تأثير معدل التبريد على الخواص الميكانيكية للحام الصلب الثنائي الطور.

د. مصطفى احمد رجب
أستاذ مساعد
المعهد التقني -بعقوبة

احمد فالح حسن
مدرس
جامعة ديالى-كلية الهندسة

الخلاصة :

يهدف البحث إلى دراسة قابلية اللحام للصلب الثنائي الطور المنخفض الكاربون المنتج بطريقة التلدين المستمر { تقسية الصلب المنخفض الكاربون (0.10% C) من درجة حرارة (850) مْ لمدة (15) دقيقة } باختلاف معدل التبريد (المحلول الملحي، الماء، الزيت) وزمن التلدين (20,15,10,5) دقيقة.

أوضحت نتائج البحث إن زيادة معدل التبريد يزيد من كمية المارتنزايت، وهذا بدوره يخفض من قابلية اللحام للصلب الثنائي الطور. ولكن نسبة الكربون المنخفضة جعلت من الماء كوسط تقسية مناسب لإنتاج الصلب الثنائي الطور وبقابلية لحام أفضل مما لو كان وسط التقسية المحلول الملحي.

كما أوضحت النتائج إن زيادة زمن التلدين يزيد من نمو جسيمات الأوسيتايت المتكون ولا يزيد من كميته، حيث عندما يكون زمن التلدين أكثر من (10) دقائق فأن التركيب هو عبارة عن فرايت مضلع – مارتنزايت ولكن عندما يكون الزمن (10) دقائق أو اقل فأن التركيب يكون عبارة عن فرايت مضلع – بيرلايت مع كمية قليلة من المارتنزايت. أما قابلية اللحام فهي تعتمد على كمية طور المارتنزايت وتجانس توزيعه ضمن أرضية المعدن الأساس.

Abstract

The results of this research work showed that the increase of the cooling rate will increase the amount of martensite that will reduce the weldability of the dual phase steel. The low percentage carbon enables water to be as a suitable quenching medium for production of the dual phase steel of better weldability than the quenching medium of a salt solution

The results also showed that the increased annealing time causes growth of the austenite grain size without affecting its amount. Annealing for a period of more than 10 minutes produces a structure of polygonized ferrite-martensite, while annealing for 10 minutes or less the structure will be polygonized ferrite – pearlaite with small amount of martensite. Bearing in mind that the weldability depends on the amount of the martensite phase its distribution within matrix.

Introduction المقدمـة

تعرف قابلية اللحام بقابلية المعادن إلى الأنصهار بتأثير الحرارة ثم إنجمادها لربط جزئين متشابهين أو مختلفين، وتكتسب منطقة اللحام أهمية خاصة، لذا يجب أن تكون في حالة استقرار لفترات زمنية طويلة تحت ظروف التشغيل المعقدة، كأرتفاع درجات الحرارة، الضغوط، التعرض إلى الاجهادات العالية المتعيرة باستمرار أو ظروف تأكلية حيث إن تلك الظروف قد تؤدي إلى تدهور المعدن أو اللحام، أو المنطقة الإنتقالية بين اللحام والمعدن الأساس [1،2].

إن الصلب المتضمن على نسبة كاربون عالية يعني احتمال توليد المارتنزايت الهش المصحوب بتكوين التشققات في البنية وارتفاع الصلادة في المنطقة المتأثرة بالحرارة، لذا فهو يعد غير قابل للحام حيث يعتبر الكاربون العنصر الأساسي لزيادة الصلادة وقوة الشد ويصاحب ذلك نقصان في اللدونة ومقاومة الصدمة مع صعوبة في قابلية اللحام [2 ،3].

إن قابلية المعادن والسبائك للحام مع بعضها يعني أنتاج وصلة لحام خالية من العيوب، من خلال تحقيق مواصفات ميكانيكية مناسبة للتطبيقات الهندسية متمثلة بـــ:-

- ❖ مقاومة الشد والخضوع لإعطاء مقاومة ضد الاحمال الخارجية.
- ❖ الصلادة لإعطاء مقاومة السوفان.
- ❖ الاستطالة لإغراض المرونة وتحمل الصدمات [4].

