

## أثر المعالجات الحرارية على الخواص الميكانيكية لقطع من حديد الصب المرن ملحومة بالكترودات لحام نوع ( Inconel 625 )

\* م . باسم محسن عمار      \*\* أ . د . نوفل يوسف الاحمد

(الإيداع: 11 حزيران 2019 ، القبول: 14 تموز 2019)

### ملخص:

يتضمن هذا البحث دراسة عينات من حديد الصب المرن تم تحليلها كيميائياً وتحديد خواصها الميكانيكية، ثم إجراء عملية اللحام بالقوس الكهربائية باستخدام إلكترودات لحام نوع ( Inconel 625 ) ولحالتين: الأولى تم اجراء التسخين السابق للعينات إلى درجة حرارة 500 C والثانية تم لحامها مباشرة، ثم اجري معالجة حرارية لجميع العينات (مراجعة على درجة حرارة 400 C لعدد من العينات وتخميم التخلص من الاجهادات على درجة حرارة 650 C لباقي العينات) وتمت دراسة تأثير التسخين المسبق والمعالجة الحرارية اللاحقة على الخواص الميكانيكية للوصلة للحامية وقد اظهرت النتائج انخفاض في القساوة ومقاومة الشد بشكل ملحوظ عند التسخين السابق و المعالجات الحرارية اللاحقة، وكذلك ارتفاع في مقاومة الصدم والسبب في ذلك انه في أثناء المراجعة يتم تخفيض قساوة المارتنزيت فترجع البنية البلورية الغير مستقرة (المارتنزيت) التي تشكلت بعد عملية التبريد إلى وضع أكثر إستقراراً، فيتفكك المارتنزيت بوساطة الإنتشار إلى فيريت وكربيدات (السمنتيت). وتكون سرعة التحول صغيرة في درجات الحرارة المنخفضة لأن تحرك الكربون داخل المارتنزيت يتطلب درجة حرارة وزمناً. اما تخميم التخلص من الإجهادات فتسمح بإعادة ذوبان السيمنتيت و خروج الكربون من حبيبات الفيريت ،وبالتالي إعادة انتشار الكربون ضمن البنية ، ونتيجة عملية التخميم هذه تحدث إعادة تبلور للحبيبات و بالتالي نحصل على بنية برلينية متجانسة ذات حبيبات ناعمة و هذا يفسر انخفاض قيم القساوة ومقاومة الشد وارتفاع مقاومة الصدم.

الكلمات المفتاحية: حديد الصب المرن – خواص ميكانيكية – لحام – الكترودات لحام – تسخين سابق – اختبار الشد

\*طالب دراسات عليا في قسم هندسة المواد التطبيقية في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس

\*\*أستاذ في قسم هندسة المعدات والاليات في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس

## The effect of heat treatment on mechanical properties for ductile cast iron parts welded by (Inconel 625) electrodes

\*Eng. basem muhsen ammar

\*\*prof.nawfal yousef alahmad

( Received: 11 June 2019, Accepted: 14 July 2019)

### Abstract :

This research includes the study of samples of ductile cast iron, they were analyzed chemically and determine their mechanical properties, and then weld it by arc electric welding using (Inconel 625) welding electrodes type. In two cases, the first one is pre-heating of the samples was carried out to a temperature of 500 c and the second was weld directly, and then we made heat treatment on all samples (tempering at 400 c for a number of samples and annealing at 650 c for the other samples). The effect of preheating and subsequent heat treatment on the mechanical properties of the welded parts was studied. The results showed a decrease in hardness and The tensile strength of pre-preheating and subsequent heat treatments samples, as well as the rise in impact resistance, that is because during the tempering, the hardness of the martensite is reduced as the unstable crystalline structures (martensite) formed after the cooling process returned to a more stable position, where the martensite breaks down into ferrites and carbides. The transformation speed is small at low temperatures because the movement of carbon inside martensite requires temperature and time. The annealing process, allowing the carbon to be redistributed within the structure. As a result of the annealing process, crystallization of the granules takes place, thus obtaining a homogeneous pearlite structure with soft granules. This is the main reason for the low hardness and tensile strength and high toughness.

**key words:** Ductile casting iron – Mechanical properties – Welding – Welding electrodes – Preheating – Tensile test

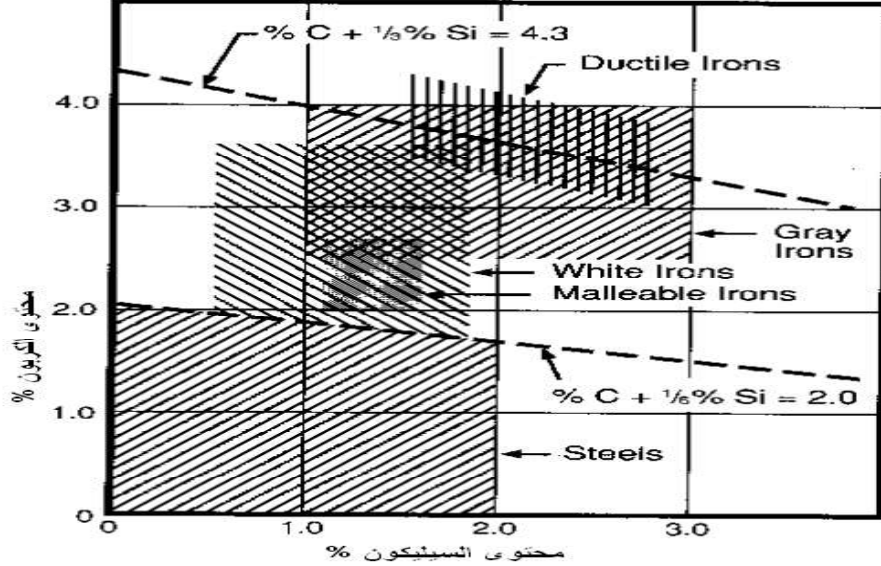
---

\*master student in Applied Materials Engineering Department, Faculty of Technical engineering, Tartous University

\*\*professor at equipments and machinery department, faculty of technical engineering

## 1- المقدمة:

لا تشير عبارة حديد الصب إلى مادة واحدة بل إلى ثلة من المواد والتي يكون الحديد الجزء الأكبر من تركيبها، وكميات معينة من الكربون والسيليكون (خلائط حديدية تحتوي على أكثر من 2% كربون، و 3% سيليكون وحتى 1% من المنغنيز)[1].



