشكل متكامل وتسرعان تآكل المادة من السطح<sup>[10]</sup>.

رابعاً: اهتراء التعب أو تعب التماس: وهذا يحدث عندما يجهد السطح بطريقة دورية متكررة، وهذا النوع من البلى يمكن أن يوجد في الأجزاء المعرضة للاتصال الدحرجي، مثل المحامل الكروية الدحرجية<sup>[11]</sup>.

خامساً: الاهتراء التلاصقي: هذا النوع من البلى يحدث نتيجة انزلاق جسمين معدنيين على بعضهما البعض تحت حمولة مطبقة حيث لا يوجد حك<sup>[12]</sup>. والشكل (2) يلخص أنواع الاهتراء التي تم شرحها.



الشكل (2) الأشكال المختلفة للاهتراء<sup>[7]</sup>

## 2- أهمية البحث وأهدافه:

خلال عمر الخدمة، تخضع الأجزاء الفولاذية لعمل إجهادي كبير، ويحدث الاهتراء والتمزق في أجزاء الجسم، وتعتمد نوعية المنتجات الفولاذية على طبيعة أسطحها وعلى التلف السطحي نتيجة الاستعمال، وتلف السطح هو عامل هام خلال الاستخدام العملي، وهو غالباً العامل الرئيسي الذي يحد من عمر الخدمة والأداء للأجزاء الميكانيكية.

### وسنستعرض فيما يأتي أهم الدراسات المرجعية:

في العام 2005 تم نشر بحث في مجلة ELSEIVER بعنوان تأثير المعالجة الحرارية التقليدية على مقاومة الاهتراء لفولاذ العدة AISI H13، حيث تم تسخين الفولاذ حتى الدرجة 1050°C ومن ثم السقاية بالزيت والإرجاع عند الدرجة 600°C، والاختبار على الاهتراء بدولاب الشد وقياس فرق الوزن، وبينت نتائج الاختبار أن هذا الفولاذ في الحالة المسقاة عند مستويات التحميل المنخفضة له مقاومة الاهتراء الأعلى، أما عند مستويات التحميل المرتفعة فالعينات في الحالة المراجعة لها مقاومة الاهتراء الأعلى<sup>[13]</sup>.

في العام 2005 تم نشر بحث في الجامعة التكنولوجية بعنوان تأثير التقسية بالماء على البلى الالتصاقى الجاف لسبيكة الفولاذ المقاوم للصدأ دويلكس SAF 2205، حيث تم تسخين هذا الفولاذ لدرجات حرارة (-1323 1573°K) والسقاية بالماء ثم الاختبار تحت ظروف الانزلاق الجاف على قرص ذو صلادة (446 kg/mm<sup>2</sup>) وتحت تأثير أحمال (5, 10N) على التوالي ولفترات زمنية مختلفة ما بين (30 min – 4hr)، وبينت الدراسة أن مقاومة البلى لهذه السبيكة تزداد عند زيادة درجة حرارة المعالجة بسبب ازدياد نسبة الفريت ونقصان نسبة الأوستنيت<sup>[14]</sup>.

في العام 2012 تم نشر بحث في مجلة IJETAE بعنوان تحليل خصائص التآكل الحثي وعلاقته ببنية الفولاذ المتوسط والمنخفض الكربون، حيث تم العمل على ثلاثة أصناف من الفولاذ En8, En19, En24، والتي تمت مراجعتها عند درجات حرارة 250, 400, 600 °C، وتم اختبارهم على الشد وعلى القساوة وعلى الصدم وعلى الاهتراء عن طريق جسم حاك من الألماس وقياس معدل فقدان الكتلة، وبينت نتائج الاختبار مقاومة الشد والقساوة ومقاومة الاهتراء تتناقص مع زيادة درجة حرارة الإرجاع، أما مقاومة الصدم فتتناقص بالنسبة للفولاذ En8 مع زيادة درجات حرارة الإرجاع، وتزداد بالنسبة للأنواع الأخرين مع زيادة درجة حرارة الإرجاع<sup>[15]</sup>.

