

تأثير المعالجة الحرارية على معدل تآكل الفولاذ الكربوني متوسط نسبة الكربون

م. زينب الغبشة⁽¹⁾

د. حسن هدلة⁽²⁾

الملخص

إن تعدد استخدامات الفولاذ متوسط نسبة الكربون الهندسية والصناعية، وارتفاع معدل تآكله في المياه عالية القساوة من المبررات التي تدعو للدراسات والأبحاث العلمية الهادفة لاختيار معالجة حرارية تعمل على رفع مقاومة التآكل للفولاذ متوسط نسبة الكربون وزيادة كفاءة أداءه. لقد أظهرت النتائج وجود علاقة بين نوع المعالجة الحرارية المطبقة ومعدل تآكل الفولاذ المدروس، حيث تم إجراء خمس عمليات معالجة حرارية على مجموعة من العينات الفولاذية، وتم غمر العينات بمياه عالية القساوة لفترات زمنية محددة وحساب معدلات تآكل العينات واختيار المعالجة الحرارية الأنسب، وقد أثبتت النتائج التجريبية أن العينات المعالجة بالتنسيق قد حققت أخفض معدل تآكل، وذلك بنتيجة أن الوزن المفقود من العينات أثناء اختبار التآكل قد تم تخفيضه بشكل ملحوظ في العينات المعالجة بالتنسيق.

الكلمات المفتاحية: الفولاذ متوسط الكربون، معدل التآكل، البنية المجهرية، المعالجات الحرارية، المياه عالية القساوة.

⁽¹⁾ طالبة ماجستير في قسم هندسة التصميم الميكانيكي-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

⁽²⁾ أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم الميكانيكي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة دمشق.

The Influence of Heat Treatment on Corrosion Rate of Medium Carbon Steel

Eng. Zeinab Ghabshah⁽¹⁾
Dr. Eng. Hasan Hadla⁽²⁾

Abstract

Plurality of engineering and industrial medium carbon steel usage and the raise in its corrosion rate in high hardness water are one of the reasons and scientific researches, which are purposeful to select heat treatment works on supporting corrosion resistant of medium carbon steel, and improving its performance efficiency.

Researches appears existence of a relationship between the applied heat treatment and the corrosion rate of studied carbon steel. Where five heat treatments are applied on a group of carbon steel specimens, then the specimens are immersed with high hardness water for specific time period and specimen's corrosion rates are calculated. Finally, the most appropriate heat treatment is selected. Results confirmed that specimens which are normalized achieved the least corrosion rate, as the lost weight during corrosion test has been remarkably decreased in normalized specimens.

Keywords: Medium Carbon steel, Corrosion rate, Microstructure, Heat treatment, High Hardness Water.

⁽¹⁾ Master student at Mechanical Design Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus university.

⁽²⁾ Professor assistant at Mechanical Design Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus university.

1- المقدمة:

المعالجة الحرارية هي مزيج من التسخين والتبريد في الوقت المناسب المطبق على معدن أو سبيكة معينة في الحالة الصلبة لإنتاج الخواص الميكانيكية المطلوبة للمادة مثل (متانة الشد، الاستطالة النسبية، مقاومة الصدم، الصلادة...) . يعتبر التلدين Annealing والتنسيق Normalizing والسقاية Quenching من أهم طرق المعالجات الحرارية التي كثيراً ما تستخدم لتعديل الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية وخاصة الفولاذ. فالتلدين Annealing هو نوع من المعالجة الحرارية يتم تطبيقه بشكل متكرر من أجل تليين الحديد أو المواد الفولاذية وتهذيب توزع بنيتها الميكروية المتشكلة من الفريت والبرليت، ويتم استخدام هذه الطريقة من المعالجة عندما يتطلب مستوى ملحوظ من الاستطالة ومتانة الشد للمواد الهندسية [1].