يتضمن التركيب الأساسي للصلب الثنائي الطور على طورين هما الفرايت والمارتنزايت، حيث أن سبب صلادة هذا الصلب يرجع إلى طور المارتنزايت المتاصل في طور الفرايت المسؤول عن المطيلية، لذا يمتاز هذا الصلب بمقاومة وقابلية تشكيل جيدة يتيح أمكانية استخدامه في أنتاج أجزاء السيارات ذات الأشكال المعقدة [5 , 6] .

إن استقرارية الاوستيتايت المتبقي تعطي زيادة في المطليلية دون تأثير على مقاومة الشد فعندما يكون حجم الحبيبات كبير بحدود (2-6) مايكرون فأنها تكون غير مستقرة وتتحول بسرعة عند تشوهات صغيرة إلى مارتنزايت, أما الدقائق الصغيرة فأنها تقاوم التحول، وتزداد مقاومة الصلب الثنائي الطور مع زيادة كمية الاوستينايت المتبقي بسبب تحول الاوستيتايت إلى مارتنزايت وتزداد أيضا الاستطالة المتجانسة عندما تكون كمية الاوستيتايت المتبقي أكثر من (10%)[7].

إن أهم خاصية للصلب الثنائي الطور هي الخضوع المستمر وإن نقطة الخضوع للصلب الثنائي الطور تكون واطئة لأن الكسر الحجمي للمارتنزايت (Volume Fraction of Martensite) يولد عدد كبير من الانخلاعات المتحركة في طور الفرايت وهي لا تحتاج إلى اجهادات عالية خلال عمليات التشكيل لهذا يكون منحني الإجهاد- الانفعال للصلب مستمر وأكثر تسطحا ولا تظهر فيه نقطة الخضوع [8] وعندما يزداد الكسر الحجمي للمارتنزايت تزداد كثافة الانخلاعات في طور الفرايت وبالتالي تزداد مقاومة الصلب الثنائي الطور[10,9].

الإجراءات العملية Experimental procedures:

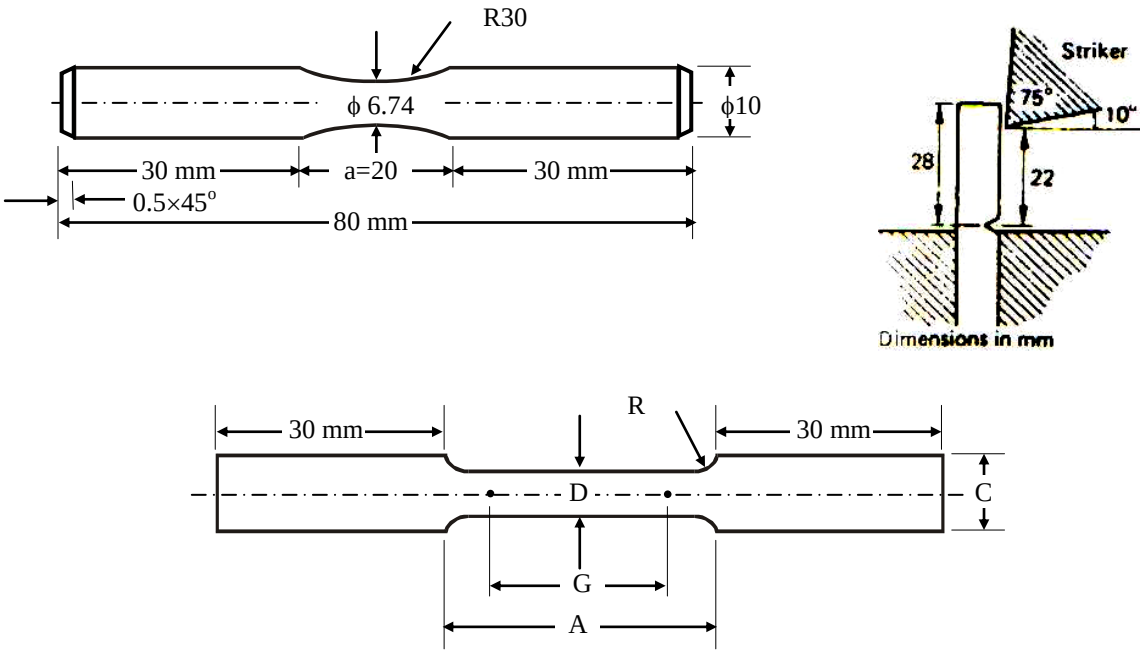
أستخدم الصلب المنخفض الكاربون c% التجاري والتركيب الكيمياوي له موضح بالجدول (1)