الشكل رقم (1): يبين عائلة حديد الصب[1]

كما يرى من الشكل فإن عائلة حديد الصب هي خلائط طبيعية تتحدد خواصها من خلال بنيتها البلورية – الأطوار المتوازنة وغير المتوازنة المشكلة من خلال التجمد أو المعالجات الحرارية اللاحقة[1]، كما ان هناك طرق عدة لتغيير البنية البلورية لحديد الصب للحصول على الخواص الميكانيكية المرغوب بها، وقد يتم ذلك بإضافة العناصر الخلائطية، أو بتعديل سلوك التجمد، أو عن طريق المعالجة الحرارية بعد التجمد وفيما يأتي الأنواع الأكثر استخداماً لحديد الصب:

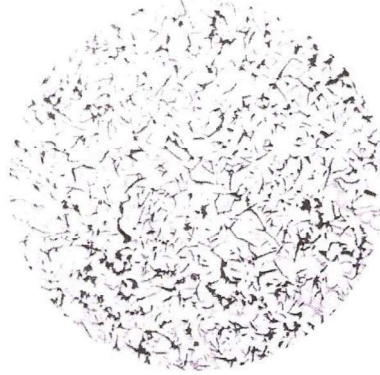
## 1-1- حديد الصب الأبيض:

حديد الصب الأبيض في شكله النهائي ممتلئ بالكربيد الناتجة عن العناصر الخلائطية مما يجعله قاسياً جداً ومقاوماً للاهتراء بالإحتكاك ولكنه قصيف. نظراً لارتفاع نسبة السمنتيت في حديد الصب الأبيض المعروف بقساوته، فإن قساوته وهشاشيته واضحة ومقطعه يميل إلى البياض وهو مقاوم للتآكل الميكانيكي ولكنه يصعب تشغيله أو تشكيله ميكانيكياً لذا يأخذ شكله بالسباكة. ويستعمل في اسطوانات الطحن ورؤوس السحب وغير ذلك[2].

## 1-2- حديد الصب الرمادي:

يعد حديد الصب الرمادي الشرائحي أقدم أنواع حديد الصب وأكثرها شيوعاً، لذا فإن عبارة حديد الصب وحديد الصب الرمادي قابلتان للتبادل. سمي حديد الصب الرمادي بهذا الإسم لأن مكسره ذو لون رمادي، وتتألف بنيته من شرائح الغرافيت الموزعة على الأرضية المؤلفة من الفيريت أو البيرليت أو مزيج من كليهما، وإن سيولة حديد الصب الرمادي العالية يجعل هذا المعدن مثالياً للإنتاج في عملية السباكة، ولا سيما المسبوكات معقدة الشكل. إن شكل الغرافيت الشرائحي في حديد الصب الرمادي

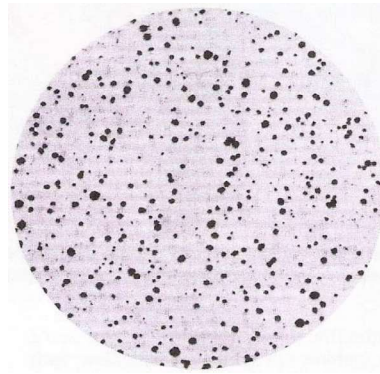
الشكل له تأثير كبير على خواصه الميكانيكية حيث تسبب شرائح الغرافيت تشكل إجهادات تسبب أحياناً تمزقات. يبدي حديد الصب الرمادي سلوكاً قصفاً، وينهار عند الشد من دون تشوه ملحوظ[2].



الشكل رقم (2): حديد الصب الرمادي

### 1-3- حديد الصب المرن :

هو عبارة عن حديد صب رمادي، يتم تحويل الغرافيت فيه إلى شكل كروي وذلك بإضافة نسبة معينة من المغنسيوم او السيريوم في أثناء السكب ومن ثم تتحسن خواصه الميكانيكية بشكل كبير حيث أنه يسلك سلوكاً قريباً من الفولاذ[1,2].



الشكل رقم (3): حديد الصب المرن

### 1-4- قابلية حديد الصب المرن للحام:

تتوقف قابلية اللحام على البنية المجهرية والخواص الميكانيكية، فعلى سبيل المثال حديد الصب الرمادي هو قصف، ولا يتحمل في الغالب الضغط الناتج عن عملية اللحام والتبريد اللاحق، أما حديد الصب المرن له قابلية لحام اكبر[3].

ففي أثناء لحام حديد الصب تصبح منطقة اللحام ساخنة إلى درجة الانصهار، وبعد عملية اللحام تبرد كامل المنطقة التي تأثرت بالحرارة بسرعة كبيرة جداً، وفي أثناء عمليتي التسخين والتبريد فإن بعض الكربون ينحل وينتشر في الأرضية المعدنية، ونتيجة لذلك فإن الكرييدات تميل إلى تشكيل حافة لمنطقة الإلتحام، و المارتنزيت يميل إلى تشكيل ما تبقى من المنطقة المتأثرة بالحرارة، وإن تشكيل هذه الأجزاء الدقيقة القاسية الهشة يزيد من العرضة للتصدع، وكذلك نتيجة طبيعته الموضعية، فإن اللحام يؤدي إلى إجهادات حرارية في منطقة اللحام[4].

لذا فإن اللحام الناجح يمكن أن يتم من خلال تقليل الإجهادات الحرارية إلى الحد الأدنى عند تقلص المعدن الملحوم في أثناء التبريد، والتقاط الكربون من قبل المعدن الملحوم، وذلك من خلال التحكم بمعدل التبريد، واجراء معالجة حرارية لاحقة.

## 2- أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث وأهدافه في دراسة قابلية اللحام لحديد الصب المرن وتأثير التسخين المسبق و المعالجة الحرارية اللاحقة على الخواص الميكانيكية لملحومات حديد الصب المرن.