أما التنسيق Normalizing، يتم تسخين المادة إلى درجة حرارة فوق درجة حرارة التحول الأوستنيتي بقليل وإبقاء العينة لفترة تحول أوستنيتي كامل، ثم يتبع ذلك تبريد في الهواء. عادة ما يتم إجراء هذا الأسلوب من المعالجات الحرارية للحصول على مادة ذات أرضية برليتية بالكامل والتي تؤدي إلى زيادة في المتانة والقساوة بشكل أعلى مما كانت عليه قبل المعالجة لحرارية. كما أنها تستخدم لإزالة الكربيدات الحرة الغير مرغوب فيها من المادة الأساس [2].

أما المعالجة الحرارية للفولاذ بالسقاية Hardening أو بالتطبيع Tempering فتستخدم لتحسين خواصه الميكانيكية، وخاصة متانته ومقاومته للإهترأه. ففي السقاية Hardening، يتم تسخين الفولاذ أو خلائطه إلى درجة حرارة عالية بما يكفي لتحويل البنية إلى الحالة

الأوستنيتية، وإبقائها عند هذه الدرجة فترة من الزمن لتأمين إنحلال كامل للكربون بالبنية ومن ثم يتم التبريد في الزيت أو الماء بمعدل مناسب. أيضاً في شروط التقسية يجب أن تكون البنية مارتنسييتية بالكامل لتحقيق أفضل متانة طواعية للمادة، ولكنه هش للغاية، وبالتالي يتم استخدام الفولاذ المقسى بالسقاية لعدد قليل جداً من الاستخدامات الهندسية. عن طريق المعالجة بالتطبيع Tempering يمكن تعديل خصائص الفولاذ المقسى لتقليل قساوته وزيادة مطيلته ومتانته على الصدم. نتيجة هذه المعالجة نحصل على بنية ميكروية بينيتيه أو ترسبات كربيدية في أرضية فريتية وفقاً لدرجة حرارة التطبيع المستخدمة [3].

جرت العادة على تسمية خلائط الحديد التي تتراوح نسبة الفحم فيها بين C % (2 - 0) بالفولاذ، وما فوق ذلك بالحديد الصب (الفونت).

يقال عن الفولاذ الكربوني بأنه منخفض نسبة الكربون عندما (C < 0.3%) ومتوسط نسبة الكربون % (0.3-0.7) C وعالي نسبة الكربون C % (2-0.7).

الأسباب الرئيسية للاستخدام الشائع للفولاذ متوسط نسبة الكربون هو استخداماته الصناعية الكبيرة والتي تشمل صناعة المسننات والانشاءات المعدنية والسكك الحديدية خطوط أنابيب النفط والغاز وأدوات القطع وفي العديد من قطع واجزاء الآلات. والتي هي أيضاً قابلة للمعالجة الحرارية لإنتاج مجموعة واسعة من الخواص [1].

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير المعالجة الحرارية (التقسية، التنسيق، التلدين) على معدل تآكل الفولاذ متوسط نسبة الكربون والتعرف على التحسن الذي طرأ بعد المعالجة.

2- الدراسات المرجعية:

نظراً لأهمية هذا البحث تمت دراسته من قبل العديد من الباحثين بأساليب مختلفة وحصلوا على نتائج جيدة نذكر منها:

لوحظ في دراسة أجراها (حسن. م، جامعة بابل، 2018) انخفاض معدل التآكل للفولاذ الكربوني المعالج بالمراجعة وارتفاعه في العينات المعالجة بالتقسية، أجري هذا البحث على عينات من الفولاذ الكربوني 0.524%C وسيتم ذكر المعالجات الحرارية المطبقة:

التقسية: تم تسخين العينات إلى 850°C والإبقاء لمدة عشر دقائق عند هذه الدرجة، ثم التبريد السريع بالماء التخمير: تم تسخين العينات إلى 850°C والإبقاء لمدة عشر دقائق عند هذه الدرجة، ومن ثم التبريد بشكل بطيء بالفرن.

