تأثير السرعة والتيار على عيوب اللحام للفولاذ منخفض الكاربون باستخدام اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل

امجد رعد جاسم

جامعة الفرات الاوسط التقنية–المعهد التقني نجف– قسم تقنيات الطيران

inj.amj@atu.edu.iq

نسرين داخل فهد

جامعة الكوفة– كلية الهندسة –قسم هندسة المواد

nasreend.aboghnim@uokufa.edu.iq

مروة محمد عبد الرضا

جامعة الكوفة– كلية الهندسة – قسم هندسة المواد

marwam.alkhafaji@uokufa.edu.iq

الخلاصة

تحكم عملية اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل العديد من المتغيرات هي (التيار، الفولتية، السرعة ومعدل الحرارة). يهدف البحث الحالي الى دراسة متغيرين من متغيرات عملية اللحام المعدني بالغاز الخامل (السرعة و التيار) وتأثيرهما على عيوب اللحام وذلك عن طريق تغيير احد المتغيرين وتثبيت بقية المتغيرات ومن ثم اجراء الفحوصات التي تضمنت الاختبار البصري، اختبار السائل النفاذ واختبار المجهر الضوئي).اجريت عملية اللحام بالغاز الخامل ضمن تيار يتراوح بين (٢٦٠–٢٦٦–٢٧٢) امبير وسرعة تغذية (١١٠–١١٥–١٢٠)انج/ دقيقة. اظهرت النتائج للفحص البصري ظهور عيوب مثل (التراكب، والشرارة، عدم اكتمال منطقة اللحام وعدم التجانس) والتي تعود الى عدم التوافق بين التيار وسرعة التغذية وكانت افضل النتائج و اقل العيوب ضمن تيار ٢٧٢ امبير وسرعة ١١٥ انج/ دقيقة. اما فحص السائل النفاذ فقد اظهر بعض الشقوق الناتجة من فرق درجة الحرارة بين المعدن الاساس ومنطقة اللحام .بينما بين الفحص المجهري تأثير التيار على الحرارة وبالتالي البنية المجهرية.

الكلمات المفتاحية: اللحام المعدني بالغاز الخامل، فولاذ منخفض الكاربون،عيوب اللحام

Effect of Speed and Current on Welding Defect for Low Carbon Steel Using Metal Inert Gas (MIG) Welding

Abstract

Metal inert gas welding process is usually controlled by many variables. The research aims to study two of these variables (speed and current) on welding defects by changing one and fixing the others then doing the tests, which have included visual test, the fluid penetration test and optical microscope. The process of inert gas welding was done within a current ranging from (٢٦٠-٢٦٦-٢٧٢) A and feeding speed (110-115-120) in/min. The results of the visual inspection showed defects such as overlap, spark, incomplete welding area and lack of homogeneity due to incompatibilities between current and feeding speed. The best results with lowest defects were within current 272 A and speed 115 in/min. The examination of the liquid penetrating showed some cracks resulting from the temperature difference, while the microscopic examination showed the effect of current on the heat of welding area and thus the microscopic structure of the samples.

Keyword: Metal inert gas welding (MIG), low carbon steel, welding defects

١. لمقدمة

اللحام هومن اهم عمليات ربط المواد المتشابه او المختلفة حيث يتم وصل قطعتين او اكثر عند السطوح المتلامسة بتسليط حرارة و(او) ضغط مناسبين.تمتاز عملية اللحام بكونها عملية اقتصادية وسريعة اذا ما قورنت بعملية السباكة والربط بالبرشام. هنالك العديد من عمليات اللحام ولكل طريقة مميزاتها من هذه الطرق :اللحام بالقوس الكهربائي، اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل، اللحام بقوس التنكستن والغاز الخامل،عمليات لحام المقاومة الكهربائية ،لحام الشعلة الاوكسيستلينية، اللحام بالاحتكاك واللحام بالليزر. ان من بين اكثر عمليات اللحام شيوعا هما عملية اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل وعملية اللحام بقوس التنكستن والغاز الخامل (Groover,2010; Abbasi *et al*.,2012). لتسهيل عملية الارتباط بين الاجزاء المراد لحامها في العديد من انواع اللحام يتم اضافة مادة الحشو (Filler Material) ان لمادة الحشوة فوائد عديدة تبعا لنوعها ونوع عملية اللحام فقد تستخدم للحماية من المؤكسدات او لتسهيل عملية الصهر والارتباط. عملية اللحام في الغالب تكون مرتبطة بالأجزاء المعدنية لكن تستخدم العملية ايضا لربط الاجزاء البلاستيكية (plastic) (Sindo,2003).