## 3- طرائق البحث ومواده :

تم في هذا البحث جمع اجزاء من حديد الصب المرن من المنطقة الصناعية ثم اجري التحليل الكيميائي للمعدن لتحديد تركيبه الكيميائي بدقة باستخدام جهاز التحليل الطيفي الموجود في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة التقنية وهو جهاز الماني الصنع من نوع OES موديل FOUNDRY- MASTER UV آلية عمل الجهاز تتلخص فيما يلي ( يعتمد على حرق العينة بواسطة شرارة كهربائية فتتشرد الكترولونات مكتسبة طاقة و عند عودة تلك الالكترولونات تخسر طاقة تطلقها بشكل فوتونات فتندمج عبر ألياف ضوئية و تمر عبر المرايا ثم تذهب إلى الكاشف ( الحساسات ) التي تتحسس اطوال موجات الفوتونات) و بالتالي و بالاعتماد على أطوال هذه الموجات يتم تحديد نسب العناصر الموجودة في العينة المختبرة. والجدول (1) يبين التركيب الكيميائي للمعدن:

الجدول رقم (1): يوضح نتائج التحليل الطيفي للعينة

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
%	%	%	%	%	%	%	%	%
3.41	2.54	0.15	0.02	0.0287	0.0357	0.0213	0.0093	0.0133

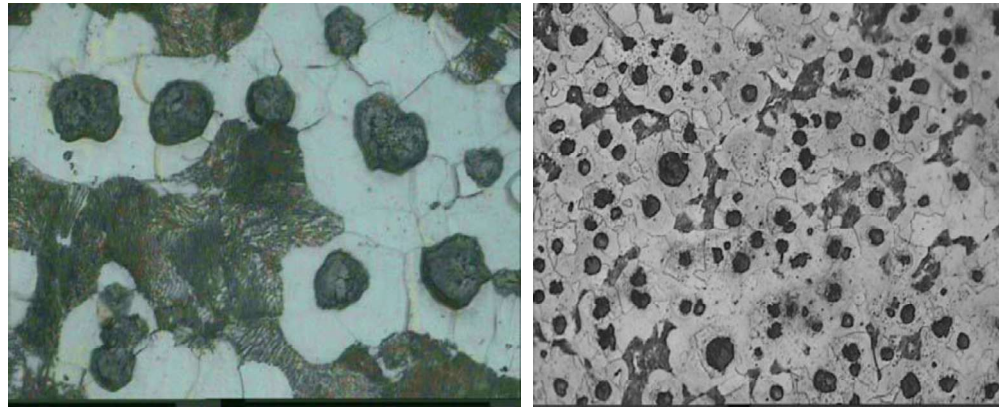
Co	Cu	Nb	Ti	Pb	Mg	As
%	%	%	%	%	%	%
0.0026	0.05466	0.0076	0.0154	0.0032	0.0475	0.111

Zr	Bi	Ca	Ce	Zn	Fe
%	%	%	%	%	%
<0.00050	0.256	>0.0048	<0.00050	0.0018	Reem

كما يلاحظ من نتائج التحليل الطيفي بأن التركيب الكيميائي هو التركيب المميز لحديد الصب المرن من حيث نسبة الكربون والسيلكون وجود نسبة منخفضة من المغنيزيوم (0.0475%) مما يدل على أنه قد تم استخدام المغنيزيوم في عملية التكرور.

#### 4- الإختبارات المجهرية للعينات:

قمنا بتحضير العينات لوضعها تحت المجهر الضوئي وتصوير بنيتها المجهرية للتأكد من ان العينات هي من حديد الصب المرن حيث تم صقل العينات حتى اصبح سطحها لامعا ثم تمت معالجتها بحمض الازوت الممدد ووضعها تحت المجهر الضوئي الموجود في مخبر المعادن في مرفأ طرطوس والتقاط صور للبنية المجهرية بنسب تكبير مختلفة. تبيين الصور المجهرية في الشكل (4) التي أخذت بنسب تكبير (200x) و(500x) للبنية المجهرية بعد المعالجة الكيميائية توزع الغرافيت وشكله في داخل المعدن، يلاحظ بأن الأرضية المعدنية (matrix) للمعدن المختبر تتألف من الفيريت والبرليت وزعت عليها كريات من الغرافيت. ان الشكل الكروي للغرافيت هو ما يميز حديد الصب المرن عن باقي انواع حديد الصب.



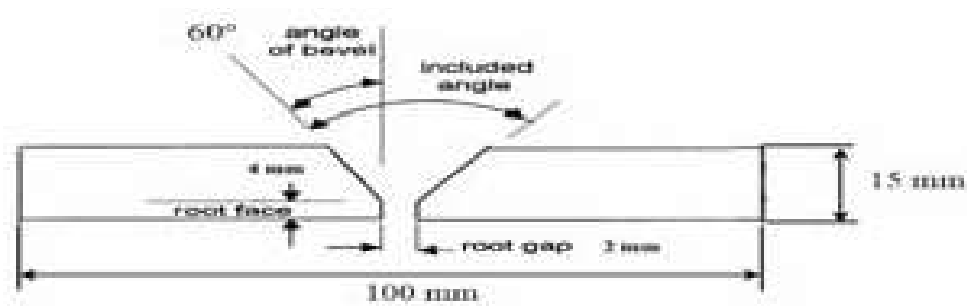
500x

200x

الشكل رقم (4) يبين البنية المجهرية للعينات المدروسة بعد المعالجة بحمض الازوت الممدد

#### 5- تحضير العينات:

تم تحضير العينات بواسطة المنشار القرصي بالأبعاد (15\*50\*100) بعدها تم قص العينة من المنتصف والتشطيب بزواوية (60) درجة للتحضير لعملية اللحام وفق الشكل (5)[3]:



الشكل رقم (5): يوضح طريقة لحام العينات

**5-1- عملية اللحام:**

تمت عملية اللحام لنموذجين من العينات: الأولى لحمت بشكل مباشر، والثانية اجري لها تسخين مسبق لدرجة حرارة (500C). وجميع العينات لحمت بماكينه القوس الكهربائي وباستخدام تيار لحام مقداره (70A) وباستخدام الكترود لحام نوع (INCONEL 625) ذو التركيب الكيميائي المبين بالجدول (2) [3]. وقد تمت عملية اللحام على طبقتين خلال شوطين وتسمى الطبقة الأولى بالجزر، وتسمى الطبقة الثانية (العليا) طبقة الملء [5].