3- المراجعة: تم رفع درجة حرارة الفولاذ الكربوني المقسى لدرجة أقل من درجة حرارة التحول الطوري، ثم الإبقاء عند هذه الدرجة لمدة عشر دقائق وبعدها التبريد بالهواء الساكن .

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها بعد تعريض الفولاذ متوسط الكربون الى مياه عالية القساوة لفترات زمنية تتراوح بين (5-1) شهور أن أعلى معدلات التآكل تم الحصول عليها في العينات المقساء، بينما كانت معدلات التآكل في العينات التي تعرضت للتخمير متوسطة، بينما سجلت العينات المعالجة حرارياً بالمراجعة أقل معدل تآكل [4].

تأولت دراسة أجراها (الابراهيم.ه، جامعة دمشق، 2013) ظاهرة تآكل الوصلات اللحامية لبعض خلائط الفولاذ غير القابل للصدأ وإحدى خلائط النيكل في حمض الفوسفور المشوب H_3PO_4 7% .37 باستخدام إحدى تقانات السلوك الكهروكيميائي، وهي منحنيات استقطاب تافل إذ قورن تآكل معدن الحام بتآكل معدن

الدرزة للحامية وذلك عن طريق حساب معدل التآكل لكل منهما على حدة ومن ثم تمت مقارنة معدلات التآكل للخلائط المستخدمة.

أجريت الاختبارات على عينات من الفولاذ المقاوم للصدأ (310S،904L،316L،304)، وعلى إحدى خلائط النيكل كما أجريت الإختبارات على معدن الحام للوصلات للحامية للأنواع السابقة بعد غمرها بحمض الكبريت.

أثبت الفولاذ المقاوم للصدأ من النوع 904L أنه يتمتع بمعدلات تآكل منخفضة مقارنة بغيره من الخلائط الفولاذية المدروسة وتتمتع وصلته للحامية بمعدل تآكل قريب من معدل تآكل المعدن الأساس [5].

جرى البحث في سلوك التآكل الكهروكيميائي لبعض أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ بعد غمرها فترات زمنية معينة في حمض الفوسفور المشوب، باستخدام إحدى تقانات السلوك الكهروكيميائي وهي منحنيات استقطاب تافل، وحسب معدلات التآكل لهذه الخلائط وقد وجد في دراسة أجراها (الابراهيم.ه، جامعة دمشق، 2013) اختلاف تأثير حمض الفوسفور المشوب في سلوك خلائط الفولاذ المقاوم للصدأ، وتختلف معدلات التآكل في الحمض المذكور باختلاف نوع العناصر السبائكية الموجودة في الخلائط الفولاذية ونسبتها.

وقد توصلت هذه الدراسة الى ان الفولاذ 304L له معدلات تآكل منخفضة في حمض الفوسفور المشوب، ويمتاز عن الأنواع المختبرة بنسبة عالية من الكروم والنيكل والتيتانيوم فضلاً عن وجود النحاس. تمتاز الخلائط التالية: (312، SW-01Ch19N9306،

SWN10B-07Ch19-) بمعدلات تآكل منخفضة جداً في حمض الفوسفور المشوب ويمكن أن يعزى ذلك الى تعاون مشترك بين العناصر الخلائطية. وقد خلصت الدراسة الى أن أهم العناصر التي تسهم في زيادة مقاومة

الجدول (3) تصنيف هيئة المسح الجيولوجي للمياه.