احدى اكثر طرق اللحام الانصهاري شيوعا وهي طريقة اللحام بالقوس الكهربائي المحمي بالغاز الخامل (MIG) metal inert gas وذلك لسهولة تطبيقها في مدى واسع على المعادن الحديدية واللاحديدية، وتمتاز هذه الطريقة بما يلي: (Sheikh and Vishal,2014).

١. أمكانية أجرائها بصورة اوتوماتيكية جزئياً او كلياً.
٢. المعدل العالي للمعدن المترسب.
٣. استخدام نفس المتطلبات عند لحام المعادن المختلفة.
٤. عدم الحاجة الى خبرة او مهارة عالية للقيام بالعملية.

تتولد الحرارة اللازمة للصهر من القوس الناتج من تلامس سلك اللحام مع قطعة العمل وتتوقف كميتها على كل من التيار والفولتية وسرعة اللحام ويضخ غاز خامل مثل الهليوم او الآركون، حيث يعمل الغاز على عزل منطقة اللحام عن المحيط الخارجي، وكذلك يعطي أستقرارية للقوس الكهربائي المتولد. في هذه العملية يستخدم سلك مستهلك مستمر او قطب معدني بقطر (0.8–2.4) ملفوف على بكرة يتم تغذيته بالسرعة المطلوبة عن طريق مسدس اللحام، وأنها تلتقط التيار الكهربائي من أنبوب الاتصال النحاسي الذي يرتبط بمصدر الطاقة DC كهربائياً. هذ النوع من اللحام يستخدم لزيادة الانتاجية والثبوتية لنوعية اللحام (Kishore,2010; Khaled,2009).

تعد متغيرات اللحام من اهم العوامل التي تؤثر على جودة وانتاجية وكلفة القطع الملحومة (Kishore,2010). من اهم المتغيرات التي تؤثر على عملية اللحام من حيث دقة وجودة منطقة اللحام وشكل وعمق منطقة اللحام والخواص الميكانيكية للمنطقة الملحومة هي(التيار، السرعة، الفولتية، الحرارة) . (Ghazvinloo *et al*.,2010)

في دراسة للحام سبائك الالمنيوم بطريقة اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل بين البحث ان بزيادة الحرارة الداخلة في اللحام سوف يقل عمر الكلال بينما تزداد مقاومة الصدمة في البداية ثم تتناقص بصورة

واضحة كما وضح زيادة عمق منطقة اللحام مع زيادة التيار والفولتية (Ghazvinloo *et al.*,2010).في دراسة اجريت من قبل (Sheikh and Vishal,2014) تهدف لبيان تأثير متغيرات اللحام على قابلية اللحام للفولاذ المغلون بينت ان زيادة سرعة اللحام بثبوت التيار والفولتية تؤدي الى زيادة تغلغل منطقة اللحام لحين الحصول على افضل سرعة التي بعدها يقل التغلغل. في دراسة اخرى لتأثير متغيرات اللحام على عمق منطقة اللحام ومعامل شكل منطقة اللحام بين ان عمق منطقة اللحام يزداد بزيادة السرعة وصولا الى السرعة المثلى التي بعدها يبدا التغلغل بالتناقص كما وبين ان بزيادة الحرارة يزداد عمق منطقة اللحام وصولا الى الحرارة المثلى التي اعلى منها يبدا التغلغل بالتناقص وكذلك معامل الشكل (Abbasi *et al.*,2012) .

على الرغم من دراسة تأثير متغيرات اللحام في بحوث عديدة للحصول على المتغيرات الامثل الا انه على مدى العقود الأربعة الماضية، عملية التصنيع في جميع أنحاء العالم تواجه منافسة شديدة في الأسواق على الإنتاج الفعال من حيث التكلفة والمنتجات ذات الجودة العالية. وقد أدى هذا إلى التقدم في التكنولوجيا المطلوبة لأتمتة الإنتاج والعمليات، ولكن المشاكل في السيطرة ومراقبة الجودة لم تحل بعد. وبسبب هذه الثغرات في هذه الصناعة، هناك تنشأ ضرورة البحث الفعال في السيطرة ومراقبة الجودة (Senthil *et al.*,2012).