الجدول (2) يبين تركيب إلكترود اللحام المستخدم

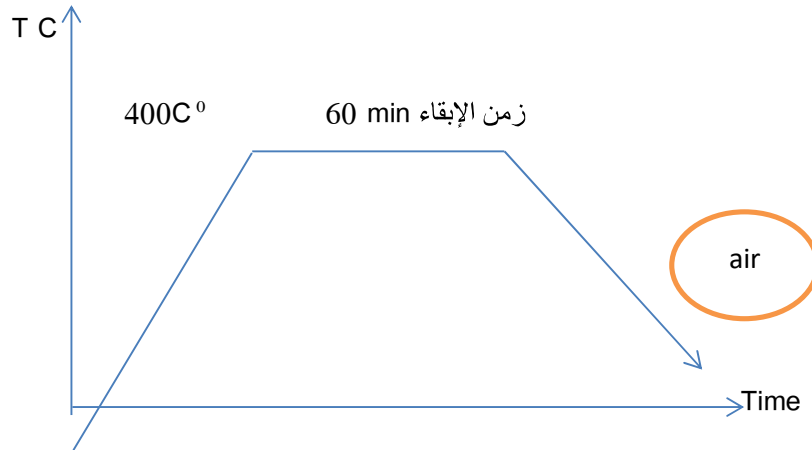
Fe	Mo	Ta	Nb	Cr	Ni	Mn	Si	Inconel 625
Other	8-10	4.5	3.5	25-20	58	0.5	0.5	

**5-2- عملية المعالجة الحرارية اللاحقة:**

تمت عملية المعالجة الحرارية بعد اللحام للعينات في فرن كهربائي خاص موجود في المعهد الصناعي في طرطوس مزود بغاز واقٍ (غاز الأزوت) لمنع حدوث ظاهرة انخفاض نسبة الكربون على السطح decarburization يحتوي هذا الفرن على اربع وشائع كهربائية من كل جهة مرفق به جهاز تحكم يتحكم بدرجة الحرارة وسرعة التسخين ويسخن حتى 1200 c في بحثنا هذا تم اختيار نوعين من المعالجة الحرارية هما: ( المراجعة - تخمير التخلص من الإجهادات) لكل نموذج بعد عملية اللحام، وقد تضمنت عملية المعالجة الحرارية /24/ عينة وفق العمليات التالية:

**5-3- عملية المراجعة:**

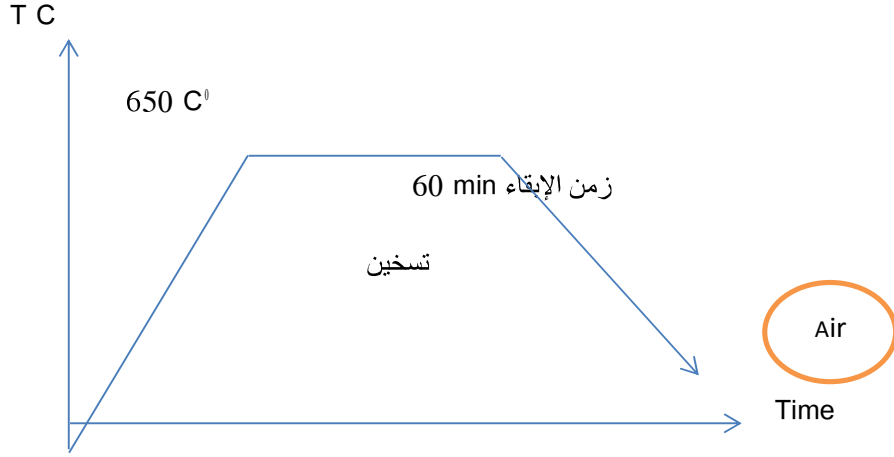
تمت على /12/ عينة عند درجة حرارة (400c<sup>0</sup>) [2]، زمن الإبقاء ساعة واحدة وتمت عملية التبريد بالهواء.



الشكل رقم ( 6 ) : يبين المخطط البياني لعملية المراجعة على درجة حرارة 400

## 4-5- عملية تخمير التخلص من الإجهادات:

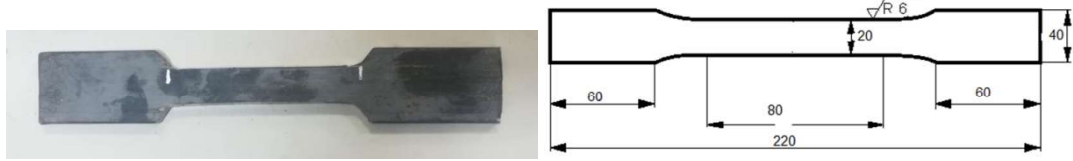
تمت على 12/ عينة عند درجة حرارة (650C<sup>0</sup>) [2]، زمن الإبقاء ساعة واحدة وتمت عملية التبريد بالهواء.



الشكل رقم (7): يبين المخطط البياني لعملية تخمير التخلص من الاجهادات على درجة حرارة 650

## 5-5- اختبار الشد:

تم تحضير عينات الشد وفق المواصفات القياسية DIN 17600 [4,5,6] ثم اجري الاختبار على العينات باستخدام جهاز الشد الموجود في كلية الهندسة التقنية ماركة ZWICK/ROELL.



الشكل رقم (7): ابعاد عينة الشد

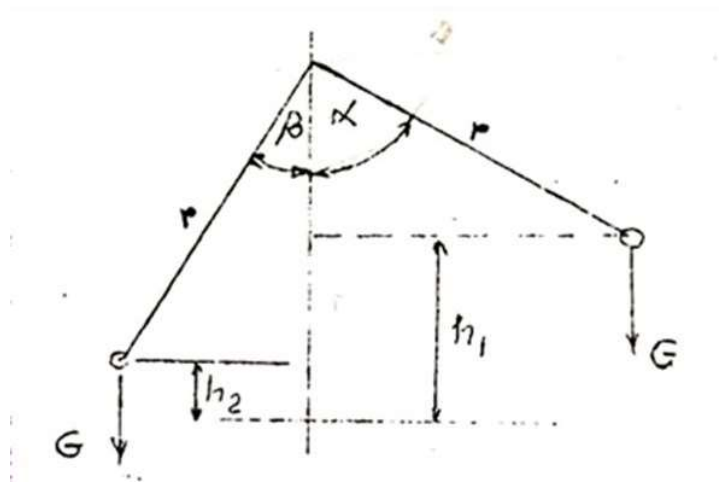




الشكل رقم (8): جهاز اختبار الشد المستخدم

#### 5-6- اختبار الصدم:

تم استخدام جهاز شاربي الموجود في مختبر مقاومة المواد في كلية الهندسة التقنية لقياس مقاومة الصدم للعينات المختبرة، حيث تم استخدام عينات صدم نظامية بأبعاد (10\*55\*10) مم وحز في منتصف العينة على شكل حرف V وبعمق 2 مم [6]. ان عملية القياس تتم كما يلي:



ترفع المطرقة بزاوية ( $\alpha$ ) فيكون ارتفاعها عن النقطة المختبرة ( $h_1$ ) وتكون الطاقة المخزنة فيها ( $G.h$ ). حيث ان  $G$  وزن المطرقة. عندما تترك المطرقة تصدم بالقطعة وتكسر ها مرتفعة بمقدار الارتفاع ( $h_2$ ) بسبب عدم امتصاص إجمالي الطاقة

المختزفة من قبل القطعة .إي ان الطاقة المستخدمة للكسر هي مقدار الفرق بين الطاقة الكامنة التي خزنت بالمطرقة عند رفعها بمقدار (h1) وبين الطاقة المتبقية في المطرقة والتي أدت الى رفعها بمقدار(h2) ، الشكل ( 12-28) يبين زاوية الرفع والسقوط:

$$W = G(h_1 - h_2)$$

ومن الشكل نستطيع حساب الارتفاعات (h2.h1) كما يلي:

$$h_1 = r + r \cdot \sin(\alpha - 90^\circ)$$

$$h_2 = r - r \cdot \cos \beta$$

$$W = G \cdot r (\cos \beta - \cos \alpha)$$

وبالتعويض ينتج :

حيث ان :

w : العمل المبذول في قطعة الاختبار ، ويقاس N.m

R : طول ذراع المطرقة ، ويقاس بـ m .

$\beta$  : الزاوية التي صعدت بها المطرقة بعد الاصطدام (زاوية الصعود) .

$\alpha$  : الزاوية التي رفعت بها المطرقة في البداية ( زاوية السقوط) .

وبعد ذلك يمكن تعيين متانة الصدم ( $\alpha_k$ ) من العلاقة [7] :

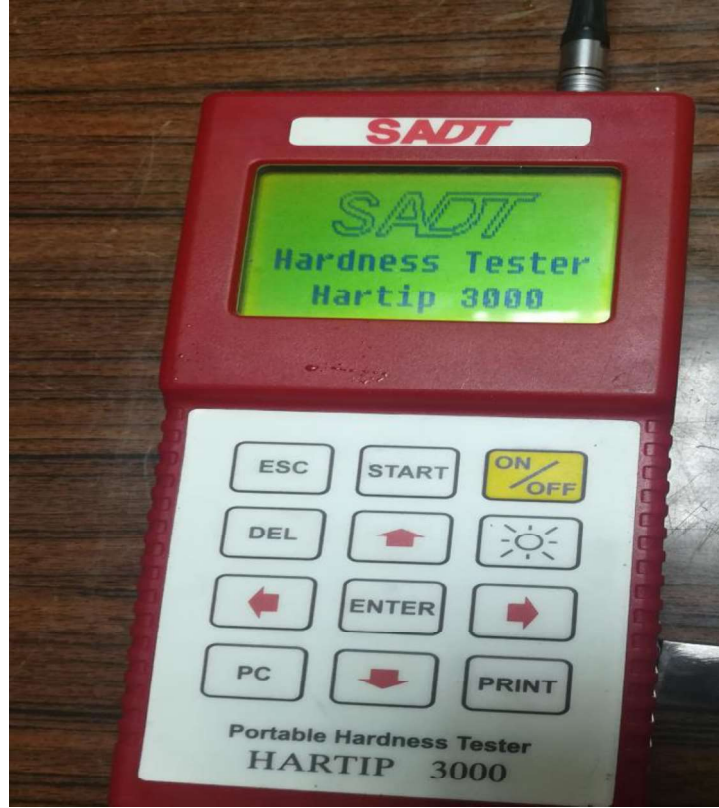
$$\alpha_k = \frac{W}{A_0}$$



الشكل رقم ( 9 ) : يبين جهاز الصدم المستخدم

## 5-7- اختبار القساوة:

في هذا الاختبار تم استخدام جهاز قساوة من نوع SADT وهو جهاز رقمي يدوي الموجود في مخبر مقاومة المواد في كلية الهندسة التقنية يستطيع قياس قساوة برينل. ولقد تم قياس قساوة العينات قبل اللحام وبعد اللحام وبعد المعالجة الحرارية. حيث تم اجراء اختبار القساوة بعد صقل سطح العينات بواسطة آلة الجليخ الموجودة في مخبر مقاومة المواد ثم اخذ القيمة المتوسطة لثلاث قراءات لكل منطقة (منطقة المعدن الاساس – منطقة اللحام – منطقة التأثير الحراري)



الشكل رقم (10): يبين جهاز القساوة المستخدم

## 6- النتائج والمناقشة:

## 6-1- نتائج الاختبارات الاولية:

اجريت اختبارات الشد والصدم والقساوة لعينات حديد الصب المرن قبل البدء بعمليات اللحام والمعالجة الحرارية والجدول (3) يبين نتائج اختبار الخواص الميكانيكية لعينات حديد الصب المرن قبل اللحام.