التصنيف	الصلابة mg/L	الصلابة mmol/L	الصلابة/dGH 'dH	الصلابة/in gpg	الصلابة/ppm
لين	0-60	0.00-0.60	0-3.37	0-3.50	less than 60
صلابة معتدلة	61-120	0.61-1.20	3.38-6.74	3.56-7.01	60-120
صلابة	121-180	1.21-1.80	6.75-10.11	7.06- 10.51	120-180
أكثر صلابة	181 ≤	1.81 ≤	10.12 ≤	10.57 ≤	181 <

3-2- تحضير العينات ودراسة البنية المجهرية:

تم قص عينات من الأنابيب بأبعاد (2*2) cm بهدف دراسة البنية المجهرية وتحديد نوع الفولاذ الذي نتعامل معه وبالتالي اختيار المعالجة الحرارية الأمثل لهذا الفولاذ. بعد تسوية سطح العينة بمبرد ناعم يتم شحذه على سلسلة من أوراق الشحذ الخاصة بالمتسلسلة بنعومة حبيباتها بحيث يتم البدء بأكثرها خشونة والانتهاؤ بأكثرها نعومة ويجب أن يتم الشحذ على كل هذه الأوراق حتى تنتهي الخطوط الناتجة عن الشحذ بالأوراق السابقة.

بعد الشحذ اليدوي للعينات تم تنعيم سطحها باستخدام قرص دوار مغطى بقطعة من اللباد بعد تبليل اللباد بمستحلب يحتوي على حبيبات ناعمة من أكسيد الألمنيوم، يستمر تلميع العينة حتى تصبح لامعة كما لو أنها خالية من أي أتلام أو خدوش. إن سطح العينة اللامع لا يزال غير صالح للفحص المجهرية إذ أن سطوح كافة البلورات السطحية قد أصبحت واحدة وإن انعكاس الضوء عن هذه السطوح سيتم بنفس الشدة لذلك تتبع عملية التلميع بعملية التخريش.

حيث تم تغطيس كل عينة بمحلول حمض الأزوت المخفف بالماء بنسبة 5% وتكمن أهمية هذه المرحلة بأن

التآكل هي الكروم والنيكل والموليبيديوم وإلى أن زيادة نسبة الكربون في الفولاذ تؤدي إلى زيادة معدل التآكل كما تسهم إضافة نسبة قليلة من التيتانيوم في خفض معدل التآكل [6].

3- الجزء العملي:

3-1- المواد المستخدمة:

عينات من الفولاذ متوسط نسبة الكربون، يظهر الجدول

(1) التحليل الكيميائي للفولاذ:

الجدول (1) التحليل الكيميائي للفولاذ المدروس.

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Fe
Weight%	0.5	0.078	0.242	0.138	0.12	0.033	66	0.001	0.025	0.075	balance

-المياه عالية القساوة: يظهر الجدول التالي التحليل

الكيميائي للمياه المستخدمة في عمر العينات المدروسة:

الجدول (2) التحليل الكيميائي للمياه.

الشوارد الموجبة [mg/l]	الشوارد السالبة [mg/l]
الكالسيوم 228	ثاني الفحمات 415
المغنيزيوم 51	الفحمات 0
البوتاسيوم 115	الكبريتات 14
البوتاسيوم 2	الكلور 320
الحديد -	النترات 127

المصدر: المؤسسة العامة لمياه الشرب.

صنفت المياه المستخدمة في البحث كمياه عالية القساوة

تبعاً لتصنيف هيئة المسح الجيولوجي في الولايات المتحدة

للماء القاسي واللين:

$$R=78.6*w/\rho*A*T$$

R: سرعة التآكل مقدرة بـ mm/year .
W: الوزن المفقود بـ mg .
A: مساحة السطح المعرض للوسط الأكال بـ cm² .
T: زمن التعرض للوسط الأكال بالساعة .
ρ: الكثافة مقدرة بـ g/cm³ .



الشكل (2) عينات الفولاذ واختبار التآكل.

3-4- المعالجات الحرارية التي تم إجراؤها:

تم تقسيم العينات إلى خمس مجموعات وإجراء معالجة حرارية خاصة لكل مجموعة من عينات الفولاذ المدروس وهي:

التقسية: تسخين الخليطة إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التحول الطوري (في هذا البحث تم التسخين إلى 850°C) والإبقاء لمدة عشر دقائق، من ثم تبريدها بشكل سريع بالماء.

