

تأثير التقسية السطحية باستخدام التيارات عالية التردد على الخصائص الميكانيكية للفولاذ الكربوني

ميلاد حمدان*

(تاريخ الإيداع 27 / 7 / 2015. قُبل للنشر في 16 / 3 / 2016)

□ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة تأثير التقسية باستخدام التيارات عالية التردد على الخصائص الميكانيكية لنوعي الفولاذ الكربوني (0.35%C , 0.59%C) الأكثر استخداماً في عمليات التصنيع المحلي، حيث تم أخذ عينات من نوعي الفولاذ بعد تقسيتهما بالتيارات عالية التردد عند قيم مختلفة للاستطاعة ولسرعة تحرك ملف التحريض وإجراء اختبارات التساوة والشد والصدم عليها. وبعد إجراء التجارب والاختبارات أظهرت النتائج التحسن الواضح في الخصائص الميكانيكية مع تأثير محدود على متانة الصدم لنوعي الفولاذ الكربوني عند معالجته بالتيارات عالية التردد، كما أظهرت إمكانية التحكم بهذه الخصائص من خلال تغيير بارامترات طريقة التقسية.

الكلمات المفتاحية: التقسية السطحية_ الفولاذ الكربوني _ ملف التحريض _ الخصائص الميكانيكية .

* قائم بالأعمال - قسم هندسة التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

The effects of induction hardening on mechanical properties of carbon steel

Milad Hamdan *

(Received 27 / 7 / 2015. Accepted 16 / 3 / 2016)

□ ABSTRACT □

The effects of induction hardening on mechanical properties of two kinds of carbon steel (0.59%C , 0.35%C) that are widely used in local industry, were discussed by exposed specimens that were induction hardened with different values of power and inductor's speed to hardness, tensile, and impact tests.

The results of tests showed that the mechanical properties become greater with slight decrease in impact energy of carbon steel when induction hardening is used, and showed the possibility to do control on product's properties by make control on treatment parameters .

Key Words : Surface hardening – carbon steel _inductor_ mechanical properties.

* Academic Assistant in Department of Design and Production, Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يعد القرن العشرين قرن النهضة الصناعية والعلمية والاقتصادية دون منازع ذلك أن معظم الاختراعات والاكتشافات العلمية والابتكارات الصناعية قد ظهرت خلال عقوده، وقد تجلت هذه النهضة الصناعية في الازدهار التقني والتطور الكبير الذي حصل في كل من طرق إنتاج المعادن والخلائط المعدنية وطرق معالجتها وتحسين خواصها المختلفة .

على الرغم من هذا التطور فقد اقترن الاستخدام الواسع للمعدن والخلائط بظواهر سلبية منها التعرض للتآكل والاهتراء والانهييار وبالتالي قصر عمر الخدمة الفعلية لهذه المنتجات المعدنية . يتم حالياً في الدول الصناعية تمثين المعادن في العديد من العمليات الإنتاجية المستخدمة في المصانع الكبرى، وهذا يسمح بتقليل أبعاد العناصر وتحسين الخواص الميكانيكية لهذه العناصر، لكن لا تحقق نتائج التمثين باستخدام التقسية الحجمية التقليدية تلك المتطلبات التي يجب أن تتوفر في خواص المعادن التي تصنع منها أجزاء الآلات أثناء الاستثمار، لذلك اهتم الباحثون منذ زمن بالمعالجة التي تسمح لهم بتحسين خواص السطح، بهدف الحصول على سطح له مقاومة جيدة للتآكل، مع أساس معدني يحقق المتطلبات الميكانيكية المرغوبة و ذات سعر غير مكلف اقتصادياً . بدأت عمليات التمثين السطحي للعناصر الفولاذية باستخدام طاقة (الليزر، الإلكترون، البلازما) المركزة، وعن طريق التيارات عالية التردد بالانتشار بشكل واسع منذ بدايات القرن العشرين، وأصبحت من أهم المسائل التي تهتم بها مراكز البحث العلمي والمؤسسات الأكاديمية بشكل مستمر فهي تسمح بالحصول على درجات عالية من التمثين ، ولا تحتاج إلى مواد استهلاكية إضافية ، وتعد من الناحية التقنية عملية جداً .

وبعد الإطلاع على واقع عمليات التصنيع المحلي لعناصر الآلات في عدد من المناطق الصناعية وبعض شركات القطاع العام، وفي ظل غياب عمليات التمثين السطحي عن هذا الواقع وجدنا أنه من الضروري البحث في تأثير إحدى أكثر أساليب التمثين السطحي انتشاراً، وهي طريقة التقسية السطحية باستخدام التيارات عالية التردد على الخصائص الميكانيكية للفولاذ الكربوني - باعتباره من المعادن الأكثر استخداماً في عمليات التصنيع المحلي لسهولة تشغيله ورخص ثمنه - ومناقشة فاعلية طريقة التقسية هذه في رفع كفاءة الصناعة المحلية.

أهمية البحث وأهدافه :

نتيجة لانخفاض كفاءة قطع التبدل المحلية الصنع، وتعرض هذه القطع للتلف والاهتراء الشديد خلال زمن استثمار يقل عن نصف العمر التصميمي لهذه القطع، فإن جهود البحث العلمي يجب أن تتركز باتجاه تحسين مواصفات الطبقة السطحية لهذه القطع لزيادة كفاءتها . وبما أن المعالجة الحرارية السطحية تشكل سبيلاً لتحقيق هذه الغاية، اهتم بحثنا بتطبيق إحدى أهم طرق المعالجة السطحية وهي التقسية باستخدام التيارات عالية التردد على هذه القطع في محاولة لمعالجة مشكلة تعاني منها الصناعة السورية.

أما أهداف البحث فتمثلت في إظهار تأثير التقسية بالتيارات عالية التردد على الخصائص الميكانيكية لعينات من الفولاذ الكربوني ومناقشة تأثير بارامترات طريقة التقسية هذه على خصائص هذه العينات، وبالتالي تسليط الضوء على أهمية استخدام طريقة التقسية باستخدام التيارات عالية التردد بوصفها إحدى طرق التقسية السطحية لقطع التبدل

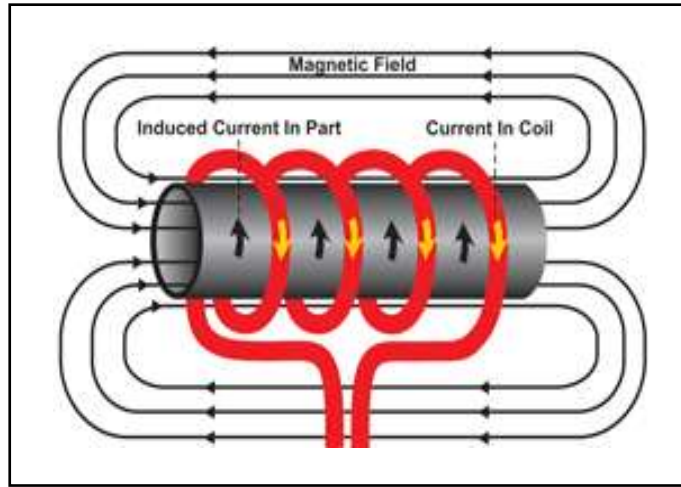
التي تصنع محلياً، والمساهمة في وضع بعض الحلول والاقتراحات بين أيدي المهندسين والفنيين في شركات القطاع العام والخاص وأيدي الصناعيين.

طرائق البحث ومواده :

أجري هذا البحث في مخابر جامعة تشرين ومخابر معمل الجرات بحلب (شركة الفرات). حيث تم إجراء عمليات التقسية السطحية بالتيارات عالية التردد في معمل الجرات وتم تحضير العينات وإجراء الاختبارات الميكانيكية (القساوة، الشد، الصدم) في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين ومخابر معمل الجرات. إن الميزة الأهم لطريقة التقسية السطحية بالتيارات عالية التردد هي أن التسخين يتم عند معدلات عالية جداً أكبر بمئات أو آلاف المرات من معدلات التسخين المنتجة في الأفران أو منابع الحرارة الخارجية، ومن الممكن أيضاً أتمتة المعالجة الحرارية للقطع الفولاذية ووصلها بالخط العام لإنتاج الورشة الميكانيكية [1].