الجدول رقم (3): يبين نتائج الشد والصدم والقساوة للعينات قبل اللحام

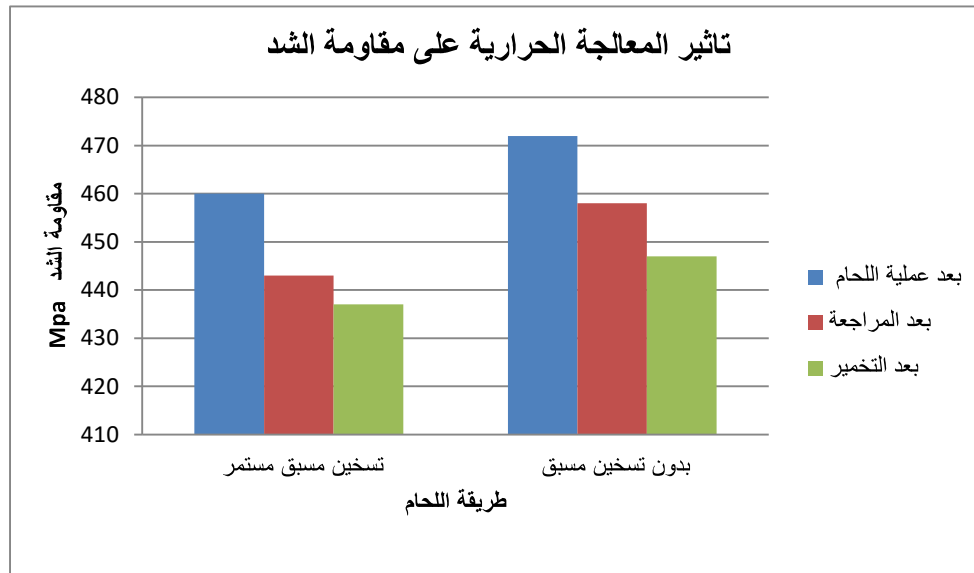
القساوة ( HB )	مقاومة الشد الأعظمية (Mpa)	مقاومة الصدم ( $J/mm^2$ )
192	415	21

## 6-2- نتائج اختبار الشد:

تم اختبار الشد على العينات بعد اللحام وبعد المعالجات الحرارية ولكلا النموذجين من العينات وتوصلنا الى النتائج المبينة في الجدول (4) والممثلة بيانيا في الشكل (11).

الجدول رقم (4): يبين قيم مقاومة الشد بعد اللحم وبعد المعالجة الحرارية

النموذج	بعد اللحم	بعد عملية المراجعة	بعد تخمير التلخص من الاجهادات
	مقاومة الشد (Mpa)	مقاومة الشد (Mpa)	مقاومة الشد (Mpa)
تسخين مسبق لدرجة حرارة 500c	460	443	437
بدون تسخين مسبق	472	458	447



الشكل رقم (11): يبين تأثير المعالجة الحرارية على مقاومة الشد

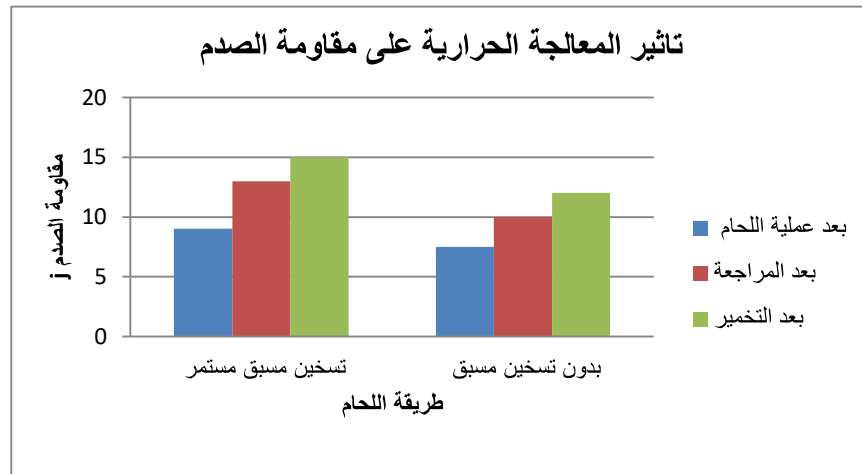
نلاحظ من دراسة المخطط والجدول ان مقاومة الشد للعينات الملحومة مع تسخين مسبق اقل بشكل ملحوظ من مقاومة الشد للعينات الملحومة بدون تسخين مسبق والسبب في ذلك ان التسخين المسبق يؤدي الى انخفاض سرعة التبريد اللاحقة التي تؤمن ارتفاعاً في لدونة الوصل للحامية نتيجة الانخفاض في مقدار الأطوار القصفة المتشكلة نسبياً يتزامن مع انخفاض مقاومة الشد . كما اننا نلاحظ ان عملية المراجعة للعينات على درجة حرارة 400C ادت الى انخفاض في مقاومة الشد لكلا النموذجين ويعود ذلك الى ان تخمير المراجعة على درجة حرارة 400C<sup>0</sup> لمدة ساعة هو تخمير انتشاري يؤدي إلى تعديل طفيف في البنية البلورية للوصلة للحامية [7,8]، ولكن يحدث تحسن في اللدونة على حساب القساوة مما يؤدي إلى انخفاض في قيم مقاومة الشد . ايضا تبين النتائج ان تخمير التلخص من الاجهادات يخفض ايضا من مقاومة الشد لكلا النموذجين ويكون الانخفاض اكبر من حالته بعد عملية المراجعة والسبب في ذلك ان التخمير يؤدي إلى تخفيض الإجهادات التي تنشأ أثناء عملية التبريد اللاحقة، وذلك بعد عملية اللحم مما يؤدي إلى التقليل من قسافة الوصلة للحامية، وكذلك فإن كمية كريات الغرافيت التي تتشكل في الوصلة للحامية تعد كافية لتجنب تشكيل الكريبات الإضافية أو المارتزيت، لذا فإن تخمير تخفيض الإجهادات سيزيل الإجهادات التي تتشكل في أثناء عملية التبريد للمنطقة الملحومة من المعدن ومن ثم نحصل على بنية لدنة نوعا ما ذات مقاومة شد منخفضة [8,9,10].