التخمير: تسخين الخليطة إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التحول الطوري ومن ثم تبريدها بشكل بطيء بالفرن، أما في حال تم تبريد الخليطة بالهواء تسمى العملية عندئذٍ بالتسويق (في هذا البحث تم إجراء تسويق وتخمير كامل لعينات رفعت درجة حرارتها إلى 750°C، وإجراء

المحلول المخرش يقوم بإذابة طبقة قشرية رقيقة جداً من السطح بحيث يصبح سطح البلورة هو أقرب مستوياتها الذرية المتماسكة في السطح الأفقي للعينة عندها سيصبح لكل بلورة سطحها الخاص الذي يميل عن السطح الأصلي بزوايا تختلف عن ميل البلورة المجاورة وبالتالي عند وضع هذه العينة تحت المجهر سوف تكون شدة الأشعة المنعكسة عن سطح كل بلورة مختلفة باختلاف زاوية ميل سطحها عن هذا السطح الأفقي، يظهر الشكل (1) البنية المجهرية للفولاذ متوسط نسبة الكربون المدروس.

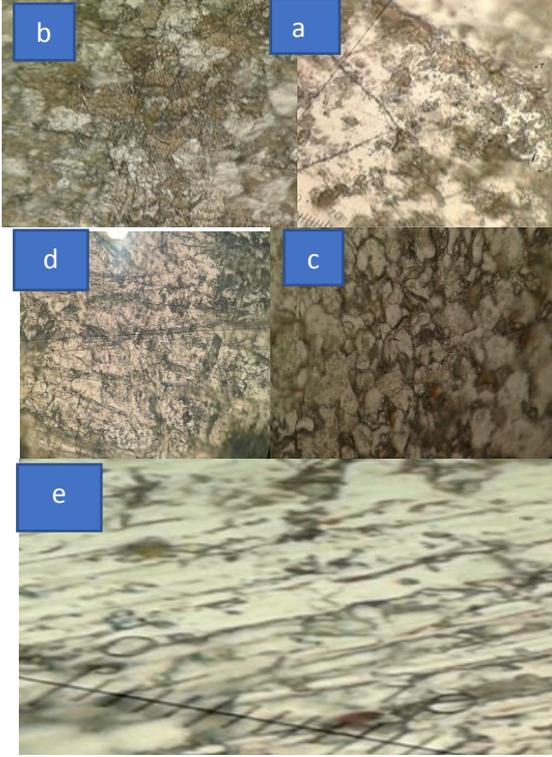
يتم عادة اختيار درجة حرارة التسخين للفولاذ الكربوني وزمن الإبقاء عند هذه الدرجة طبقاً لنوع المعالجة الحرارية المراد إجراؤها، نلاحظ أن نسبة الكربون في الفولاذ المستخدم لتصنيع أنابيب السحب لا تتجاوز الـ 0.85% وبالتالي فهو فولاذ هيبو يوتكتويدي ويتكون من البرليت والفريت، وبالتالي علينا دراسة إمكانية معالجة هذا الفولاذ حرارياً تبعاً لنوعه. واختيار معالجة حرارية من شأنها رفع مقاومته للتآكل.



الشكل (1) البنية المجهرية للفولاذ المدروس.