جدول (1) : يوضح التركيب الكيمياوي للصلب المستخدم في البحث

العنصر	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Fe
النسبة %	0.1	0.123	0.35	0.07	0.046	0.07	0.007	0.71	0.57	0.02	Rem

تم إجراء المعاملة الحرارية في فرن كهربائي متوسط الحجم من نوع ESFI-PID من شركة Carbolite بحيث إن أعلى درجة حرارية يصل إليها الفرن هي (1200) مْ، حيث يتم ضبط الفرن على درجة (850) مْ وعندما يصل إلى تلك الدرجة ينتظر نصف ساعة لغرض استقرار القراءة , ثم توضع العينات داخل الفرن لزمن مقداره (15) دقيقة لغرض تجانس توزيع الحرارة على العينات ثم التقسية بالزيت، أو الماء، أو المحلول الملحي. بعد ذلك تم دراسة تأثير زمن التلدين (20,15,10,5) دقيقة على السلوك الميتالورجي للصلب الثنائي الطور، حيث تم تسخين العينات إلى درجة (850)مْ وبأزمان تلدين مختلفة (20,15,10,5)دقيقة، حيث بينت النتائج إن الزمن (15) دقيقة أعطى أفضل تركيب وسلوك ميكانيكي للصلب الثنائي الطور في تجانس الحرارة على سطح العينة داخل الفرن كما موضح بالشكل (1).

وقد أظهرت نتائج الفحص المجهري (شكل1) العينات لمعرفة الأطوار الناتجة عن معدلات التبريد المختلفة إذ أنه بالإمكان الحصول على الصلب الثنائي الطور عند التقسية بالماء أو المحلول الملحي، حيث كانت النتائج عبارة عن أرضية من طور الفرايت تنتشر بداخله بقع أو جزر من طور المارتنزايت الصلد. أما الكسر الحجمي للمارتنزايت الناتج عن التقسية بالمحلول الملحي فقد كان أكثر مما هو عليه عند التقسية بالماء فقط، وقد تم حساب الكسر الحجمي بطريقة العد النقطي (Counting Point) لصور العينات الفوتوغرافية. في حين إن العينات التي تم تبريدها بالزيت لم تظهر أي وجود لطور المارتنزايت. تم تحضير الصلب الثنائي الطور,في حين يوضح الشكل (2) البنية المجهرية لمناطق اللحام. اما الشكل (3) فيوضح البنية المجهرية لمناطق اللحام باتجاه السمك و السطح. ثم تحضير عينات الشد القياسية , ثم قطع تلك العينات من المنتصف لغرض لحامها تناكبيا بالقوس الكهربائي باستخدام إلكترود مغطى بقطر (3) ملم عراقي الصنع, والتيار المستخدم هو (60) أمبير, والجهد (230) فولت. والجدير بالذكر هنا إن سرعة عملية اللحام لم يتم السيطرة عليها بشكل دقيق لآن عملية اللحام كانت يدوية وليست آلية ,التي تؤثر على عدم تساوي كمية الحرارة الداخلة على طول خط اللحام، وللحد من هذه المشكلة فقد أجريت عمليات لحام أولية عديدة على نفايات (Scraps) قطع أخرى قبل البدء بلحام أي قطعة وذلك لغرض السيطرة على سرعة اللحام حيث تم لحام قطع الصلب باختلاف زمن التلدين ومعدل التبريد. وعند الانتهاء من عمليات اللحام أجريت الفحوصات الميكانيكية المتمثلة بالشد والصلادة لوصلة اللحام، حيث أجري الأول على جهاز اختبار الشد (Insertion 1195) بقدرة (10) طن وبمعدل انفعال ($6.67*10^{-3}$) ثا$^{-1}$.حيث يوضح الجدول (2) الخصائص الميكانيكية للصلب الثنائي الطور باختلاف معدل التبريد وزمن التلدين. في حين يوضح الشكل (2) التركيب العياني لمنطقة اللحام والمناطق المجاورة لها سواء باتجاه السمك أو باتجاه السطح بعد ذلك يتم قياس الصلادة بطريقة فيكرز وبمعدل (10) قراءات اشتملت على منطقة اللحام ومنطقة التأثير الحراري (Heat Effective Zone) (HAZ) المحيطة بها لكل عينة من العينات.



شكل (1) يوضح أبعاد عينات الشد المستخدمة في البحث .