في العام 2013 أجريت دراسة في قسم المواد جامعة Rourkela عن مقاومة الفولاذ المنخفض الكربون والفولاذ عالي الكربون للاهتراء عن طريق الاختبار بالكرة الألماسية الذي يطبق عمل الضغط والانزلاق، وشروط المعالجة الحرارية المطبقة على العينات هي التخمير والمعادلة والسقاية بالزيت والسقاية بالماء والسقاية بالماء بعد تأخير السقاية، وبينت النتائج بالنسبة للفولاذ المنخفض الكربون أن مقاومة الاهتراء في الحالة المخمرة أفضل منها في حال المعادلة، وفي حال الفولاذ العالي الكربون فالمعادلة تعطي مقاومة اهتراء أكثر من التخمير، أما بالنسبة لعمليات السقاية فقد أعطت زيادة في مقاومة الاهتراء وخاصةً مع زيادة نسبة الكربون، والحالة التي تم فيها تأخير السقاية أعطت مقاومة الاهتراء الأفضل<sup>[16]</sup>.

إن فولاذ بوهرلر K720 هو أحد أهم الأنواع الفولاذية الصناعية المستخدمة في تطبيقات مثل تصنيع القوالب، وسكاكين القطع في معامل الورق، وصناعات تشغيل المعادن، وقوالب القص، والعدد الميكانيكية، وسلوكه الميكانيكي وخاصةً على الاهتراء يتغير تبعاً للمعالجة الحرارية المجراة، وهذا ما قد يؤثر على الأداء وعلى عمر الخدمة لذا فكان لا بد من دراسة تأثير المعالجات الحرارية الممكنة على هذا النوع من الفولاذ على سلوك الاهتراء من أجل توظيف المعالجة المناسبة للتطبيق المناسب.

### 3- طريقة البحث:

#### 1-3- تحضير العينات:

تم الحصول على قطعة كبيرة من فولاذ بوهلر K720 أبعادها (500x60x10mm)، وتركيبها الكيميائي بحسب المصدر مبينة في الجدول (1).

الجدول (1) التركيب الكيميائي للسبيكة K720 (%).

C	Si	Mn	Cr	V
0.9	1.85	2	0.35	0.3

#### 2-3- إجراء عمليات المعالجة الحرارية:

تم تسخين العينات لدرجة حرارة 810°C والإبقاء لمدة (15 دقيقة) هذه القيمة محددة بحسب المواصفات العالمية ASTM B917-918 وتتبع لسماكة العينة، ومن ثم التبريد بأوساط مختلفة (ماء - زيت - هواء)، وبعد ذلك يتم الإرجاع عند درجات (100, 200, 300, 400°C) والإبقاء لفترة زمنية (15 دقيقة) للحصول على العديد من نماذج من العينات تختلف كل منها عن الأخرى ببارامترات المعالجة (حرارة-زمن)، الفرن المستخدم Kelvin For Digital Electronics وهو فرن مبرمج - الجدول (2) يبين البارامترات المختلفة للمعالجات الحرارية المجراة.

الجدول (2) البارامترات المختلفة للمعالجات الحرارية المجراة

رقم العينة	درجة حرارة التسخين °C	وسط التبريد	درجة حرارة الإرجاع °C
1		كما تم تلقيها	
2	810	ماء	x
3	810	زيت	x
4	810	هواء	x
5	810	زيت	100
6	810	زيت	200
7	810	زيت	300
8	810	زيت	400

تم اختيار زمن الإبقاء عند التسخين وعند الإرجاع 15 دقيقة وذلك تبعاً لسماكة العينات.