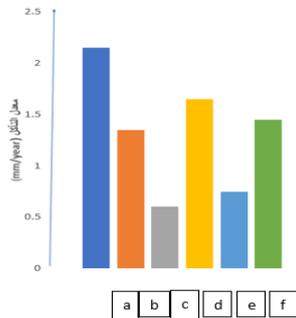
3-3- حساب معدل تآكل الفولاذ متوسط الكربون:

تم إجراء اختبار الفقد التآكلي عن طريق وزن العينات الفولاذية وبعدها غمرها بالمياه القاسية المدرج تحليل مكوناتها سابقاً لفترة زمنية محددة، ومن ثم تم إعادة وزن العينات وحساب معدل تآكلها من المعادلة التالية:



الشكل (3) البنية المجهرية للعينات بعد المعالجة الحرارية
 a: عينة معالجة بالتخمير، b: عينة معالجة بالتنسيق.
 c: عينة معالجة بالمراجعة والتبريد بالفرن.
 d: عينة معالجة بالمراجعة والتبريد بالهواء.
 e: عينة مقساة.

فيما يلي تمثيل بياني لنتائج المعالجات الحرارية المطبقة على العينات:



الشكل (4) علاقة معدل التآكل بنوع المعالجة الحرارية.

تخمير وتنسيق غير كامل لعينات رفعت درجة حرارتها لحرارة أقل من حرارة التحول الأوستنيتي وهي (650°C).

المراجعة: تسخين الخليطة إلى درجة حرارة أقل من درجة حرارة التحول الطوري الإبقاء عند هذه الدرجة (650°C) لمدة عشر دقائق، وأخيراً تبريدها بشكل بطيء (وهنا تم تبريد نصف العينات بالهواء والنصف الآخر بالفرن).

4- اختبارات التآكل:

تم تقسيم العينات المدروسة إلى ست مجموعات: (عينات غير معالجة حرارياً- عينات معالجة بالتخمير - عينات معالجة بالتنسيق - عينات مقساة - عينات معالجة بالمراجعة والتبريد بالهواء - عينات معالجة بالمراجعة والتبريد بالفرن)، من ثم أجري اختبار التآكل عن طريق غمر العينات بالمياه عالية القساوة ضمن بيئة معزولة وحرارة الغرفة لمدة 25 يوماً وتم وزن كل العينات على مدار فترة الإختبار بهدف حساب معدلات تآكل كل منها واختيار المعالجة الحرارية الأمثل، وقد سجلت نتائج الدراسة المذكورة في الجدول المبين أدناه:

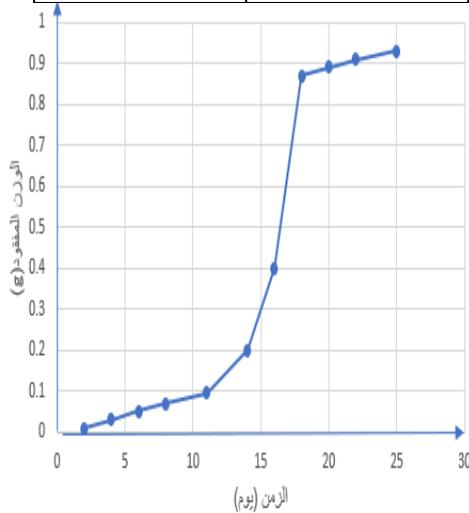
الجدول (4) أوزان العينات قبل وبعد إختبار الغمر.

المعالجة الحرارية	الوزن قبل الغمر (g)	الوزن بعد الغمر (g)	الوزن المفقود (g)	معدل التآكل (mm/year)	مدة غمر العينة (day)
بدون معالجة	10.85	9.92	0.93	2.15	25
	10.84	9.92	0.92	2.13	25
	10.83	9.9	0.93	2.15	25
التخمير	13.75	12.95	0.8	1.35	25
	13.8	13.14	0.66	1.3	25
	13.63	13.69	0.94	1.4	25
التنسيق	10	9.72	0.28	0.6	25
	10.99	10.74	0.25	0.6	25
	9.5	9.19	0.31	0.59	25
مراجعة وتبريد بالفرن	10	9.31	0.69	1.65	25
	10	9.07	0.93	1.66	25
	10	9.08	0.92	1.64	25
مراجعة وتبريد بالهواء	10	9.7	0.3	0.75	25
	10.5	10.21	0.29	0.74	25
	10.2	9.88	0.32	0.77	25
السقاية	10	9	1	1.45	25
	10.5	9.5	1	1.45	25
	9.5	8.58	0.92	1.44	25