في طريقة التقسية هذه يتم الاستفادة من ظاهرة التحريض الكهرومغناطيسي لتسخين المعدن والتي تنص : أنه في كل جسم ناقل للتيار (في الفولاذ مثلاً) متوضع في حقل مغناطيسي متناوب ينشأ (يتحرض) تيار كهربي [1]. كما هو مبين بالشكل (1) .

وعند التقسية بتيارات عالية التردد توضع القطعة المراد تسخينها داخل حلزون (لولب) مصنوع من النحاس ثم يمر عبر هذا الحلزون تيار عالي التردد والشدة (بضعة آلاف من الأمبيرات) وذو توتر منخفض (Current in Coil) [2].



الشكل (1) ظاهرة التحريض الكهرومغناطيسي .

هذا التيار يولد حول الناقل حقلاً مغناطيسياً متناوباً قوياً (Magnetic Field) ، لذلك تتولد في القطعة الفولاذية الموجودة في هذا الحقل المغناطيسي تيارات قصر ثانوية (تيارات تحريضية) (Induced Current in Part) تتركز التيارات على سطح القطعة الفولاذية بسبب ظاهرة الفعالية السطحية (skin effect) وبما أن الفولاذ ذو مقاومة كهربائية عالية فإن الطبقة السطحية سوف تسخن بسرعة [3] .

عند مرور تيار ذو قدرة كبيرة في ناقل مصنوع من الفولاذ أو من أي معدن آخر ونتيجة للمقاومة الكهربائية فإن القدرة الكهربائية تتحول إلى قدرة حرارية وبالتالي يسخن المعدن، ويمكن حساب كمية الحرارة التي يكتسبها جزء المعدن المسخن بالعلاقة :

$$Q = 0.239 I^2 .R .t$$

إذ إنه بتغير شدة التيار (I) يمكن الحصول على أية كمية من الحرارة وبالتالي أية درجة حرارة أو سرعة للتسخين، إن المقاومة (R) للناقل المعدني تعتمد على نوع المعدن ، أما (t) فهو الزمن الذي خلاله يؤثر التيار ويكون قصيراً بشكل يمكن من زيادة إنتاجية العملية [3] .

يؤدي التسخين السريع مع التبريد السريع إلى تشكل بنية مارتنسيتية في هذه الطبقة ويكسب هذه الطبقة قساوة عالية[2].

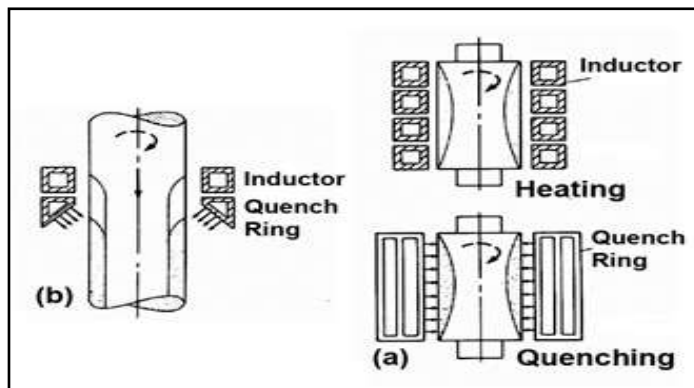
تتم هذه التفسية بعدة طرق ومن أهم هذه الطرق [4,5]:

• للتفسية المباشرة (المتوافقة) . الشكل (a-2) .

• للتفسية المستمرة المتتالية . الشكل (b-2) .

تستخدم الطريقة الأولى (a) لتفسية القطع الصغيرة حيث يتم تسخين كامل السطح المعد للتفسية في وقت واحد ومن ثم تبريد القطعة كاملة ، وتعتبر هذه الطريقة جيدة في خطوط الإنتاج المتلاحقة للقطع المتماثلة ، مثلاً (ذكر القلاووظ - القطع المعيارية) مع تحكم آلي بالوقت ودرجة حرارة التسخين .

أما الطريقة الثانية (b) فتستخدم لتفسية القطع الكبيرة حيث لا يسخن السطح المعد للتفسية بشكل كامل ، وإنما على أجزاء و بالتتابع حيث يتم تحريك إما ملف التحريض أو العينة بالنسبة للآخر حتى تتم معالجة كامل السطح المطلوب.



الشكل (2) طرق التفسية بالتيارات عالية التردد

يبين الشكل (b-2) مخططاً للتفسية المستمرة المتتالية لقطع أسطوانية بأطوال كبيرة ، يقع الجزء المسخن داخل المحرض، وخلف المحرض تتوضع آلة التفسية الرشاشة على بعد معين. تتحرك القطعة بسرعة محددة فتنتقل من الأعلى إلى الأسفل بحيث يتعرض السطح المسخن للدوش المائي وتتم تفسيته . من أجل الحصول على عمق للطبقة المقساة أكثر انتظاماً نلجأ أثناء التفسية إلى التدوير المستمر للقطعة حول المحور .

من ناحية أخرى إن اختيار المحور الشاقولي أو الأفقي لتوضع محوري ملف الحث و القطعة المصنعة له أهمية كبيرة ، ولتحديده يجب الأخذ بعين الاعتبار عوامل تكنولوجية منها العبور المنتظم لسائل التبريد ، وسهولة تثبيت القطع، وتحديد فترة تبريد القسم المقسى .

يستخدم التثبيت الأفقي في العمليات الإنتاجية العالية ، حيث يتم تحقيق علاقة بنائية بين جهاز التقسية والناقل الميكانيكي للقطع المعالجة .

أما الوضع الشاقولي فيستخدم لأنه يسمح بالحصول على تبريد منتظم بسهولة ، عادة البخاخ يوضع أسفل الملف وعلى بعد معين [6].

في هذا البحث تم تطبيق طريقة التقسية المستمرة المتتالية في توضع شاقولي لمحوري ملف الحث والعينة على عينات من نوعي الفولاذ الكربوني (0.35%C , 0.59%C) الأكثر استخداماً في التصنيع المحلي، تم تحريك ملف الحث على طول عينات الاختبار من الأسفل إلى الأعلى مع تدوير للعينات .

التركيب الكيميائي لنوعي الفولاذ موضح بالجدول (1) - أجري تحليل المعادن في كلية الهك بجامعة تشرين باستخدام جهاز التحليل الطيفي للمعادن نوع (Foundry Master) - :

الجدول (1) التركيب الكيميائي للفولاذ المستخدم في البحث

العنصر	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
النسبة %	97.4	0.59	0.321	0.624	0.037	0.058	0.135	0.217	0.417
	98.3	0.35	0.205	0.632	0.012	0.016	0.191	0.019	0.215

أخضعت عينات من نوعي الفولاذ الكربوني موضوع البحث لتقسية بتيارات عالية التردد في معمل الجرارات باستخدام أجهزة تسخين نوع (Radyne) بريطانية الصنع، وأجريت عملية المراجعة باستخدام فرن كهربائي نوع (Ipsen) .

تم إخضاع عينات معالجة وعينات غير معالجة لعدة اختبارات (اختبار القساوة، اختبار الشد، اختبار الصدم). حيث تم قص العينات إلى الأبعاد المطلوبة والمناسبة لكل اختبار .

أجري اختبار القساوة السطحية باستخدام جهاز نوع (Hoytom) أما تدرج القساوة على امتداد المقطع العرضي أجري باستخدام جهاز نوع (Shimadzu) ياباني الصنع .

أجري اختبار الشد على آلة نوع (Schencktrebel) إسبانية الصنع .

أجري اختبار الصدم على آلة نوع (Hoytom) .