٢. الجزء العملي

٢,١ المواد المستخدمة في الدراسة

استخدمت صفائح من الفولاذ منخفض الكاربون بأبعاد (١٠٠*٨٠*٣ مم) بتركيب كيميائي موضح في جدول رقم (١).

جدول رقم (١) يوضح التركيب الكيمياوي للفولاذ منخفض الكاربون المستخدم

المعدن	التركيب الكيمياوي(%)				
	كاربون	حديد	منغنيز	فسفور	كبريت
فولاذ منخفض الكاربون	٠،٢٣٠	Rem	٠،٢٥	٠،٠٤٠	٠،٠١

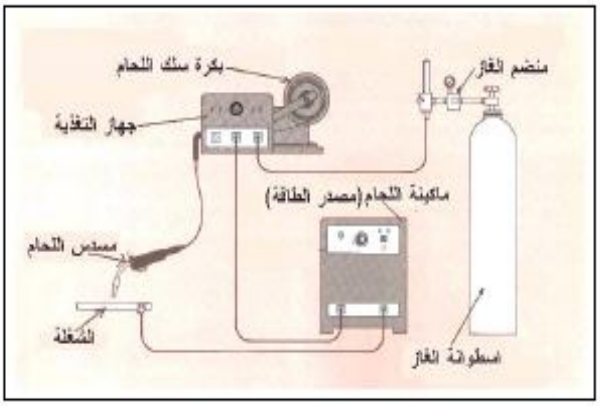
٢,٢ الاجهزة المستخدمة

تم استخدام بعض الاجهزة والمعدات لتحضير العينات ولعملية اللحام والاختبارات التي اجريت لإتمام الدراسة:

- ماكنة لحام :(MIG) تستخدم ماكنة اللحام بالغاز الخامل للحام مختلف المواد الحديدية واللاحديدية . نوع الماكنة (miller) وموديل .(millermatic 252) كما موضحة في شكل (١).
- ماكنة التنعيم
- المجهر الضوئي

• ماكنة البلازما

(أ)



(ب)

شكل رقم (١) أ- يوضح شكل ماكنة اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل ب- شكل يوضح اجزاء ماكنة اللحام بالقوس المعدني والغاز الخامل

٢,٣ مراحل اعداد ولحام العينات

١. تقطيع صفائح الفولاذ منخفض الكاربون الى ٩ عينات بأبعاد (3*80*100 ملم)
٢. تنظيف العينات لإزالة الغبار والزيوت والدهون وجميع الاوساخ.
٣. وضع العينات المراد لحامها على قاعدة (ارضية) مستوية منتظمة، نوع لحام تناكبي
٤. تغيير احد متغيرات اللحام (السرعة او التيار) واتمام عملية اللحام
٥. اجراء عملية اللحام بعد تغيير المتغير الاول للحام وتثبيت الثاني لكل العينات كما في جدول (٢)
٦. اتمام عملية اللحام بطريقة اللحام بالغاز الخامل باستخدام قطب لحام (فولاذ كاربوني مغطى بالنحاس) نوع (ER_70S_6) بقطر (0.8 ملم).

جدول رقم (٢) يوضح متغيرات اللحام

العينات	السرعة (in/min)	التيار (A)
١	١١٠	٢٦٠
٢	١١٥	٢٦٠
٣	١٢٠	٢٦٠
٤	١١٠	٢٦٦
٥	١١٥	٢٦٦
٦	١٢٠	٢٦٦
٧	١١٠	٢٧٢
٨	١١٥	٢٧٢
٩	١٢٠	٢٧٢

٣.الاختبارات المستخدمة

٣,١ الاختبار البصري (Visual testing)

في هذا الاختبار استخدمت العدسات المكبرة (lances) لتوسيع مساحة الاختبار وايضا مصدر اضاءة (light) لإضاءة المساحات المظلمة على سطح العينة. استخدم هذا الاختبار لكشف العيوب السطحية التي من الممكن ملاحظتها بالعين المجردة.