المعالجة بالتنسيق عنه في العينات غير المعالجة حرارياً لذا تم التوجه لتحديد مدى تأثير عملية التنسيق في تخفيض الوزن المفقود بعد اختبار الغمر بالمياه عالية القساوة من خلال المنحنيات البيانية الموضحة في الشكلين (5) و (6) التي تمثل علاقة الوزن المفقود مع زمن الإختبار من أجل كل من العينات غير المعالجة والعينات المعالجة بالتنسيق:

الجدول (5) الوزن المفقود أثناء اختبار التآكل لعينات غير معالجة حرارياً.

الوزن المفقود (g)	زمن الغمر (يوم)
0.01	2
0.03	4
0.05	6
0.07	8
0.095	11
0.2	14
0.4	16
0.87	18
0.89	20
0.91	22
0.93	25



الشكل (5) علاقة الوزن المفقود بالزمن بالنسبة لعينات غير معالجة حرارياً.

a تمثل الفولاذ غير المعالج حرارياً.

b تمثل الفولاذ المعالج بالتخمير.

c تمثل الفولاذ المعالج بالتنسيق.

d تمثل الفولاذ المعالج بالمراجعة والتبريد بالفرن.

e تمثل الفولاذ المعالج بالمراجعة و التبريد بالهواء.

f تمثل الفولاذ المعالج بالتنقية.

5- المناقشة:

نلاحظ من الشكل (4) أن عملية التنقية لم تخفض معدل تآكل العينات بشكل كبير، ويعود ذلك إلى نشوء إجهادات حرارية ناتجة عن التبريد السريع. لذا يفضل إجراء مراجعة للفولاذ المقسى للتخلص من الإجهادات الحرارية المتشكلة.

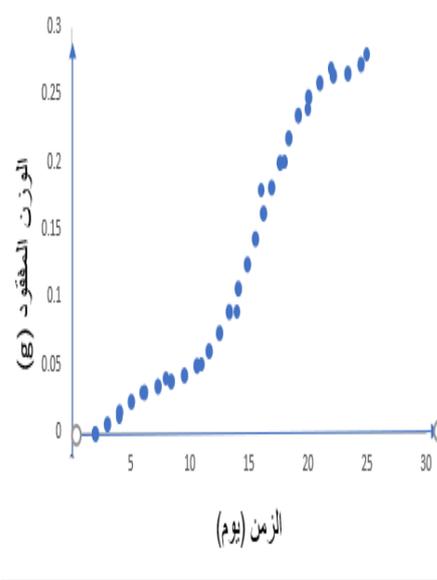
إن معدل تآكل العينات المعالجة بالمراجعة كان متوسطاً بالمقارنة مع طرق المعالجة الأخرى المدروسة، ويعود السبب في ذلك إلى أن درجة حرارة التسخين كانت أخفض من درجة حرارة التحول الطوري وبالتالي لم يتم توسع البلورات في هذه العينات كما حدث في التنسيق والتخمير، وكون سرعة تيار التآكل في البلورات أخفض منها في المادة ما بين الحبيبات فإن معدل تآكل العينات الخاضعة لتحول طوري سيكون أخفض من التي لم تخضع لهذا التحول. لوحظ من المخطط البياني السابق أن عملية التنسيق نتج عنها أخفض معدل تآكل تم الحصول عليه بالمقارنة بين عمليات المعالجة الحرارية السابقة، كون التبريد يتم في هذا النوع من المعالجات الحرارية ببطء شديد في الهواء الساكن مما يسمح بالحصول على بنية برليتية متجانسة، أما العينات غير المعالجة حرارياً فهي تتكون من طوري الفريت والبرليت مما يعمل على تشكل خلية كهروكيميائية تحت تأثير الإلكتروليت الذي يمثله الوسط الأكال ويزيد من معدل تآكل المعدن. وهذا ما يبرر انخفاض الوزن المفقود أثناء اختبار التآكل للعينات