#### 3-3- البنية المجهرية:

من أجل فحص البنى المكروية للنماذج المختلفة للعينات قمنا بعملية الشحذ بورق الزجاج مع الماء حتى الدرجة (1200) باستخدام جهاز الشحذ الدوار مع التغذية المائية (Rotary Wheel). أما محلول الإظهار المستخدم فهو كاشف كيلر ذو التركيب الكيميائي (95 ml H<sub>2</sub>O, 5 ml HNO<sub>3</sub>). تم استخدام المجهر الضوئي (B-353 Met Optikal) والذي يمكن أن يكبر حتى (500 مرة) والمزود بألة تصوير متصلة مع الحاسب المزود ببرنامج تحليل للصور المتقطعة.

#### 4-3- اختبار القساوة الميكانيكية:

تم اجراء اختبار القساوة عن طريق جهاز روكويل HR-150A حيث تم استخدام رأس فولاذي بقطر 1/16 انش، حيث نحقق التلامس بين سطح العينة والرأس الفولاذي عن طريق تدوير العجلة الحاملة لمسند العينة، ثم نطبق الحمولة الأولية 97 N عن طريق تدوير العجلة مع عقارب الساعة بعد تلامسها ما يقارب 3 دورات حتى ينطبق المؤشر الصغير على النقطة الحمراء، ثم نعاير مؤشر القرص على الرقم 0 باللون الاحمر، ثم ننتظر مايقارب عشر ثواني حتى ثبات المؤشر، ثم نطبق الحمولة الكلية 1471 N الخاصة بالفولاذ المقسى ثم ننتظر عشر ثواني، ثم نرفع الحمولة فيدل المؤشر على قيمة القساوة مباشرة<sup>[17]</sup>.

#### 2-4-3- اختبار الاهتراء:

تم إجراء اختبار الاهتراء باستخدام جهاز Rubber Wheel المبين في الشكل (3)، والذي يعتمد على وضع العينة ضمن ماسك بحيث تكون على تماس مع دولاب مطاوي دوار يتم ضغطها عليه بوزن محدد مسبقاً، بالإضافة إلى تيار رملي، يوجه على منطقة التماس بين العينة والدولاب. بالنسبة لمتغيرات التجربة فقد تم اختيارها وفق المواصفة ASTM G65-94، قطر الدولاب 228 mm، الحمل 12.5 kgr، مدة الاختبار 30 min.

أما بالنسبة لمعدل الاهتراء فيحسب كنسبة مئوية لفقدان الوزن قبل وبعد الاختبار وفق العلاقة التالية:

$$Erosion Rate \% = \frac{W_0 - W}{W_0} \cdot 100$$

Erosion Rate: معدل الاهتراء.

W<sub>0</sub>: الوزن البدائي (gr).

W: الوزن النهائي (gr) [12].

حيث تم قياس فقدان الوزن باستخدام الميزان الدقيق Satrius والذي تبلغ دقته (0.1 mg)<sup>[18]</sup>.