## 3-6- نتائج اختبار الصدم:

من خلال دراسة المخطط في الشكل ( 12 ) وقيم مقاومة الصدم في الجدول ( 5 ) نلاحظ ان التسخين المسبق المستمر الى درجة حرارة 500c يزيد من مقاومة الصدم لمخومات حديد الصب المرن ويعود ذلك الى ان عملية التسخين المسبق يؤدي إلى تخفيض سرعة التبريد لمنطقة اللحام وللمعدن الأساس مما يؤدي إلى تشكل بنية ميتالورجية لدنة ذات مقاومة أكبر للتمزق[7,8]، مما يقلل كذلك من إمكانية حدوث التمزقات، وكذلك يخفض التسخين المسبق الإجهادات التي تتشكل نتيجة حدوث التقلص بين منطقة اللحام والمعدن الأساس مما يؤدي إلى تحسين خواص ميكانيكية معينة من مثل مقاومة الصدم. كمان اننا نلاحظ ان عملية المراجعة للعينات على درجة حرارة 400c ادت الى زيادة في مقاومة الصدم لجميع العينات وذلك لان تخمير المراجعة يؤدي إلى مراجعة المارتزيت الذي يتشكل في الوصلة اللحامية ومن ثم تخفض القساوة ومقاومة الشد وتزداد مقاومة الصدم كذلك تبين النتائج ان عملية تخمير التلخص من الاجهادات تزيد بشكل ملحوظ من مقاومة الصدم لجميع العينات ويعود السبب في ذلك بأن عملية التخمير هذه تساهم بالدرجة الأولى بإزالة الاجهادات المتراكمة في منطقة التأثير الحراري والتي تعد السبب الرئيسي في انخفاض المتانة للوصلة اللحامية وان عملية التسخين الى درجة حرارة اقل من AC1 والابقاء عند هذه الدرجة فترة من الزمن يسمح بإعادة ذوبان السمنتيت وخروج ذرات الكربون من الفريت المتواجد في منطقة حوض اللحام وبالتالي يساهم في اعادة انتظام شكل الحبيبات وانتظام الهياكل الشبكية للبلورات وهذا ما ينتج عنه تحسن في المتانة ومقاومة الصدم[9,12].

## الجدول رقم (5): يبين نتائج اختبار الصدم

النموذج	بعد اللحام	بعد عملية المراجعة	بعد تخمير التلخص من الاجهادات
	مقاومة الصدم (J/mm <sup>2</sup> )	مقاومة الصدم (J/mm <sup>2</sup> )	مقاومة الصدم (J/mm <sup>2</sup> )
تسخين مسبق لدرجة حرارة 500c	9	13	15
بدون تسخين مسبق	7.5	10	12



الشكل رقم ( 12 ): يبين تأثير المعالجة الحرارية على مقاومة الصدم

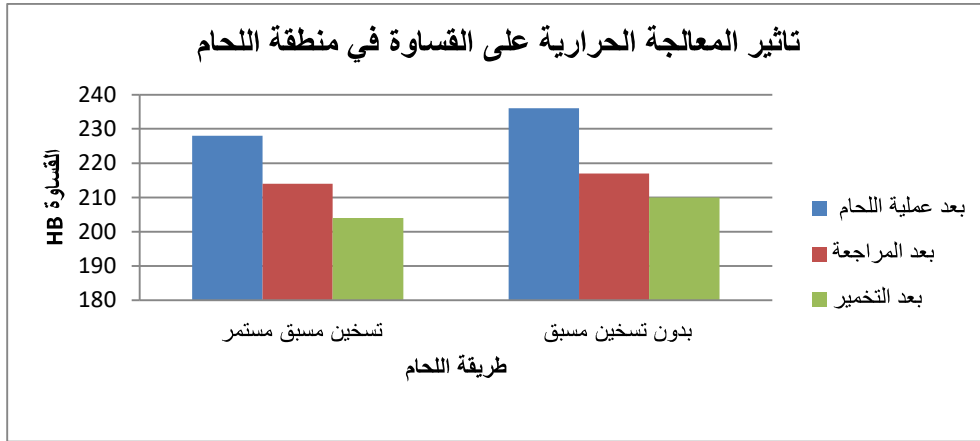
## 4-6- نتائج اختبار القساوة:

تبين نتائج اختبار برينل للقساوة الموضحة في الجدول ( 6) والممثلة ببيانها في الاشكال ( 13 ) و ( 14 ) ان القساوة انخفضت في منطقة اللحم وفي منطقة التأثير الحراري في العينات التي لحمت في حالة التسخين المسبق الى درجة حرارة 500 c عن العينات التي لحمت بشكل مباشر حيث يكمن الدور الذي يلعبه التسخين المسبق في تخفيض سرعة التبريد بمقدار كافٍ عبر مجال درجات حرارة Ms-Mf مما يؤدي إلى التخفيض من تشكل المارتزيت مع المحافظة على درجة حرارة التسخين في أثناء عملية اللحم وتعد عملية التسخين المسبق أكثر ضرورة عندما يكون الجو بارداً. كذلك نلاحظ ان عملية المراجعة تخفض القساوة لجميع العينات والسبب في ذلك انه في أثناء المراجعة يتم تخفيض قساوة المارتزيت حيث ترجع البنية البلورية الغير مستقرة (المارتزيت) التي تشكلت بعد عملية التبريد إلى وضع أكثر استقراراً، حيث يتفكك المارتزيت بواسطة الإنتشار إلى فيريت وكربيدات (السمنتيت). وتكون سرعة التحول صغيرة على درجات الحرارة المنخفضة لأن تحرك الكربون داخل المارتزيت يتطلب درجة حرارة و زمن [9,8]، والبنية الناتجة تصبح مارتزيت مراجع. اما بعد عملية تخمير التخلص من الاجهاد فان القساوة تنخفض اكثر لجميع العينات ويعود السبب في ذلك ان عملية تخمير التخلص من الاجهادت تسمح بإعادة ذوبان السيمنتيت و خروج الكربون من حبيبات الفيريت تسمح بإعادة انتشار الكربون ضمن البنية، ونتيجة عملية التخمير هذه تحدث إعادة تبلور للحبيبات و بالتالي نحصل على بنية برليتيه متجانسة ذات حبيبات ناعمة هذا هو السبب الرئيسي في انخفاض قيم القساوة.