النتائج والمناقشة : Results & discussions

1. التركيب الدقيق Microstructure

إن البنية الدقيقة للمعدن الأساس كان مختلفا عن العينات التي أجريت لها معاملة حرارية , حيث إن التركيب الدقيق للصلب المنخفض الكاربون (0.1 %c) عبارة عن أرضية من طور الفرايت الفاتح اللون تنتشر بداخله بقع صغيرة (غامقة اللون) من طور السيمنتايت (Fe_3C) بالإضافة إلى جسيمات قليلة من البيرلايت على الحدود البلورية. أما التركيب الدقيق للصلب الثنائي الطور فهو بشكل عام عبارة عن أرضية من طور الفرايت تنتشر بداخله بقع من طور المارتنزايت الصلد، وقد أظهر معدل التبريد السريع سواء بالماء أو المحلول الملحي تركيب الصلب الثنائي الطور، بحيث كان مقدار الكسر الحجمي للمارتنزايت عند التقسية بالمحلول الملحي أكثر وعلى هيئة جزر متشعبة ودقيقة، أما عند التبريد بالزيت فلم يعطي التركيب طور المارتنزايت بسبب نسبة الكاربون المنخفضة, إنما أعطى نموا في حبيبة الفرايت بالإضافة إلى وجود كاربيدات الحديد (السيمنتايت) على شكل خطوط على الحدود البلورية أما البيرلايت فيظهر على شكل جزركبيرة عند مناطق التقاء حبيبات الفرايت. في حين عند التقسية بالماء فأن التركيب الدقيق عبارة عن فرايت مع طور المارتنزايت ولكن بنسب متفاوتة بسبب اختلاف معدل التبريد حيث تظهر مكونات الطور الثاني (المارتنزايت) على هيئة جزر متشعبة متوزعة بصورة غير متجانسة في اساس الفرايت، بينما عند التقسية بالمحلول الملحي فالتركيب الناتج عبارة عن مارتنزايت أبري منتشر بصورة متشعبة في أرضية المعدن، حيث إن حجم المارتنزايت في هذه الحالة يكون أقل وتوزيعه يظهر بصورة متجانسة أكثر.

أما تأثير زمن التلدين فأنه يؤدي الى نمو نويات الاوستينايت المتكون ولا يزيد من كميته، حيث عند التقسية إلى درجة حرارة الغرفة فأن الاوسنينايت لا يتحول بصورة كاملة إلى مارتنزايت بل يتخلف جزء غير متحول على هيئة اوستينايت متبقي. وقد وجد بأن التلدين الحرج بواسطة التقسية بالماء ينتج فرايت مضلع- مارتترايت عندما يكون زمن التلدين أكثر من (10) دقائق، وعندما يكون الزمن (10) دقائق أو اقل فالتركيب الناتج يكون عبارة عن فرايت مضلع- بيرلايت مع كمية قليلة من المارتنزايت. لذا فأن حجم حبيبة الفرايت في معظم العينات (بأختلاف زمن التلدين) يكون متغير، لأن زمن التلدين غير ثابت، وهذا يبين تأثير الحجم الحبيبي للفرايت بزمن التلدين إذ أنه مع زيادة زمن التلدين يزداد نمو

الحبيبات لكن التأثير الأكبر لزمن التلدين يكون في تجانس التركيب الدقيق من خلال توزيع جسيمات المارتنزايت في أرضية الفرايت.