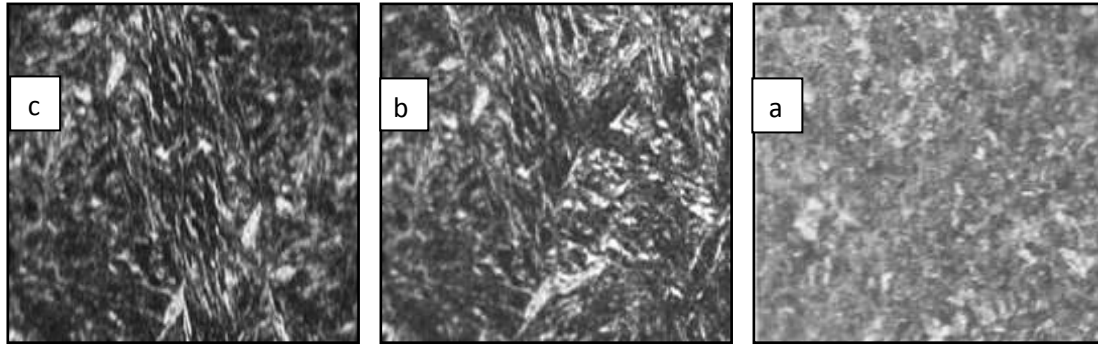
1 - برنامج التجارب :

• شمل برنامج التقسية التحريضية مايلي :

أخضعت العينات للتقسية باستخدام تيار عالي التردد (2000 Hz) بطريقة التقسية المستمرة المتتالية وبسرعة تحرك لوشية (ملف) التسخين (2 mm/sec) وقيم استطاعة تتناسب مع المقاومة الكهربائية لنوعي الفولاذ وتحقق الوصول إلى درجة حرارة المعالجة .

تم تغيير قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة وسرعة تحرك ملف التسخين لمناقشة تأثير ذلك على مواصفات الفولاذ الكربوني بعد المعالجة. تم قياس درجة الحرارة بواسطة مقياس حرارة ليزري نوع (sentry).

تم تسخين العينات حتى الدرجة ($900 \pm 800^\circ\text{C}$) ومن ثم التبريد الرشاشي بالماء للفولاذ الحاوي (0.35%c) وبخليط الزيت والماء بنسبة (50%) للفولاذ الحاوي (0.59%c) لتجنب خطر تشكل شقوق في الطبقة المقساة. أخضعت عينات الفولاذ (0.59%c) إلى معالجة بالصقيع للتخلص من الأوستنيت المتبقي، حيث غمرت العينات بالتلج مع كمية من ملح الطعام لمدة (15 min)، وصلت درجة حرارة المعالجة إلى (-30°C)، [1].
يبين الشكل (3) البنية الميكروية للفولاذ (0.59%C) قبل وبعد المعالجة بعد تكبير بمقدار (350)

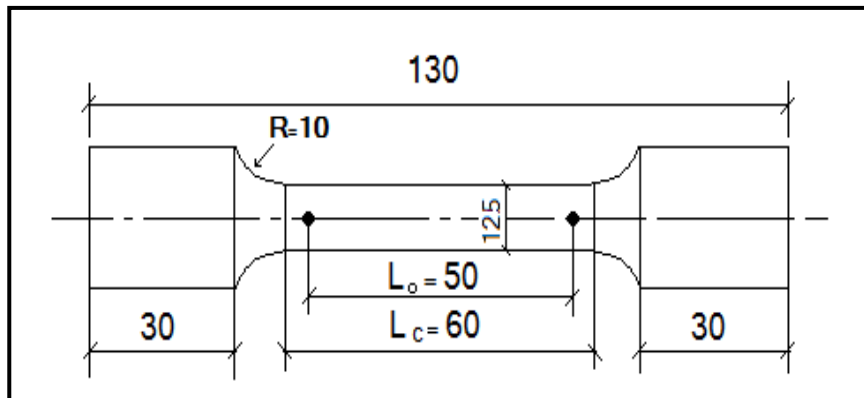


الشكل (3) البنية الميكروية للفولاذ (0.59%C) (مقسى باستطاعة 190kw). (350X)
(بنية الفولاذ a) بدون معالجة، (b) تقسية بدون معالجة بالصقيع، (c) تقسية ومعالجة بالصقيع)

يبين الشكل انخفاض كمية الأوستنيت المتبقي (البقع النيرة) بعد المعالجة بالصقيع، وظهور المارتنيسيت الإبري الدقيق، وهذا ما يفسر ارتفاع قيم القساوة السطحية بعد المعالجة بالصقيع.
أخضعت العينات إلى إرجاع منخفض الحرارة عند الدرجة (150°C) لمدة ساعة في الفرن الكهربائي وتركت لتبرد تلقائياً في الهواء .

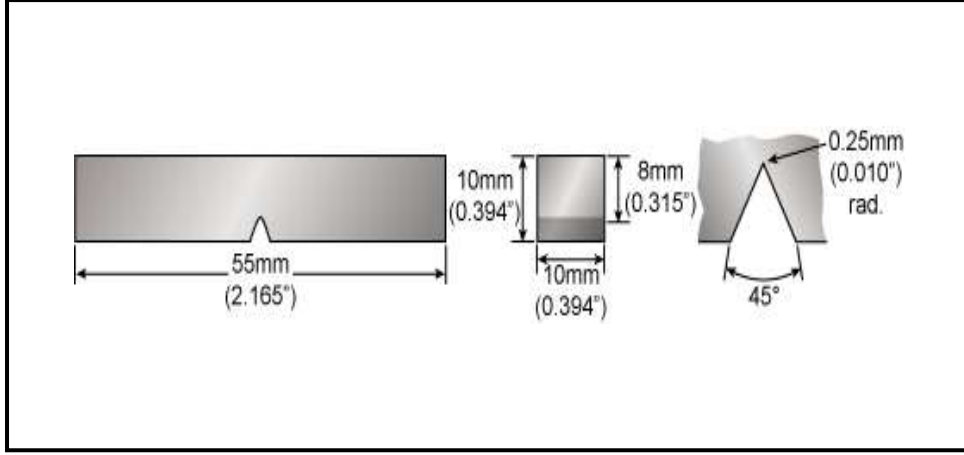
• شمل برنامج الاختبارات مايلي :

تم إجراء اختبار القساوة لمناقشة تأثير بارامترات طريقة التقسية التحريضية على قيم القساوة الناتجة وعلى تدرج قيم القساوة على امتداد المقطع العرضي للعينات، أخضعت العينات إلى عمليات تنعيم بورق صنفرة حتى الدرجة (600)، ثم تمت معالجتها كيميائياً بكاشف كيميائي من محلول حمض الآزوت بتركيز (4%).
تم تحضير عينات الشد وفقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM-E8) [7] حيث تم خراطة العينات إلى الأبعاد المبينة بالشكل (4)، وبعد ذلك تم تنعيم العينات بورق صنفرة بنعومة (400) لتلافي أي خدوش أو عيوب تشغيل على سطح العينة فالسطح لابد أن يكون خالياً من العيوب .



الشكل (4) أبعاد عينة الشد، الأبعاد mm

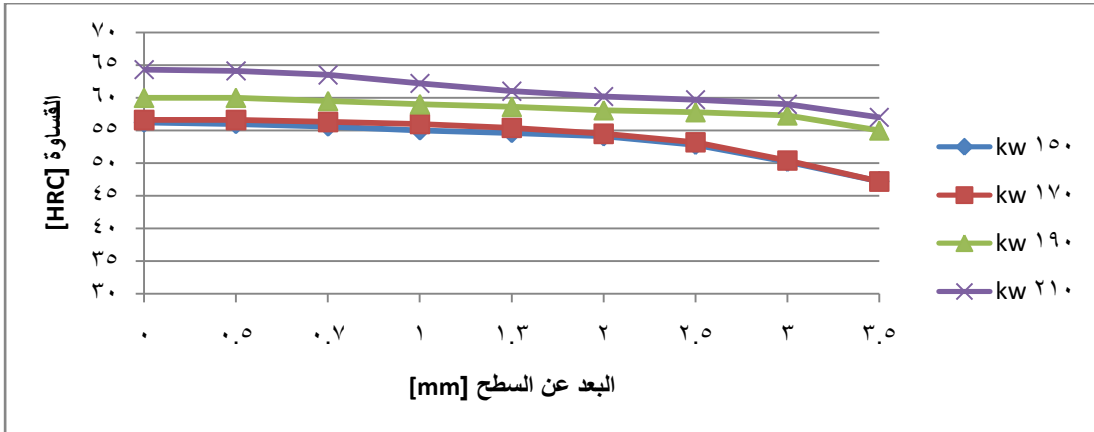
تم تحضير عينات الصدم وفقاً لنموذج شاربي (Charpy)، حيث تم تشغيل العينات بالفارزة إلى الأبعاد المبينة بالشكل (5) وفق المواصفة (ASTM-E23) [8]، في مخبر آلات التشغيل في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين، وبعد التشغيل تم تنعيم العينات للتخلص من أي عيوب تشغيل أو خدوش في سطح العينة .