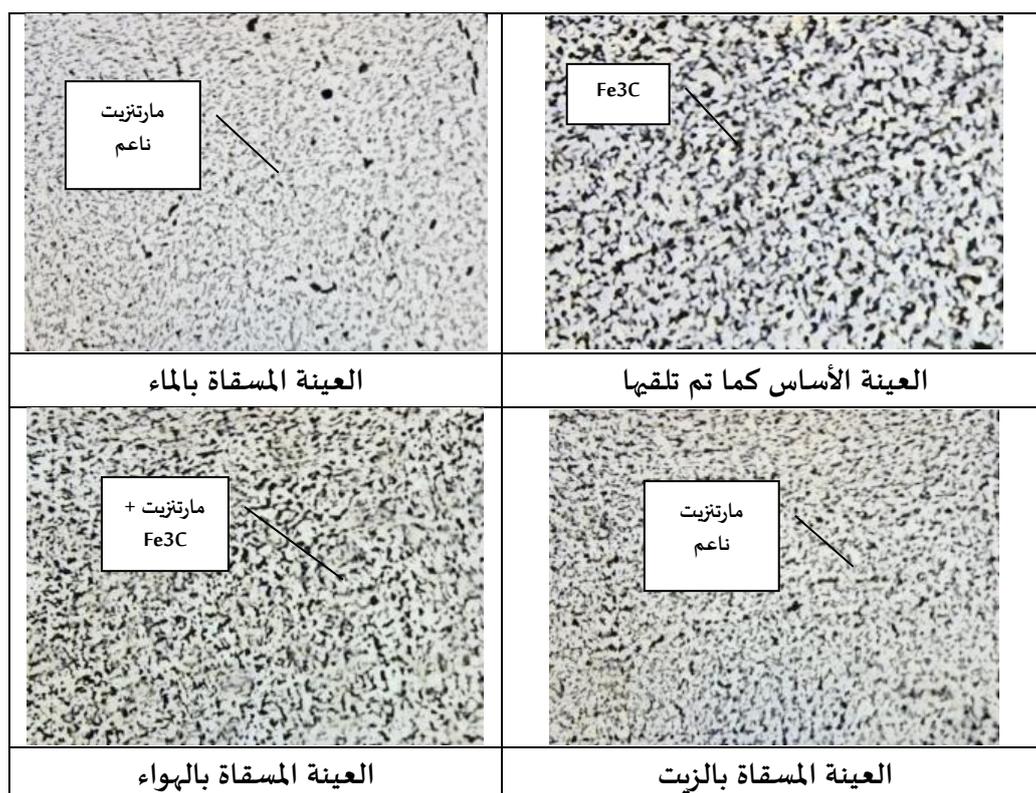


الشكل (3): جهاز اختبار الاهتراء

#### 4- عرض النتائج:

##### 1-4- البنى المجهرية:

يبين الشكل (4) البنى المجهرية للعينات المختلفة المعالجة حرارياً والمسقاة بأوساط تبريد مختلفة، ونلاحظ من الشكل أن العينة الأساس تحوي على شرائح السيمانيت ضمن البنية، أما البنية المسقاة بالماء فتحتوي توزعات ناعمة جداً من المارتزيت، بينما العينة المسقاة بالزيت فإن البنية المارتزيتية المتشكلة أكثر خشونة، والعينة المسقاة بالهواء فنجد إلى جانب المارتزيت شرائح السيمانيت.



الشكل (4) البنى المجهرية للعينات المسخنة حتى  $810^{\circ}\text{C}$  والمبردة بأوساط تبريد مختلفة  $\times 200$

يبين الشكل (5) البنى المجهرية للعينات المختلفة المسقاة بالزيت، والمراجعة عند درجات حرارة مختلفة. ونلاحظ من البنى المختلفة توزع المارتزيت ضمن الأرضية المعدنية وهو ما يسمى بالمارتزيت المراجع، وبزيادة درجة حرارة المراجعة تصبح البنية المارتزيتية أخشن.





الشكل (5) البنى المجهرية للعينات المسقاة بالزيت والمراجعة عند درجات حرارة مختلفة

#### 2-4- نتائج اختبار القساوة:

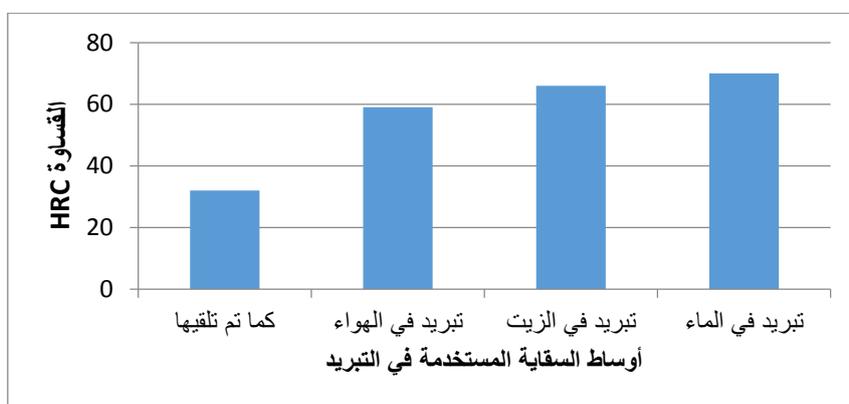
يبين الجدول (3) نتائج اختبار القساوة المجرى على نماذج العينات المختلفة.