واحد، أما العينات غير المعالجة حرارياً فهي تتكون من طوري الفريت والبرليت مما يعمل على تشكل خلية كهروكيميائية تحت تأثير الإلكتروليت الذي يمثله الوسط الأكال ويزيد من معدل تآكل المعدن. لذا تم التوجه لتحديد مدى تأثير عملية التنسيق في تخفيض الوزن المفقود بعد اختبار العمر بالمياه عالية القساوة من خلال المنحنيات البيانية الممثلة بالأشكال (5) و(6) التي تمثل علاقة الوزن المفقود مع زمن الإختبار من أجل كل من العينات غير المعالجة والعينات المعالجة بالتنسيق، ووجد أنه مع زيادة زمن تعرض العينات للمياه القاسية يزداد الوزن المفقود منها بسبب زيادة مدة تأثر المعدن بالشوارد الأكال، إلا أنه قد تم تخفيض الوزن المفقود من العينات بإجراء عملية التنسيق من 0.93 (g) إلى 0.28(g) خلال فترة الإختبار.

الجدول (6) الوزن المفقود أثناء اختبار التآكل لعينات

معالجة بالتنسيق.

الوزن المفقود (g)	زمن العمر (يوم)
0	2
0.011	4
0.03	6
0.04	8
0.05	11
0.09	14
0.18	16
0.2	18
0.24	20
0.27	22
0.28	25



الشكل (6) علاقة الوزن المفقود بالنسبة لعينات معالجة بالتنسيق.

6- الاستنتاجات:

لوحظ من الشكل(4) أن عملية التنسيق خفضت معدل التآكل من (2.15 (mm/year) إلى (0.6 (mm/year) وهو أخفض معدل تآكل تم الحصول عليه بعد عمليات المعالجة الحرارية السابقة، كون التبريد يتم في هذا النوع من المعالجات الحرارية ببطء شديد في الهواء الساكن مما يسمح بالحصول على بنية برليتية متجانسة عبارة عن طور

المراجع Reference

1. Fadare D.A., Fadare T.G. and Akanbi D.Y., “Effect of heat treatment on mechanical properties and microstructure of NST 37-2 steel” *Journals of minerals and materials characterization and engineering*, vol.10, no.3, 2011, pp 299-308.
2. Amit Kumar Tanwer “Effect of Various Heat Treatment Process on Tensile Strength and Elongation of Stainless Steel” *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics*. 8(3), September-November, 2014, pp. 195-199.
3. Eng. Lilah Nitham, Prof. Khaleel Azema & Dr. Hasan F. Hadlah “The Influence of Austempering Heat Treatment Temperature on the Mechanical Properties of a High Silicon High Carbon Steel” MSc. 2015, Damascus university.
4. حسن. محمد زين العابدين. (2018). تأثير المعاملات الحرارية على معدل التآكل للصلب تحت البيوتكتويدي في أوساط ملحية ومائية. Kirkuk University Journal /Scientific Studies كركوك: العراق.
5. م. الإبراهيم، هائل. د. سلامة، محمد علي. د. حامد، حسان. (2013). تآكل وصلات اللحام لبعض أنواع الفولاذ غير القابل للصدأ وإحدى خلانط النيكل في حمض الفوسفور الصناعي المشوب. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية. مج:29. عدد:1. دمشق: سوريا.
6. [13] م. الإبراهيم، هائل. د. سلامة، محمد علي. د. حامد، حسان. (2013). تآكل بعض خلانط الفولاذ المقاوم للصدأ ذي البنية الأوستينيتية في حمض الفوسفور الصناعي. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية. مج:29. عدد:1. دمشق: سوريا.