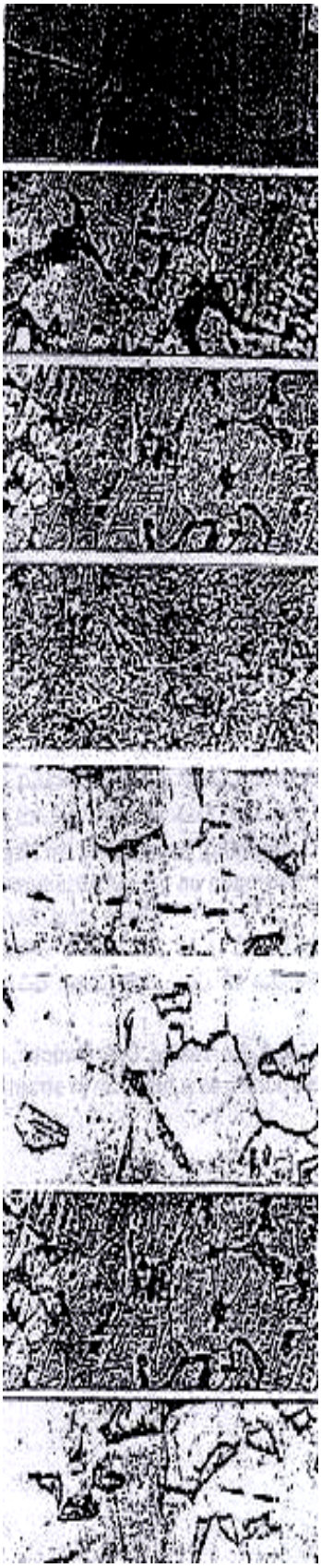
2. قابلية اللحام Weldablility

اللحامية هي عبارة عن قابلية المعادن وسبائكها على الأنصهار بتأثير الحرارة ثم إنجمادها لربط جزئين متشابهين أو مختلفين، بحيث يجب أن تكون وصلة اللحام في حالة مستقرة ولفترات زمنية طويلة تحت ظروف التشغيل الصعبة. لذا فأن الغاية من قابلية المعادن والسبائك للحام مع بعضها هو أنتاج وصلة لحام خالية من العيوب وبالأخص الشقوق (Cracks) بالإضافة إلى تحقيق مواصفات ميكانيكية وكيمياوية مناسبة للتطبيقات الهندسية, وتتضمن المواصفات الميكانيكية كل من مقاومة الشد (لغرض المقاومة وتحمل الاجهادات الخارجية)، الصلادة (لأعطاء مقاومة السوفان)، الاستطالة (لإغراض المرونة وتحمل الصدمات). لذا كانت الاختبارات للوصلات الملحومة على أساس احتبار الشد والصلادة والمتانة، ولكي نضمن اختبار مقاومة الشد للوصلة الملحومة (دون منطقة التأثير الحراري HAZ والمعدن الأساس),حيث تم عمل حز بزاوية (45ْ) وبعمق (3) ملم وبنصف قطر لجذر الحز مقداره (0.1) ملم في منطقة اللحام لضمان حصول الفشل في تلك المنطقة.

أوضحت النتائج زيادة مقاومة الشد مع زيادة معدل التبريد بسبب زيادة الكسر الحجمي للطور الصلد (المارتنزايت) في أرضية الفرايت، لأن مقاومة المارتنزايت أعلى من طوري الفرايت والبيرلايت بالإضافة إلى نقصان الحجم الحبيبي لجسيمات المارتنزايت أدت إلى زيادة قوى التماسك فيما بينها أو مع جسيمات طور الفرايت. وبما أن التشوية اللدن يحدث بواسطة حركة الانخلاعات، لذا فأنه عند تنعيم الحبيبات تزداد الحدود الحبيبة التي تتجمع عندها الانخلاعات مسببة إعاقة لحركة الانخلاغات عند انتقالها من حبيبة إلى أخرى. وكذلك الحال بالنسبة لخاصية الصلادة حيث تزداد مع زيادة معدل التبريد في حين انخفضت مقاومة الصدم مع زيادة معدل التبريد، حيث أعطت النتائج أقل قيمة لخاصية المتانة عند التبريد بالمحلول الملحي. أما أفضل قابلية لحام باختلاف معدل التبريد لعينات الصلب الثنائي الطور المستخدمة في البحث فقد كانت للعينات التي تم تقسيمها بالماء لأنها أعطت سلوك الصلب الثنائي الطور بنسبة الكاربون المنخفضة تلك، كما وأن هذه الحالة أعطت أفضل متانة (Toughness) للصلب مع مقاومة وصلادة جيدة، أما بالنسبة للعينات التي تم تقسيتها بالمحلول الملحي فهي الأخرى أعطت سلوك الصلب الثنائي الطور بمقاومة وصلادة عالية ولكن بمتانة منخفضة كما توضحه نتائج الجدول (2) في حين لم تعطي العينات التي تم تقسيتها بالزيت سلوك الصلب الثنائي الطور رغم أنها أعطت متانة. بينت النتائج أيضا إن أفضل قابلية لحام للصلب الثنائي الطور من حيث المقاومة والصلادة والمتانة باختلاف زمن التلدين كانت عند زمن تلدين (15) دقيقة من حيث مقدار الكسر الحجمي للمارتنزايت وتوزيعه المتجانس في أرضية طور الفرايت بالإضافة إلى الحجم الحبيبي لمكونات الصلب حيث إن الزيادة في زمن التلدين أعطت حجم حبيبي أكثر مما اضعف من الخصائص الميكانيكية للصلب. في حين إن نقصان زمن التلدين لم يعط لوقت الكافي لتكون طور المارتنزايت وبالتالي لم يعطي أي سلوك للصلب الثنائي الطور.