الشكل (6) مخطط بياني يظهر تغير قيم القساوة مع تغير وسط السقاية حيث نلاحظ أن القساوة الأعلى كانت عند السقاية بالماء أما القساوة الأخفض فكانت عند التبريد بالهواء.

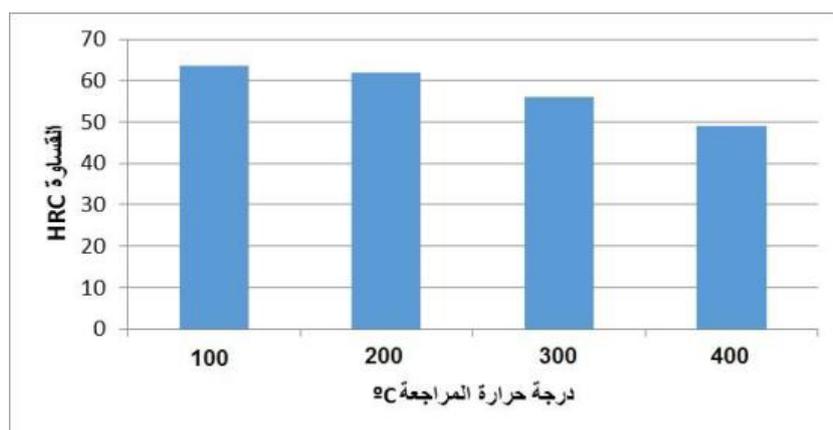
الشكل (7) مخطط بياني يظهر تغير قيم القساوة مع تغير درجة حرارة الإرجاع بعد السقاية بالزيت حيث نلاحظ أنه ومع زيادة درجة حرارة الإرجاع تنخفض القساوة.

الجدول (3) نتائج اختبارات القساوة المجرأة على العينات المختلفة

رقم العينة	درجة حرارة التسخين °C	وسط التبريد	درجة حرارة الإرجاع °C	القساوة HRC
1		كما تم تلقيها		32
2	810	هواء	x	59
3	810	زيت	x	66
4	810	ماء	x	70
5	810	زيت	100	64
6	810	زيت	200	62
7	810	زيت	300	57
8	810	زيت	400	50



الشكل (6) تغير قيم القساوة مع تغير وسط التبريد



الشكل (7) تغير قيم القساوة مع تغير درجة حرارة الإرجاع بعد السقاية بالزيت

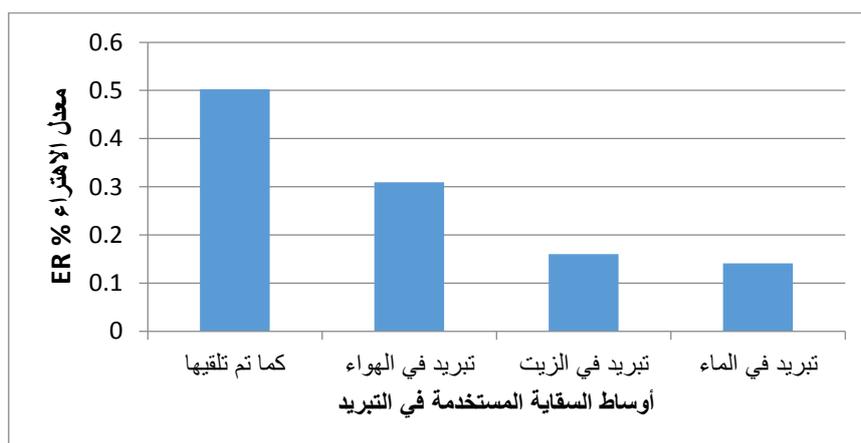
#### 4-3- نتائج اختبار الاهتراء:

يبين الجدول (4) نتائج اختبار الاهتراء المجراة على العينات المختلفة، حيث يظهر لدينا الوزن البدائي والوزن النهائي ومعدل الاهتراء.