الشكل (5) أبعاد عينة الصدم وفق نموذج شاربي (Charpy)

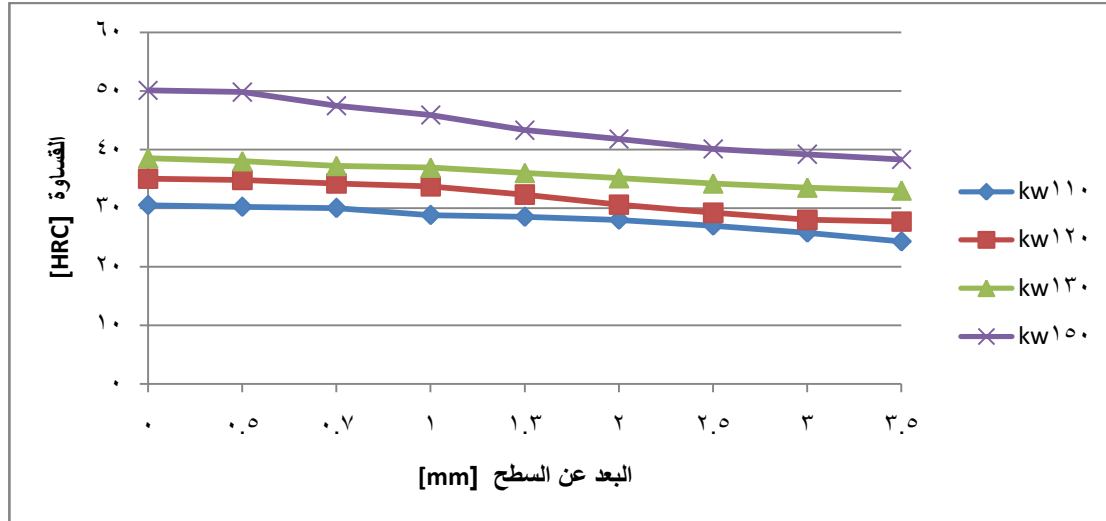
النتائج والمناقشة :

• أظهر اختبار القساوة الذي أجري لعينات من نوعي الفولاذ (0.35%C , 0.59%C) انخفاض قيم القساوة مع ازدياد العمق نظراً لتركز التيار في الطبقات السطحية (ظاهرة الفعالية السطحية)، وازدياد قيم القساوة بازدياد قيم الاستطاعة المستخدمة نظراً لازدياد نسبة المارتنيسيت المتشكلة في البنية .
يبين الشكل (6) المخطط البياني لعلاقة تدرج القساوة مع البعد عن السطح للفولاذ 0.59%C بعد معالجته بالصقيع، عند قيم مختلفة للاستطاعة المستخدمة. وفقاً لاختبار القساوة.



الشكل (6) المخطط البياني لتدرج القساوة مع العمق تحت السطح للفولاذ (0.59%C)

يبين الشكل (7) المخطط البياني لعلاقة تدرج القساوة مع البعد عن السطح، عند قيم مختلفة للاستطاعة المستخدمة للفولاذ (0.35%C) ، وفق القيم الناتجة من اختبار القساوة .

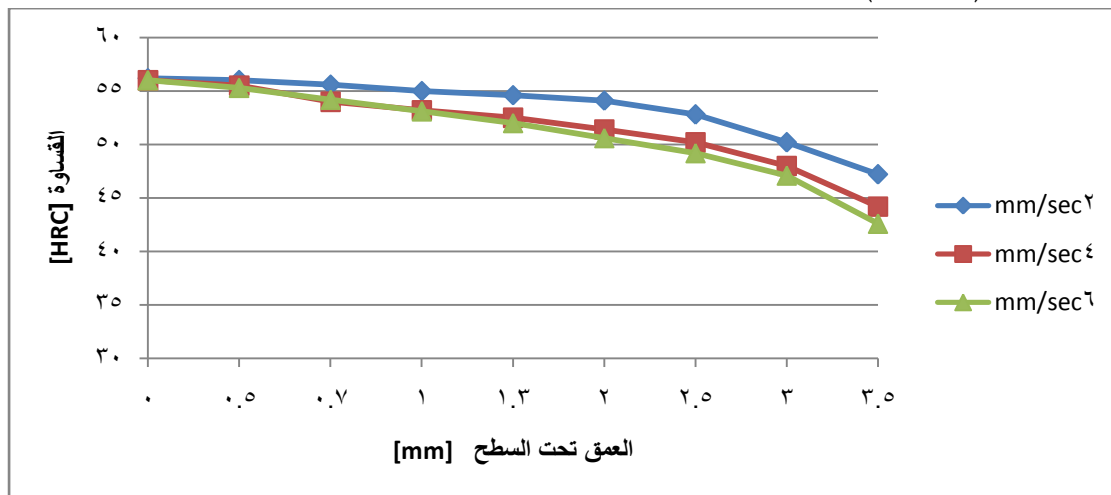


الشكل (7) المخطط البياني لعلاقة القساوة بالعمق تحت السطح للفولاذ (0.35%C)

• أظهر اختبار القساوة انخفاض عمق الطبقة المقساوة بازدياد سرعة تحريك ملف التسخين ، ويفسر ذلك بانخفاض زمن بقاء المنطقة المسخنة ضمن المحرض، وبالتالي انخفاض زمن التسخين وتركزه في الطبقة السطحية وبعث أقل .

يبين الشكل (8) المخطط البياني لعلاقة تدرج القساوة على امتداد المقطع العرضي بسرعة تحريك ملف

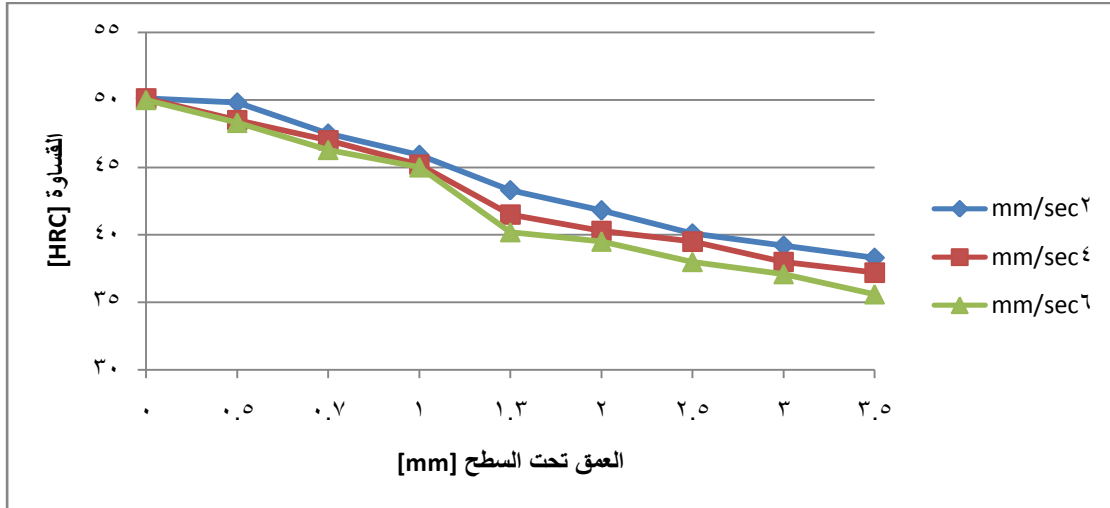
التحريض للفولاذ (0.59%c) :



الشكل (8) علاقة تدرج قيم القساوة بالعمق تحت السطح للفولاذ (0.59%c) عند قيم مختلفة لسرعة تحريك ملف التحريض

يبين الشكل (9) المخطط البياني لعلاقة تدرج قيم القساوة الناتجة بالعمق تحت السطح، عند استخدام قيم مختلفة

لسرعة تحريك ملف التحريض، للفولاذ (0.35%c) . وفق القيم الناتجة من اختبار القساوة .