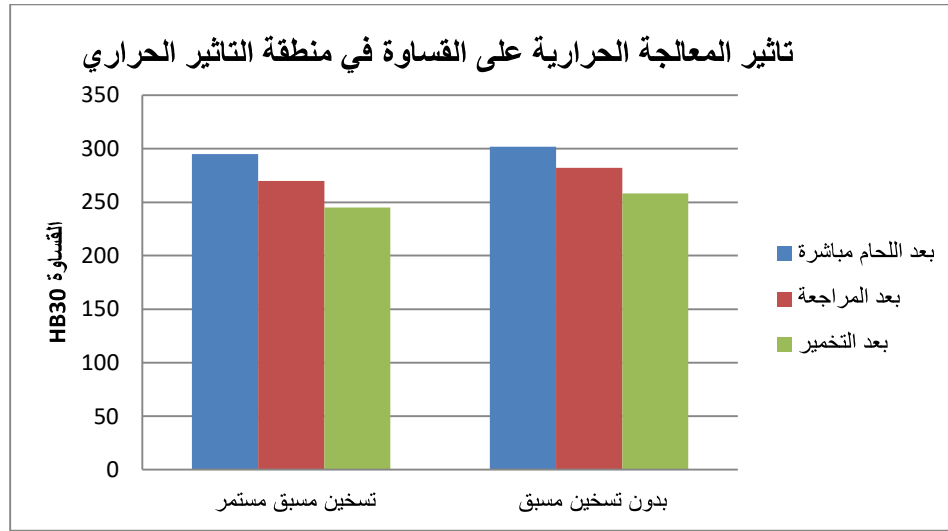
لكن من خلال مقارنة نتائج القساوة في منطقة اللحم ونتائج القساوة في منطقة التأثير الحراري نلاحظ ان الانخفاض في القساوة في منطقة اللحم اكبر منه في منطقة التأثير الحراري والسبب يعود في ذلك الى ذلك إلى انحلال النيكل الموجود في قضبان اللحم في منطقة الإنصهار، والذي يؤدي إلى تخفيض إمكانية تشكل الأطوار القاسية (كربيدات أو مارتزيت) حيث ان معدن النيكل الذي يمتص الكربون محلاً إياه في أرضيته المعدنية [12,11,10].

الجدول رقم (6): يبين نتائج اختبار القساوة بعد اللحم وبعد المعالجة الحرارية في منطقتي اللحم والتأثير الحراري

قيمة القساوة HB			النماذج
منطقة التأثير الحراري	منطقة اللحم	الحالات	
295	228	بعد عملية اللحم	تسخين مسبق
270	214	بعد تخمير المراجعة	لدرجة حرارة
245	204	بعد تخمير التخلص من الإجهادات	500c
302	236	بعد عملية اللحم	بدون تسخين
282	217	بعد تخمير المراجعة	مسبق
258	210	بعد تخمير التخلص من الإجهادات	



الشكل رقم ( 13 ): يبين تأثير المعالجة الحرارية على القساوة في منطقة اللحم



الشكل رقم ( 14 ): يبين تأثير المعالجة الحرارية على القساوة في منطقة التأثير الحراري

#### 7- الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تزداد القساوة ومقاومة الشد وتخفض مقاومة الصدم عند لحم حديد الصب المرن بدون تسخين مسبق.
- 2- اجراء عملية التسخين المسبق الى درجة حرارة 500 C اثناء عملية اللحم يخفض القساوة ومقاومة الشد ويزيد من مقاومة الصدم عن حالة اللحم بدون تسخين مسبق.
- 3- تخفض المراجعة على درجة حرارة 400 C القساوة ومقاومة الشد وتزيد من مقاومة الصدم لمحمومات حديد الصب المرن.
- 4- تتخفض القساوة ومقاومة الشد وتزداد مقاومة الصدم عند اجراء تخمير التخلص من الاجهادات على درجة حرارة 650 C.
- 5- قبل المعالجة الحرارية اللاحقة تشكلت بنية مارتنزيت، إن تشكل هذه البنية يمكن أن يخفض مقاومة الصدم في الوصلة اللحامية، وأعطت المعالجة الحرارية اللاحقة نتائج جيدة في التخلص من تأثير المارتنزيت في منطقة التأثير الحراري مما انعكس على القساوة والخواص الميكانيكية وخصوصاً مقاومة الشد ومقاومة الصدم.

6- نوصى بدراسة اثر المعالجات الحرارية على الوصلات اللحامية لحديد الصب المرن ولكن باستخدام انواع اخرى من الإلكترويدات.

7- نوصى بإجراء دراسة تأثير انواع اخرى من المعالجة الحرارية على الوصلات اللحامية لحديد الصب المرن.

8- نوصى بإجراء دراسة اثر نسبة النيكل في الكترودات اللحام على الخواص الميكانيكية لمعلومات حديد الصب المرن.

#### المراجع:

- 1- د. الاحمد، نوفل : "تكنولوجيا المعادن". كتاب جامعي من مؤلفات جامعة تشرين 2012
- 2 - د. هترة علي ، "المعالجات الحرارية للمعادن " منشورات جامعة تشرين" 1999-2000
- 3- J.Francisco " An Analysis of Weld ability of Ductile Cast Iron using Inconel 625 for the Root Weld and Electrodes Coated in 97,6% Nickel for the Filler Welds", ITM , Universitat politecnica de Valencia Carcel-Carrasco (2016)
- 4- Malej, S.; Medved, J.; Batič, B.Š.; Tehovnik, F.; Godec, M. Microstructural evolution of Inconel 625 during thermal aging. *Metalurgija* 2017
- 5- M. Pouranvari, On the weldability of grey cast iron using nickel based filler metal, *Mater. Des.*, 31(2010),
- 6- M. Pascual, C. Ferrer, and E. Rayón, Weld ability of spheroidal graphite ductile cast iron using Ni/Ni-Fe electrodes, *Rev. Metal.*, (2009),
- 7- S. Panneerselvam, C.J. Martis, S.K. Putatunda, and J.M. Boileau, An investigation on the stability of austenite in Austempered Ductile Cast Iron (ADI), *Mater. Sci. Eng. A*, 626(2015),
- 8- Pouranvari, M. On the Weldability of Grey Cast Iron Using Nickel Based Filler Metal. *Mater. Des.* 2010,
- 9- S. D. Kaiser, P. E. Faws and M. Northey, "Welding Cast Iron, Canadian Welding Journal", Fall (2017),
- 10- R. Kumar, R.K. Behera, S. Sen Effect of tempering temperature and time on strength and hardness of ductile cast iron *Conf Ser Mater Sci Eng*, 75 (2015)
- 11- B. Wang, G. Barber, M. He, X. Sun, M. Shaw, B. Slattery, et al Study of ausferrite transformation kinetics for austempered ductile irons with and without Ni *SAE Tech Pap Ser* 2016
- 12- R.M.; Silva, F.J.; Paiva, O.C.; de Fátima Andrade, M.; Pereira, L.A.; Moselli, P.C.; Papis, K.J." Comparing the Structure and Mechanical Properties of Welds on Ductile Cast Iron (700 MPa) under Different Heat Treatment Conditions". *Metals* 2018