الجدول (4) نتائج اختبارات الاهتراء المجراة على العينات المختلفة

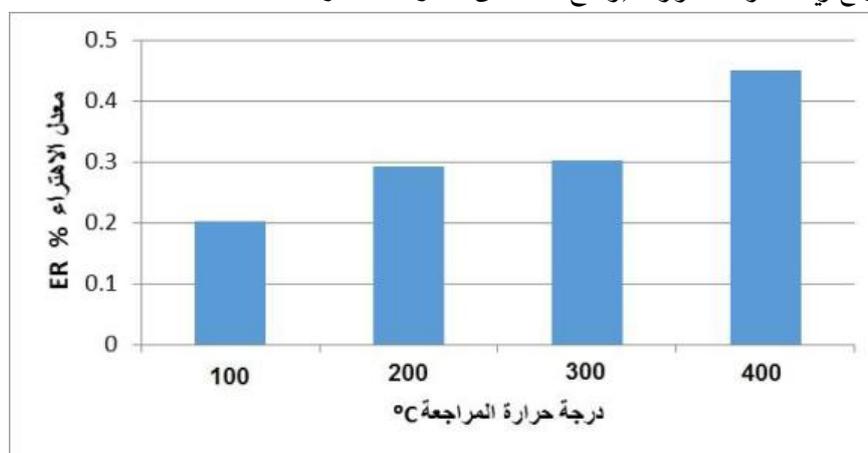
رقم العينة	درجة حرارة التسخين °C	وسط التبريد	درجة حرارة الإرجاع °C	الوزن البدائي W <sub>0</sub> gr	الوزن النهائي W gr	معدل الاهتراء ER%
1		كما تم تلقيها		83.65	83.23	0.502092
2	810	ماء	x	92.35	92.22	0.140769
3	810	زيت	x	93.56	93.41	0.160325
4	810	هواء	x	90.49	90.21	0.309426
5	810	زيت	100	89.44	89.26	0.201252
6	810	زيت	200	92.37	92.1	0.292303
7	810	زيت	300	89.18	88.91	0.302758
8	810	زيت	400	93.09	92.67	0.451176

والشكل (8) مخطط بياني يظهر تغير قيم مقاومة الاهتراء مع تغير وسط السقاية حيث نلاحظ أن المقاومة الأعلى كانت عند السقاية بالماء أما المقاومة الأقل كانت للعينات الأساس.



الشكل (8) تغير قيم مقاومة الاهتراء مع تغير وسط التبريد

والشكل (9) مخطط بياني يظهر تغير قيم مقاومة الاهتراء مع تغير درجة حرارة الإرجاع بعد السقاية بالزيت حيث نلاحظ أنه ومع زيادة درجة حرارة الإرجاع تنخفض مقاومة الاهتراء.