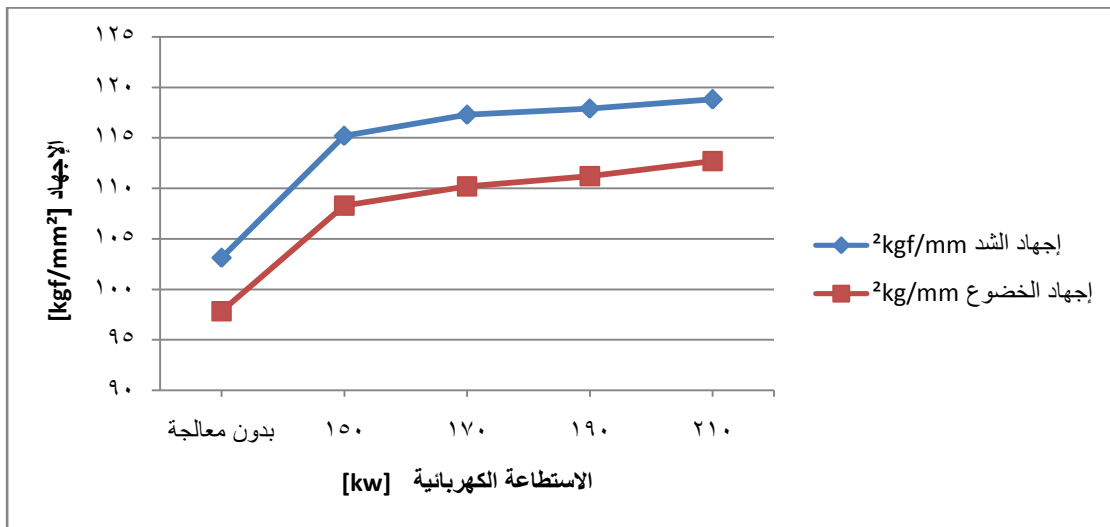


الشكل (9) علاقة تدرج القساوة بالعمق للفولاذ (0.35%C) عند قيم مختلفة للسرعة

• أظهر اختبار الشد ازدياد كل من إجهاد الشد وإجهاد الخضوع للعينات مع ارتفاع قيمة الاستطاعة الكهربائية المستخدمة في المعالجة، ويمكن تفسير ذلك بازدياد نسبة البنية المارتنسيكية وارتفاع عمق التقسية المرافق لازدياد قيمة الاستطاعة المستخدمة .

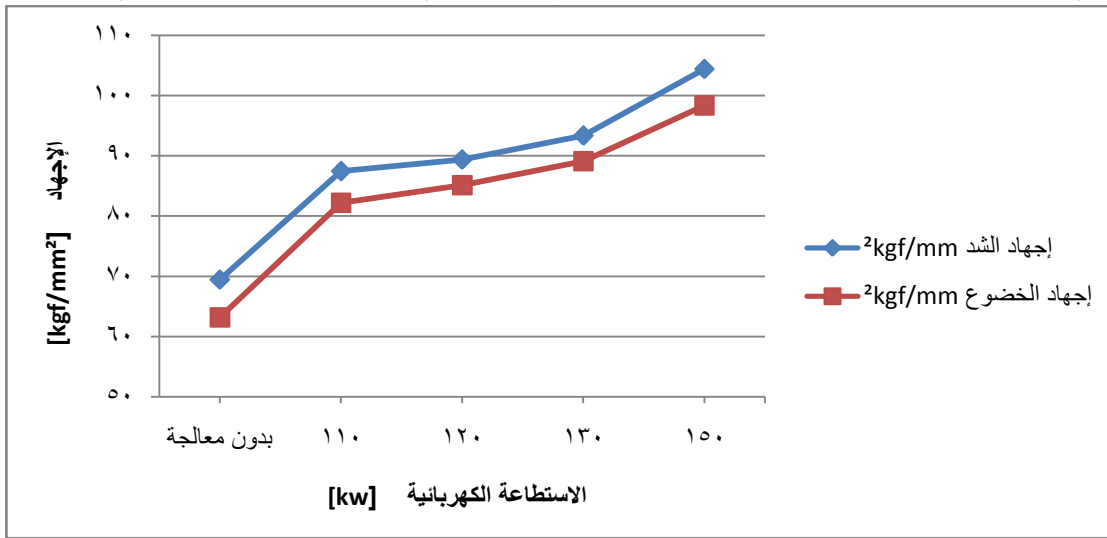
حيث يزداد إجهاد الشد للفولاذ (0.59%C) بنسبة (12÷15%) ويزداد إجهاد الخضوع بنسبة (11÷15%) ، بينما يزداد إجهاد الشد للفولاذ (0.35%C) بنسبة (32÷50%) ويزداد إجهاد الخضوع بنسبة (30÷55%) .

يبين الشكل (10) المخطط البياني للخواص الميكانيكية (إجهاد الشد وإجهاد الخضوع) المستنتجة من اختبار الشد للفولاذ الكربوني (0.59%C) حيث يظهر التحسن في قيم إجهاد الشد وإجهاد الخضوع للفولاذ (0.59%C) عند مقارنة قيم هذه الخواص للفولاذ قبل المعالجة مع قيمها بعد تقسيته عند قيم مختلفة للاستطاعة الكهربائية (170 , 150 , 190 , 210 ... [Kw]) .



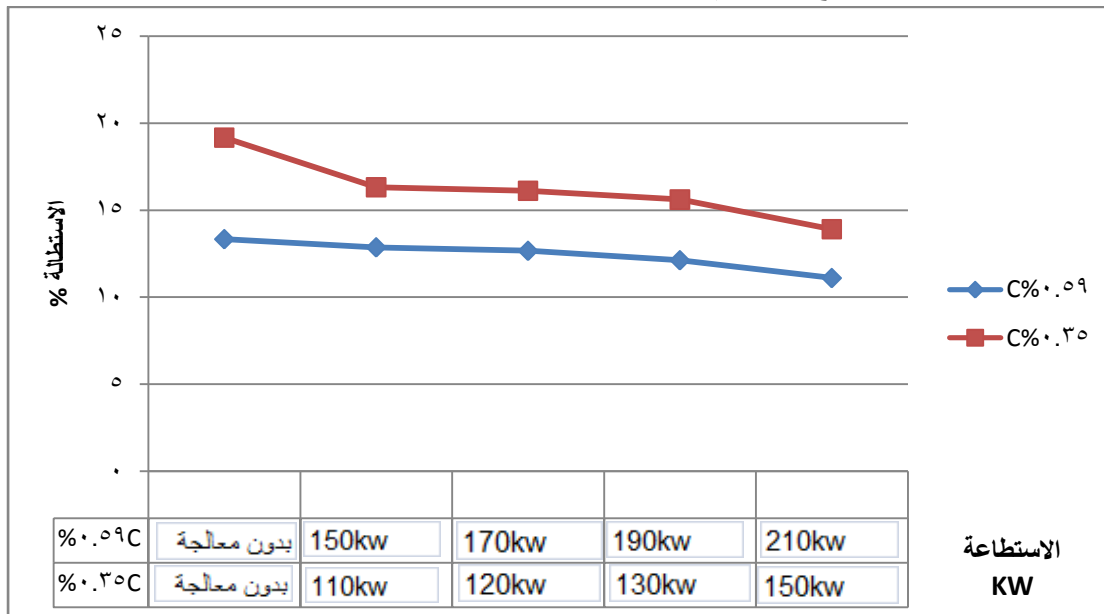
الشكل (10) المخطط البياني لتأثير التقسية على الخواص الميكانيكية للفولاذ (0.59%C)

يبين الشكل (11) المخطط البياني للخواص الميكانيكية المستنتجة من اختبار الشد للفولاذ الكربوني (0.35%C) قبل المعالجة وبعد تقسيته بالتيارات عالية التردد بقيم للاستطاعة (110,120,130,150..[Kw] .