٣,٢ اختبار السائل النافذ (Penetration testing)

هو احد اقدم وابسط طرق الفحوصات اللاتلافية (NDT) ويستخدم لكشف الفجوات والثغرات والانقطاعات السطحية، خطواته:

- تنظيف السطوح من الغبار و الزيوت و الدهون و الاوساخ الاخرى.
- وضع المادة النفاذة على سطح النموذج للتغلغل في الشقوق و التجاويف والفجوات والعيوب السطحية.
- بعد (١٥) دقيقة تم تنظيف سطح العينة وازالة السائل الزائد وبقاء السائل المتغلغل في الشقوق وباقي العيوب السطحية.
- وضع المظهر (developer) لامتصاص السائل النافذ المتبقي ومن ثم مسحه من على سطح النموذج
- بعد ذلك ينجز الفحص تحت مصدر اضاءة مناسب للكشف عن اي عيوب سطحية (flaws) موجودة.
- الخطوة الاخيرة هي تنظيف سطح النموذج لإزالة المظهر من الجزء.

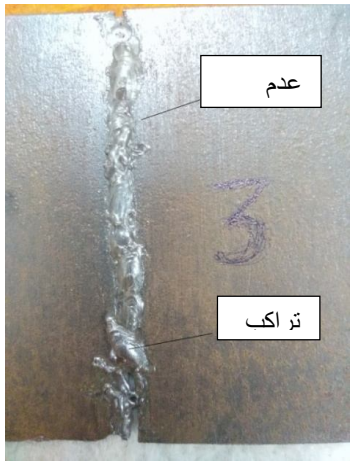
٣,٣ فحص المجهر الضوئي (Optical Microscopic)

هو وسيلة تستخدم مصدر اضاءة مرئي ومنظومة عدسات لتكبير صور العينات الصغيرة، فحص البنية المجهرية للعينات قبل عملية اللحام و بعدها، الخطوات:

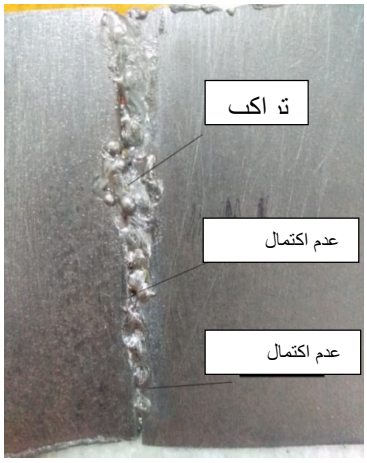
- تحضير وتهيئة العينات للفحص المجهري (قطع وتنعيم(تم استخدام ورق صنفرة اوكسيد الالمنيوم (٤٠٠،٦٠٠،٨٠٠،١٢٠٠) والصقل بورق الكتان ومحلول الألومنة) وكان محلول الاظهار هو(النيتال).
- اجراء الفحص المجهري قبل عملية اللحام وبعدها بواسطة المجهر الضوئي.

٤.النتائج و المناقشة

٤,١ نتائج الاختبار البصري



شكل رقم (٤) العينة رقم (٣)
A=260 S=120

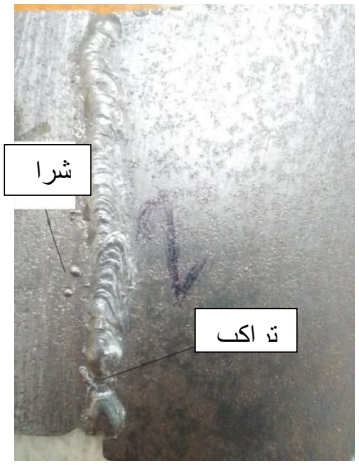


شكل رقم (٣) العينة رقم (٢)
A=260 S=115

شكل رقم (٢) العينة رقم (١)
A=260 S=110

شكل رقم (7) العينة رقم (٦)
A=266

شكل رقم (6) العينة رقم (٥)
A=266



شكل رقم (5) العينة رقم (٤)
A=266 S=110

شكل رقم (10) العينة رقم (٩)
A=272 S=120

شكل رقم (9) العينة رقم (٨)
A=272 S=115

شكل رقم (8) العينة رقم (7)
A=272 S=110

اظهرت نتائج الفحص البصري حدوث العيوب الاتية

١-**(Overlap) التراكب** :هوعيب يحدث بسبب زيادة انسياب معدن اللحام على سطح المعدن الاصل دون الاندماج مع المعدن الاساس (نتؤ خارج من درزة اللحام) يؤدي الى حصول تركز في الاجهادات الميكانيكية في منطقة الحافات الحادة (منطقة سطح التلاقي بين النتوء والمعدن الاساس).