الشكل (9) تغير قيم مقاومة الاهتراء مع تغير درجة حرارة الإرجاع بعد السقاية بالزيت

## 5- مناقشة النتائج:

إن البنية الأساسية لهذا الفولاذ قبل إجراء عمليات المعالجة الحرارية هي البرليت المكون من فريت وشرائح السيمانيت، وسيمانيت ثانوي، وعند التسخين حتى الدرجة  $810^{\circ}\text{C}$  سوف تتحول البنية إلى أوستنيت وعند إجراء عملية السقاية سوف تتحول البنية إلى مارتنزيت وهو عبارة عن فريت متخم الإشباع بالكربون وهذا التحول لا انتشاري، وبزيادة سرعة التبريد تكون كمية الأوستنيت المتحولة إلى مارتنزيت أكثر وأنعم ومجهداً بشكل أكبر<sup>[1]</sup>، وبالتالي فالقساوة ومقاومة الاهتراء أعلى، ويكون البنية المارتنزيتية بنية قاسية ومجهداً فمع زيادة سرعة التبريد ستزداد القساوة ومقاومة الاهتراء، لكن السقاية بالماء سوف تسبب حدوث الشقوق الساخنة، ووسط السقاية الأفضل هو الزيت والذي شكل لدينا بنية مارتنزيتية أقل نعومة من تلك المتشكلة في الماء كما ظهر في صور البنى المجهرية، أما عملية التبريد في الهواء لم تُعطِ بنية مارتنزيتية كاملة وهذا ما يفسر لنا انخفاض القساوة ومقاومة الاهتراء، وهذه النتائج تتوافق مع نتائج تجارب الباحث Daspatanayak المجراة على فولاذ عالي الكربون، والتي بينت أن عملية التخمير والسقاية بالماء أعطت مقاومة الاهتراء الأعلى بالمقارنة مع التخمير والسقاية بالزيت، والمعادلة بالتبريد بالهواء<sup>[16]</sup>.

أما بالنسبة لعملية الإرجاع التي أجريناها بعد عملية السقاية في الزيت فهي أدت للحصول على بنى مارتنزيتية مراجعة أقل إجهاداً نتيجة انتشار الكربون الموجود ضمن البنية المارتزيتية مما أدى إلى انخفاض في القساوة وفي مقاومة الاهتراء، وبالتالي زادت لدونة المادة، وهذه النتائج تتوافق مع نتائج الدراسة التي أجراها الباحث Kumar على الفولاذ منخفض والمتوسط الكربون والتي أظهرت انخفاض مقاومة الاهتراء مع زيادة حرارة الإرجاع<sup>[15]</sup>. وبالتالي وبكلمات أخرى بارتفاع درجة حرارة الإرجاع تنقص القساوة ومقاومة الاهتراء لكن تبقى أعلى من ما هي عليه في العينة الأساس، والسبب في ذلك حدوث استشفاء في البنية البللورية وإعادة تبلور لبنية المارتزيت، وتزول الإجهادات الناشئة عن عملية التبريد، وتزول الانخلاعات داخل حزم المارتزيت والبنية حبيبية إبرية الشكل.

#### 6- الخاتمة:

في هذه الدراسة تحققنا من تأثير عمليات المعالجة الحرارية الممكن إجراؤها على فولاذ بوهرلر K720 على البنية المجهرية والقساوة ومقاومة الاهتراء، وتم أخذ معظم أوساط السقاية التي يمكن أن يتم التبريد فيها بعد المعالجة ومجال واسع من درجات حرارة الإرجاع، أفضل قساوة وأعلى مقاومة اهتراء حصلنا عليها عند السقاية بالماء، لكن هذا قد سبب حدوث تشققات نتيجة الإجهادات الداخلية العالية، لذا فالسقاية بالزيت هي الأفضل، وإجراء عملية المراجعة ينقص من القساوة ومن مقاومة الاهتراء نتيجة إزالة الإجهادات الداخلية، وبالمقابل ستزداد لدونة المادة.

#### 7- التوصيات:

- في هذا العمل تم تثبيت زمن الإرجاع وتغيير درجة الحرارة ويمكن التحقق في أعمال لاحقة من تأثير الزمن.
- يمكن التحقق في أعمال لاحقة من تأثير تغيير بارامترات المعالجة الحرارية على خصائص ميكانيكية أخرى مثل مقاومة الشد والمطيلية.
- يمكن من خلال النتائج التي حصلنا عليها تحديد متغيرات المعالجة الحرارية التي المناسبة للتطبيق الصناعي المراد.