جدول (2) الخصائص الميكانيكية للصلب الثنائي الطور باختلاف معدل التبريد وزمن التلدين

معدل التبريد	زمن التلدين (Minute)	الكسر الحجمي للمارتنزايت%	مقاومة الشد (Mpa)	الصلادة Kgf/mm^2	المتانة (Joule)
الزيت	15	-	177	131.6	6
الماء	15	15.2	194.6	141.3	7.2
المحلول الملحي	15	18.8	200	157	6.7
الماء	5	-	-	-	-
=	10	-	-	-	-
=	15	15.2	194.6	141.3	7.2
=	20	15.4	182.3	137	6.6



شكل (1-a) البنية المجهرية للصلب المنخفض الكربون المستلم, قبل المعاملة.

. شكل (1-b) البنية المجهرية للصلب الملدن بدرجة (850)م° في (15) دقيقة, عند التبريد بالزيت.

شكل (1-c) البنية المجهرية للصلب الملدن بدرجة (850)م° في (15) دقيقة, عند التبريد بالماء.

شكل (1-d) البنية المجهرية للصلب الملدن بدرجة (850)م° في (15) دقيقة, عند التبريد بالمحلول الملحي.

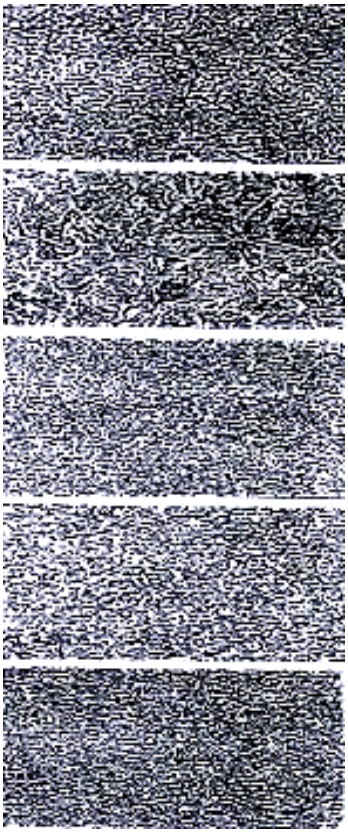
شكل (1-e) البنية المجهرية للصلب الملدن بدرجة (850)م° في (5) دقائق, عند التبريد بالماء.

شكل (1-f) البنية المجهرية للصلب الملدن بدرجة (850)م° في (10) دقائق, عند التبريد بالماء.

شكل (1-g) البنية المجهرية للصلب الملدن بدرجة (850)م° في (15) دقيقة, عند التبريد بالماء.

شكل (1-h) البنية المجهرية للصلب الملدن بدرجة (850)م° في (20) دقيقة, عند التبريد بالماء.

شكل (1) البنية المجهرية للصلب قبل وبعد المعاملة الحرارية باختلاف معدل التبر يد و زمن التلدين.



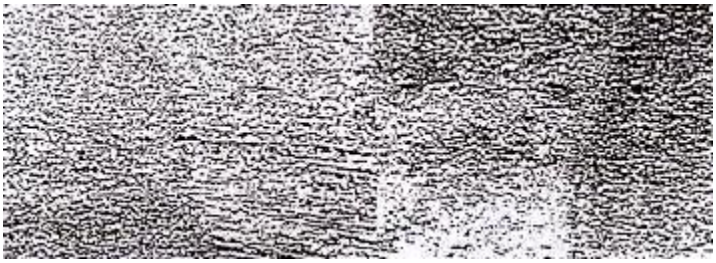
شكل (2-b) البنية المجهرية لمنطقة النمو البلوري.

شكل (2-c) البنية المجهرية لمنطقة المعادلة.