الشكل (11) المخطط البياني لتأثير التقسية على الخواص الميكانيكية للفولاذ (0.35% C)

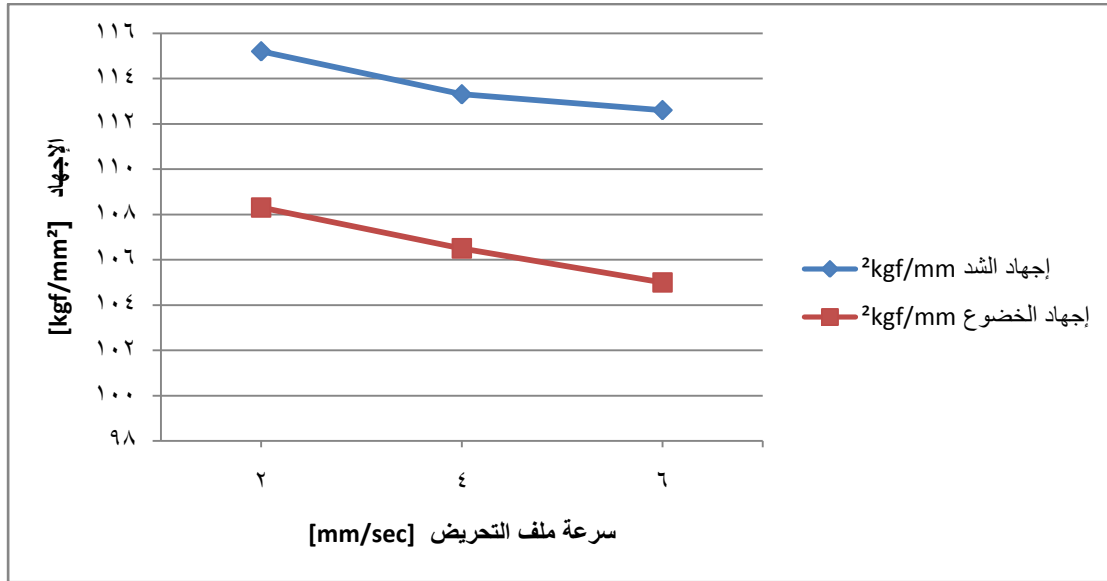
يبين الشكل (12) المخطط البياني لتأثير قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة على قيم الاستطالة النسبية لنوعي الفولاذ (0.35% C , 0.59% C) عند التقسية بالتيارات عالية التردد، ويفسر الانخفاض في قيم الاستطالة النسبية بازدياد نسبة البنية المارتنسييتية مع ازدياد قيم الاستطاعة المستخدمة .



الشكل (12) تأثير الاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التقسية التحريضية على قيم الاستطالة النسبية لنوعي الفولاذ (0.59% C , 0.35% C)

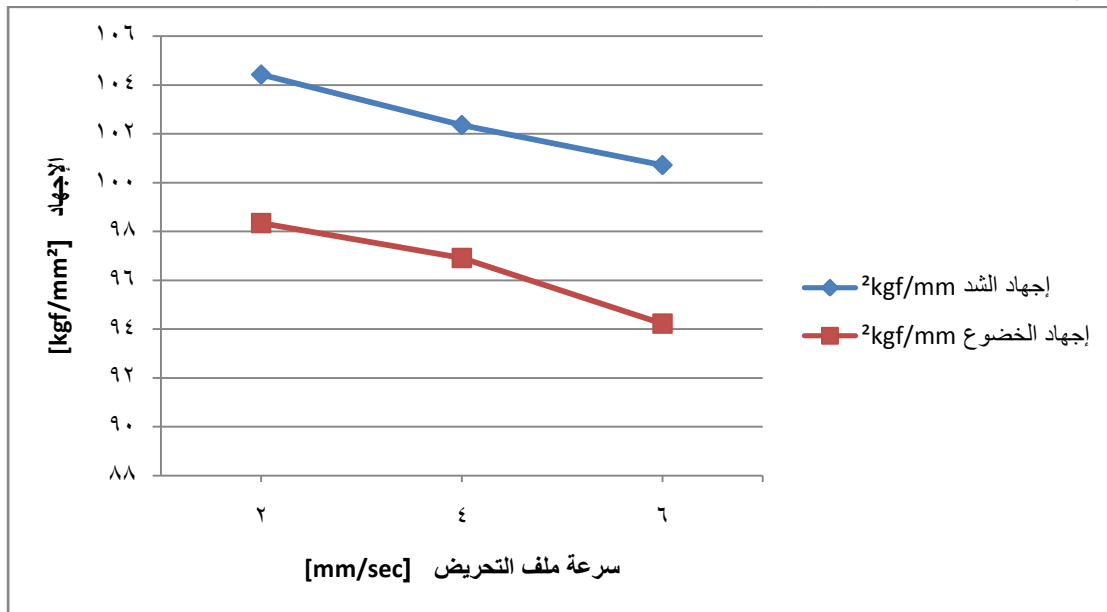
• أظهر اختبار الشد انخفاض كل من إجهاد الشد وإجهاد الخضوع للعينات المقاسة مع ارتفاع قيمة سرعة التحرك المستخدمة في المعالجة لملف التحريض وعند نفس الاستطاعة، ويمكن تفسير ذلك بانخفاض سماكة الطبقة المقاسة المرافقة لازدياد قيمة السرعة المستخدمة- تناقص زمن تواجد العينات ضمن المحرض.

يبين الشكل (13) المخطط البياني للخواص الميكانيكية المستنتجة من اختبار الشد للفولاذ الكربوني (0.59%C) عند قيم مختلفة لسرعة تحريك ملف التحريض .



الشكل (13) المخطط البياني لتأثير سرعة المحرض في الخواص الميكانيكية للفولاذ (0.59%C)

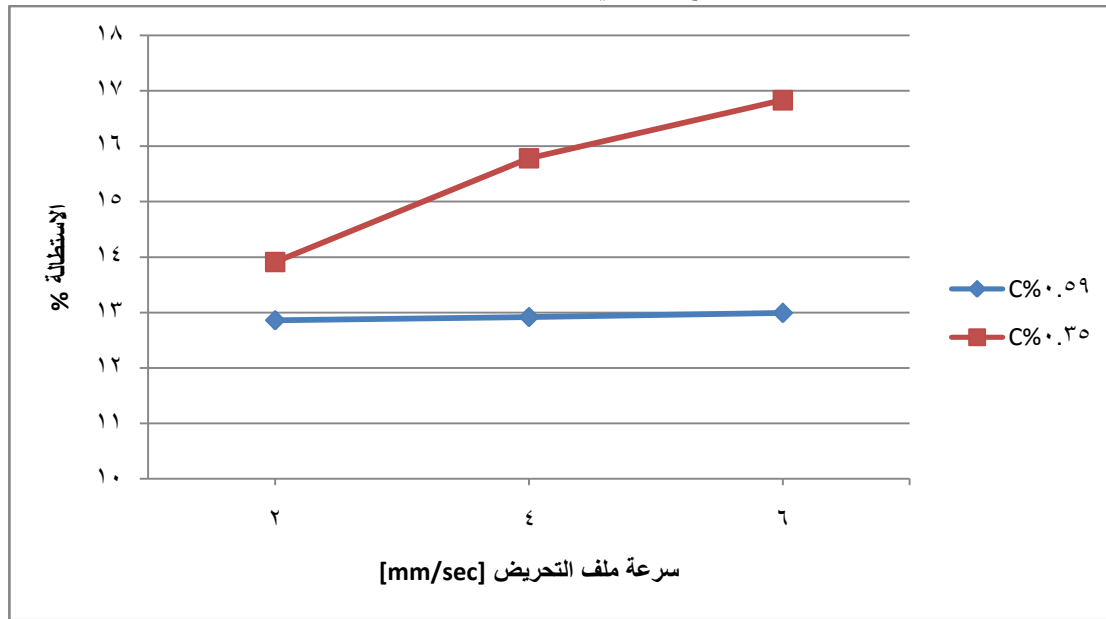
يبين الشكل (14) المخطط البياني للخواص الميكانيكية المستنتجة من اختبار الشد للفولاذ الكربوني (0.35%C) عند تقسيته تحريضياً بقيم مختلفة لسرعة تحريك ملف التحريض .