## Reference

- [1] Krauss. G, Steels: Processing, Structure, and Performance, ASM International, 2005.
- [2] Gandy.D, Carbon Steel Handbook, Electric Power Research Institute, USA, 2007.
- [3] Romesh. C, Principles of heat treatment of steels, New Age International Publishers, New Delhi, 2008.
- [4] Fadare.D.A, and Akanbi. O. Y, Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Microstructure of NST 37-2 Steel, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 10(3), pp. 299-308, 2011.
- [5] Leskovsek. V, Sustarsic. B, and Jutrisa. G , The influence of austenitizing and tempering temperature on the hardness and fracture toughness of hot-worked H11 tool steel, Journal of Material Processing Technology, 178, 2006.
- [6] Fadare.D.A, Fadara.T.G, and O. Y. Akanbi.O.U , Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties and Microstructure of NST 37-2 Steel , Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 10(3), pp.299-308, 2011.

- [7] Behera Balaram. B.K & Prasad Neeraj V, Erosion wear of materials, National Institute of Technology, Rourkela, pp.14, 2007.
- [8] Devaraju.A, A Critical Review on Different Types of Wear of Materials, International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 6, Issue 11, pp. 77-83,2015.
- [9] Alyssa Anne. M, Fretting Wear Mechanisms in A216 Plain Carbon Steel, A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering – Materials Science and Engineering, California University, 2016.
- [10] Stachwaik, Gwidon. W, Batchelor, Andrew.W(2005), Engineering tribology (3rd ed), Elsevier Inc.
- [11] Williams, J. A. (2005). "Wear and wear particles - Some fundamentals." Tribology International 38(10). pp. 863-870.
- [12] Stachowiak, G. W., and A. W. Batchelor (2005). Engineering Tribology, Burlington, Elsevier Butterworth-Heinemann
- [13] A. Bahrami.A, Effects of conventional heat treatment on wear resistance of AISI H13 tool steel have been investigated, ELSEVIER magazine, Wear 258 (2005) 846–851
- [14] Alnaiem. E, The Effect of Water Quenching upon dry Adhesive EAR of alloy SAF 2205 Duplex Stainless Steel, Technology University, 2005.
- [15] Kumar.S, Analysis of Abrasive Wear Characterization and its Correlation with Structure for Low and Medium Carbon Steels, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 2, Issue 12, December 2012.
- [16] Daspatanayak.T, Effect of Heat Treatment on Wear Properties of Plain Carbon Steel, Department of Metallurgical & Materials Engineering National Institute of Technology, Rourkela, 769008, 2013.
- [17] ASTM E18. 2008, Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials, American Society of Testing and Materials.
- [18] ASTM G65-9, Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus 19103, 2013.

## Investigation of Heat Treatment Processes Effects on Erosion Behavior of BOHLAR Steel K720

**Abstract:** This study aim to investigate from influence of heat treatment processes on erosion resistance of high carbon steel Bohler K720, where we got untreated plate of this steel with dimensions (500x60x10 mm), then cut it to specimens with dimensions (60x15x10 mm), and every group of these specimens was undergone to different heat treatment, heating to 810°C, holding 10 min, then cooling in different mediums (water, oil, air), other groups of specimens that cooled in oil were tempered at temperatures (100,200,300,400 °C) for 30 min, and by that we got eight groups including the as received specimen that differ on each other in heat treatments conditions.

The microstructure was examined for each sample, and the hardness was measured, and erosion test was applied by use rubber wheel machine with preload and sand current.

The results of tests showed that the water quenched specimens have the highest hardness 70HRC and the highest erosion resistance 0.14%, but the quenching in water caused cracks in specimens, while the cooling in air gave the lower hardness 59HRC and erosion rate 0.306%.

For the specimens that quenched in oil and tempered, the results showed that with increasing the temperature of tempering from 100°C to 400°C the hardness decreasing from 64HRC to 50HRC and the erosion rate increased from 0.201% to 0.451.

The summery that the quenching process which aim to obtain martensitic structure and cause internal stresses within structure because of cooling speed was by oil and gave high hardness and erosion values without cracks and fractures, and by tempering process which consider important to make the specimens more stable can re-control by these two values to suit the practical application by changing temperature.

**Keywords:** Steel Alloys, Heat treatments of steel alloys, industrial applications of steel alloys