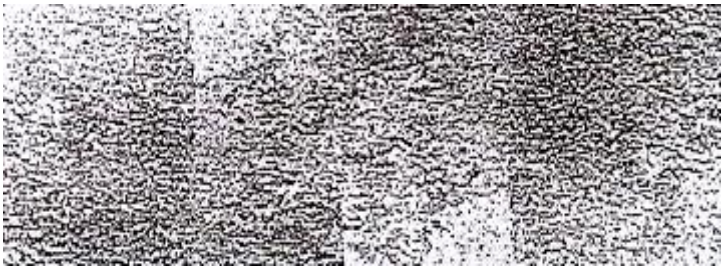
شكل (2-d) البنية المجهرية لمنطقة إعادة التبلور.

شكل (2-e) البنية المجهرية لمنطقة المعدن الأساس.

شكل (2) البنية المجهرية لمناطق اللحام.



شكل (3-a) البنية المجهرية لمناطق اللحام باتجاه السمك .



شكل (3-b) البنية المجهرية لمناطق اللحام باتجاه السطح.

شكل (3) البنية المجهرية لمناطق اللحام باتجاه السمك و السطح.

الاستنتاجات Conclusion:

1. تزداد كثافة الكسر الحجمي للمارتنزايت وتزداد أيضا نعومة جسيماته مع زيادة معدل التبريد لذا أعطى معدل التبريد بالمحلول الملحي أعلى مقاومة وصلادة على حساب المتانة، في حين أعطى معدل التبريد بالماء أفضل قابلية لحام للصلب الثنائي الطور من حيث المقاومة، الصلادة، والمتانة.
2. عند زمن تلدين (10) دقائق أو أقل فأن تركيب الصلب عبارة عن فرايت مضلع- مارتنزايت- بيرلايت، أما إذا كان زمن التلدين أكثر من (10) دقائق فأن التركيب عبارة عن فرايت مضلع-مارتنزايت، ولكن زيادته بشكل كبير يزيد من نمو جسيمات الاوستينايت المتكونة ولا يزيد من كميتها وبالتالي فأن جسيمات المارتنزايت المتكونة بعد التقسية تكون كبيرة مما يزيد من هشاشية هذا الطور، لذا فأن أفضل قابلية لحام للصلب الثنائي الطور كانت عند زمن تلدين (15) دقيقة.

References : المصــادر

1. A.K.Jeba and M.C.Chaturrdi, 1988,(On the effect of the volume. Fraction of Martensite on the Tensile), strength of dual- phase steel, Materials Science and engineering, March 31,pp.1-6.
2. مصطفى أحمد رجب، 1996، (قابلية اللحام بطريقتي الليزر والقوس الكهربائي باختلاف تيار اللحام للصلب الثنائي الطور) مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد(15) العدد (10) ص34.
3. مصطفى أحمد رجب، 1997،((Study of the effect of laser treatment and double quenching on the stress corrosion cracking of dual-phase steel)) موثق في مجلة الهندسة والتكنولوجيا، ش في 1997/10/11.
4. Huang- Chen, Gwo- Hwa cheng, 1989, (Effect of Martensite strength on the tensile strength of dual- phase steel), Journal of Materials Science 24,pp.1991-1994.
5. مصطفى أحمد رجب، 1997،(تأثير العناصر السبائكية Si,Mo,Mn على السلوك الميكانيكي للصلب الثنائي الطور باختلاف كل من معدل التبريد ودرجة حرارة التلدين) مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد (15) العدد (7) ص16.
6. C.A.N Lanzillotto and F.B. Pickering,1989, (structure- property relationships in dual phase steels), Metals science, Vol-16, August, p371.
7. مصطفى أحمد رجب، 1995، (تأثير التقسية المضاعفة على السلوك الميكانيكي للصلب الثنائي الطور قبل وبعد المراجعة الحرارية) , مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 14،العدد7، ص 9.
8. Shuming San, Lialing Gn Naping Chen, 1989 ((the Influence of hydrogen on the substructure of the martensite and ferrite dual-phase steel)), Scripts Metallurgical, Vol.23 pp.1735.
9. د. مصطفى أحمد رجب،2000، ((الخصائص الميكانيكية للصلب الثنائي الطور باختلاف الكسر الحجمي للمارتنزايت قبل وبعد المراجعة الحرايرة، مجلة المهندس الأردني، العدد 68 السنة 35 شباط ،عمان الأردن، ص116.
10. D.A. Korzekwa, D.K. Matlock, and G. Krauss, 1984, (Dislocation substructure as a function of strain in a dual-phase steel, Met. Trans, Vol.15A June, pp.121.