الشكل (14) المخطط البياني لتأثير السرعة في الخواص الميكانيكية للفولاذ (0.35%C)

يبين الشكل (15) المخطط البياني لتأثير قيم سرعة ملف التحريض المستخدمة على قيم الاستطالة النسبية الناتجة لنوعي الفولاذ عند تقسيته تحريضياً - قيمة الاستطاعة المستخدمة [Kw] -150 حيث يمكن تفسير ازدياد قيم

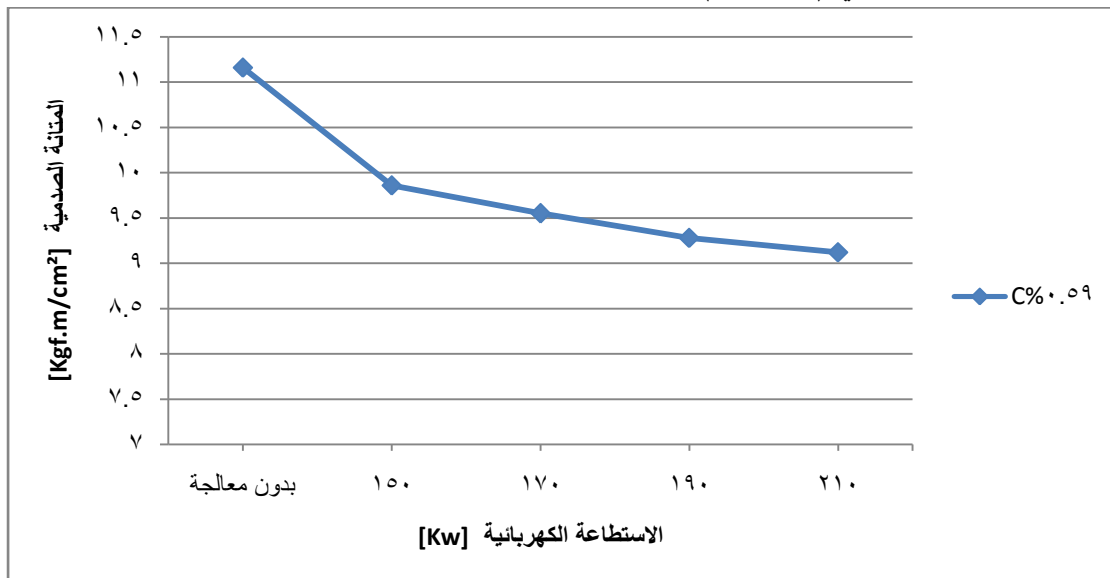
الاستطالة النسبية للفولاذ المعالج مع ازدياد قيم سرعة تحريك ملف التحريض بانخفاض سماكة الطبقة المقساء وانخفاض نسبة البنية المارتنسييتية المتشكلة على امتداد المقطع العرضي للعينة.



الشكل (15) تأثير سرعة ملف التحريض في قيم الاستطالة النسبية لنوعي الفولاذ (0.59% C , 0.35% C)

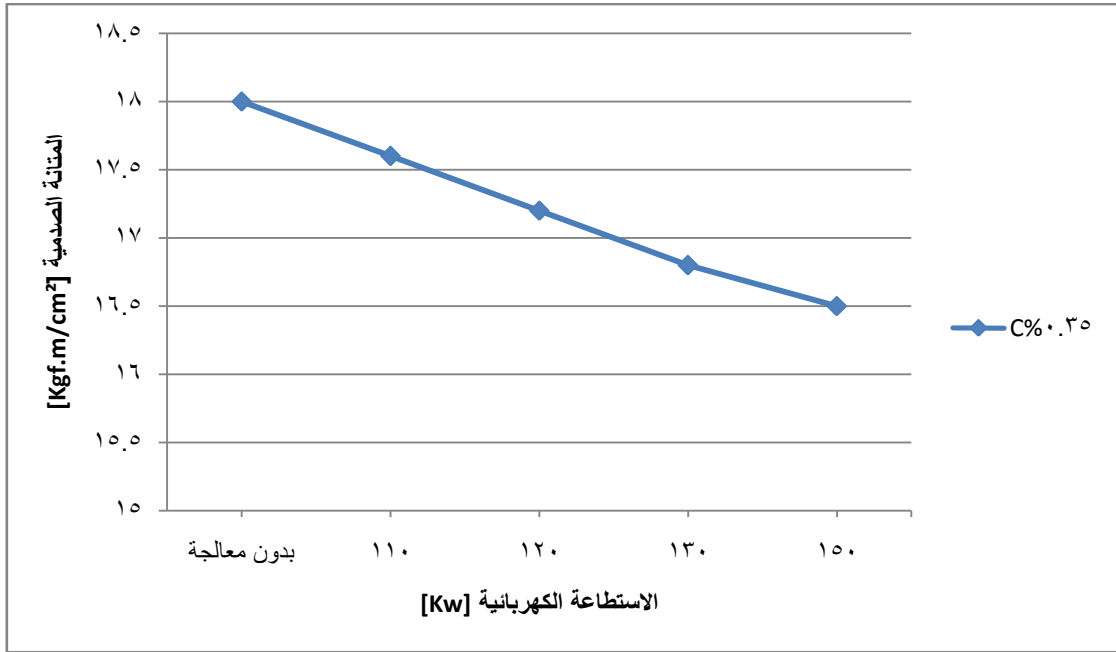
• أظهر اختبار شاربي للصدمة انخفاض المتانة الصدمية لنوعي الفولاذ الكربوني بازدياد قيم الاستطاعة المستخدمة حيث تتخفض المتانة الصدمية للفولاذ (0.59% C) بنسبة (11 ÷ 18%)، وللفولاذ (0.35% C) بنسبة (2 ÷ 8%)، وذلك نتيجة لما يرافق عملية التقسية من ارتفاع في قيم القساوة السطحية وازدياد في عمق التقسية، أي تصبح البنية أكثر قساوة بشكل نسبي .

يبين الشكل (16) المخطط البياني لتأثير قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التقسية التحريضية على المتانة الصدمية للفولاذ الكربوني (0.59% C) .



الشكل (16) المخطط البياني لتأثير قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التقسية السطحية على المتانة الصدمية للفولاذ (0.59% C)

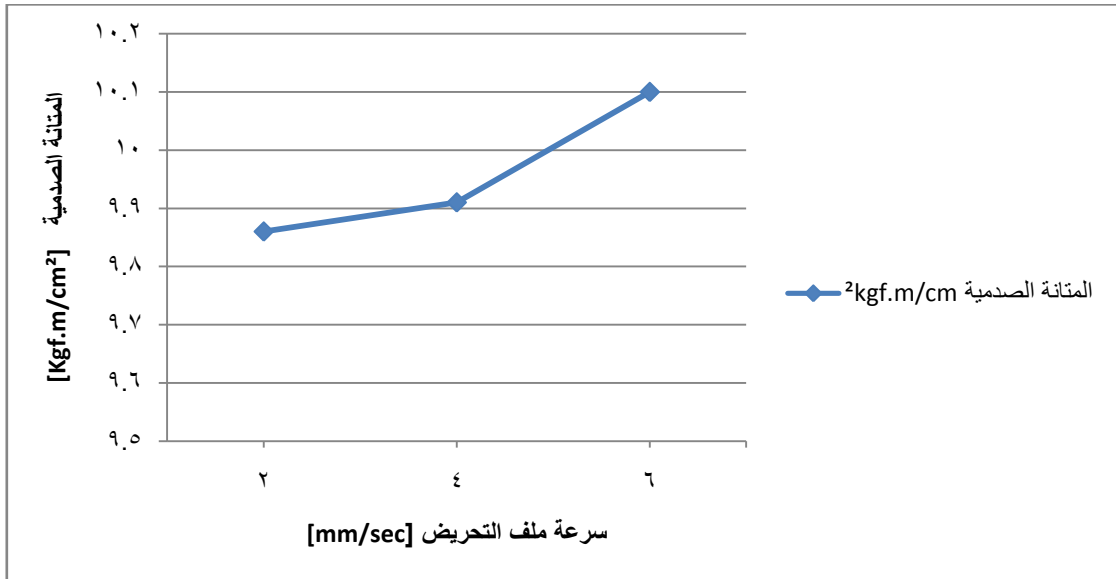
يبين الشكل (17) المخطط البياني لتأثير قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التقسية التحريضية على المتانة الصدمية للفولاذ الكربوني (0.35% C).



الشكل (17) المخطط البياني لتأثير الاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التقسية التحريضية على المتانة الصدمية للفولاذ (0.35% C)

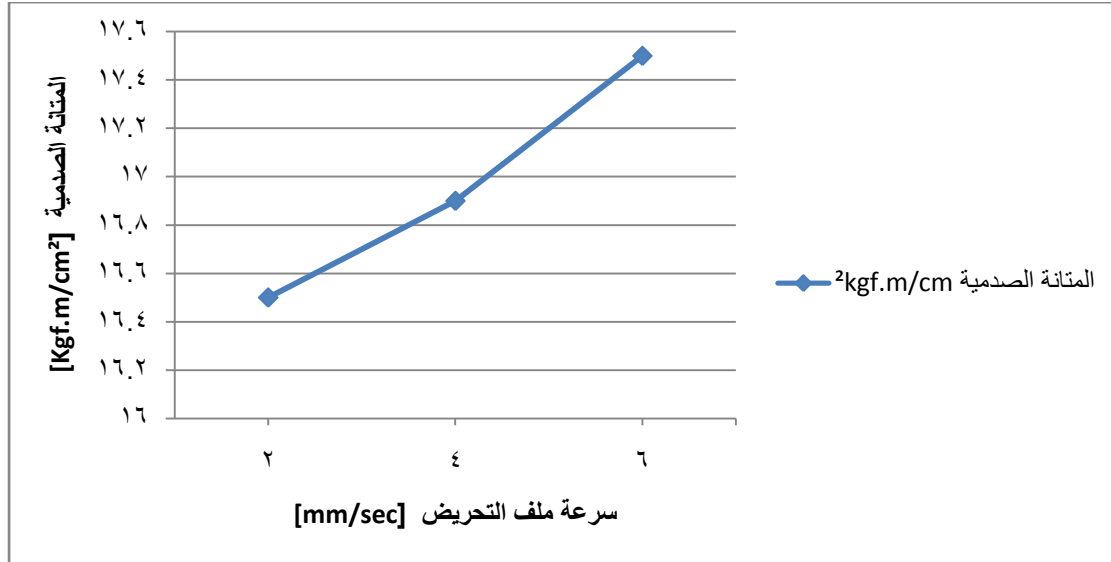
• أظهر اختبار شاربي للصدمة أنه بزيادة قيم سرعة تحريك ملف التحريض ينخفض تأثير التقسية التحريضية على المتانة الصدمية لنوعي الفولاذ، حيث تتحسن قيم المتانة الصدمية التي يمكن أن تنتج عن تقسية الفولاذ (0.59% C) بنسبة (2%) ، وللفولاذ (0.35% C) بنسبة (6%) .

يبين الشكل (18) المخطط البياني لتأثير سرعة المحرض في قيم المتانة الصدمية الناتجة للفولاذ الكربوني (0.59% C) عند تقسيته تحريضياً .



الشكل (18) المخطط البياني لتأثير سرعة ملف التحريض على قيم المتانة الصدمية للفولاذ (0.59% C)

يبين الشكل (19) المخطط البياني لتأثير سرعة ملف التحريض في قيم المتانة الصدمية الناتجة للفولاذ الكربوني (0.35%C) عند التقسية بالتيار عالي التردد .



الشكل (19) المخطط البياني لتأثير سرعة تحريك ملف التحريض على قيم المتانة الصدمية للفولاذ (0.35%C)

تحسن قيم المتانة الصدمية لنوعي الفولاذ الكربوني المقسى بزيادة قيم سرعة تحريك ملف التحريض المستخدمة عند التقسية، يعود لانخفاض عمق الطبقة المقساء، إذ تصبح نسبة البنية المارتنسييتية أقل على امتداد المقطع العرضي، وبالتالي تصبح العينات أقل قساوة نسبياً.

الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات :

- إن زيادة قيم الاستطاعة الكهربائية المستخدمة في التقسية التحريضية أدى إلى زيادة قيمة القساوة السطحية الناتجة كما أدى إلى ازدياد عمق الطبقة المقساء.
- إن زيادة قيم الاستطاعة المستخدمة أدى لتحسين الخواص الميكانيكية (إجهاد الشد، إجهاد الخضوع) بنسب جيدة بينما أدى إلى انخفاض المتانة الصدمية للفولاذ الكربوني .
- إن زيادة قيم سرعة تحريك ملف التحريض أثناء التقسية أدى لانخفاض عمق الطبقة المقساء وترافق ذلك مع تقليل فاعلية التقسية التحريضية بالنسبة لتحسين الخصائص الميكانيكية المتمثلة (إجهاد الشد ، إجهاد الخضوع) إلا أن زيادة سرعة ملف التحريض أدى إلى تحسن في قيم المتانة الصدمية الناتجة.
- يتم تحديد خصائص المنتجات باستخدام التقسية التحريضية من خلال بارامترات هذه العملية، لذلك عند اختيار بارامترات التقسية التحريضية يجب العمل على اختيار البارامترات التي تؤمن أفضل الخواص الميكانيكية.
- بما أن طريقة التقسية هذه تحقق التحسن في الخواص الميكانيكية للفولاذ الكربوني مع تأثير محدود على متانة الصدم لذلك يجب أن تكون هذه الطريقة موضع اهتمام ومحط اختيار الصناعيين وخاصة في خطوط الانتاج الكمي لما تؤمنه من تحسن في الخواص للمنتجات واختصار لزمان المعالجة وبالتالي لزمان الانتاج.

التوصيات :

- إجراء المزيد من الدراسات والأبحاث في هذا المجال على بعض الأنواع الأخرى من الفولاذ.
- دراسة تأثير التقسية التحريضية على بقية الخواص (التعب ، الالتواء ..).
- إجراء دراسة حول تأثير المعالجات المزدوجة (تقسية عميقة مع إرجاع مرتفع ثم تقسية سطحية بالتيارات عالية التردد) على خصائص الفولاذ الكربوني.
- إجراء المزيد من الدراسات حول فاعلية استخدام التسخين بالتيارات عالية التردد (التسخين التحريضي) في مجالات أخرى من الحياة لإظهار الإمكانيات والفوائد الكبيرة التي توفرها طريقة التسخين هذه.

المراجع:

- 1 هنترة، علي. *المعالجات الحرارية للمعادن*. منشورات جامعة تشرين، سوريا، 2000، 331.
- 2 *علم المواد التطبيقي والتآكل* ، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، المملكة العربية السعودية، 95،2007
- 3- SHEN,A;YAO,Z.Q; SHI,Y.J; HU.J. *Study on Temperature Field Induced in High Frequency Induction Heating*. Acta Metallurgica , China, Vol.19, No.3, 2006, 190-196.
- 4- RUDNEV,V.I. *Metallurgical insights for induction heat treaters, Part6: Striping Phenomenon*. Heat treating Progress, U.S.A, November/December 2008, 21-22.
- 5- STARCK,A.V; MUHLBAUER.A; KRAMER.C. *Handbook of Thermo processing Technologies*. Vulkan- Verlag, Germany, 2006, 807.
- 6- WAI,H; AUNG,S.S; WIN.T . *Work Coil Design used in Induction Hardening Machine*. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology ,Waset.org, Vol. 32, ISSN 2070-3740,2008,382-386.
- 7- ASTM. E8, *Standard Test Methods of Tension Testing of Metallic Materials* . American Society for Testing and Materials, U.S.A, Vol.3.01,2002.
- 8- ASTM. E23, *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials* . American Society for Testing and Materials, U.S.A, Vol.3.01, 2002.