- ان حصول مثل هذا العيب يعود الى قلة الحرارة بسبب مقدار التيار و الفولتية المخفض اضافة الى طول القوس وسرعة حركة الانتقال تكون بطيئة لذا يلاحظ في العينات (١-٢-٣-٤-٥) حيث ان التيار والفولتية منخفضة والسرعة بطيئة نوعاًما.

٢- **الشرارة او الطرطشة (Spatter)**: هي عبارة عن حبيبات او قطرات صغيرة ذات شكل شبه كروي تنطلق اثناء اللحام لتلتصق بسطح المعدن الاساس على طول خط اللحام.

- ان حصول مثل هذا العيب يعود الى كون التيار و الفولتية عالية وسرعة تغذية عالية اضافة الى طول القوس الكهربائي يمكن ملاحظة هذا العيب في العينات (١- ٤-٧-٨-٩). من الممكن مشاهدة شرارة قليلة في بعض العينات ذات التيار والسرعة الواطئة قد يكون لسبب اخر هو طول القوس الكهربائي.

٣- **نقص الانصهار (Incomplete fusion)**: عندما تكون درجة الحرارة غير كافية تكون عملية الانصهار واندماج معدن اللحام والمعدن الاساس غير مكتملة ويعد هذا العيب من العيوب الخطيرة لاسيما عندما يكون اللحام مصمما للخدمة في الظروف الباردة او يكون معرضا للتحميل الدوري اجهاد الكلال (Fatigue).

- يعود حصول مثل هذا العيب الى قلة الحرارة الناتج عن التيار القليل وقلة سرعة سلك الحام او شدة التيار الواطئة اضافة الى سرعة انتقال اللحام الزائدة عن الحد الصحيح يلاحظ مثل هذا العيب في العينات (٢-١).

٤- **احتراق او اشتعال لمعدن الحام (Burn through)** هو ذوبان تام او تبخر لمعدن اللحام خلال المعدن الاساس ينتج عنه حفر تفتقد لمعدن اللحام .

- يعود حصول مثل هذا العيب الى الحرارة الزائدة بسبب زيادة التيار وقلة سرعة التغذية لذا يشاهد في عينة (٧).

٥- **القطع السفلي (Under cut)** :هو احد العيوب السطحية في اللحام يظهر على شكل مجرى او اخدود في المعدن الاساس وذلك مباشرة على طول حافة خط اللحام ويعتبر من العيوب الخطيرة بسبب مشاكل تركز الاجهادات في وصلة اللحام في المناطق قليلة السمك.

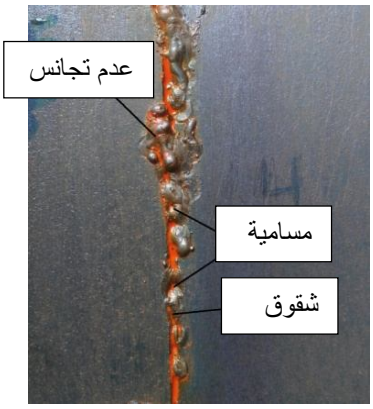
- يعود سبب هذا العيب الى استعمال شدة تيار و فولتية مرتفعة اضافة الى حركة التغذية السريعة كما هو في العينات(٦-٩).

٦- **عدم تجانس او انقطاع في منطقة اللحام Discontinuous or non-homogeneous welding:**

- يعود السبب الى سرعة الحركة العالية والتنقل اثناء اللحام وعدم استقرارية حركة اليد كما في العينات (3-٥-٦-٧-٨-٩).

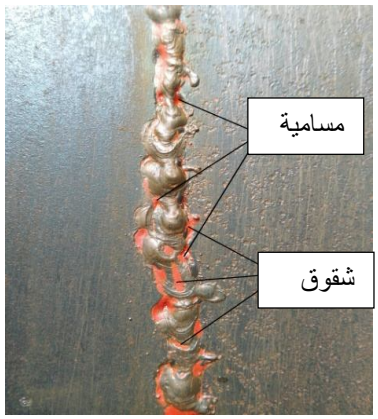
٤,٢ اختبار السائل النافذ (Penetration testing)

شكل رقم (13) العينة رقم (٣)
A=260 S=120



شكل رقم (١٢) العينة رقم (2)
A=260 S=115

شكل رقم (١١) العينة رقم (١)
A=260 S=110

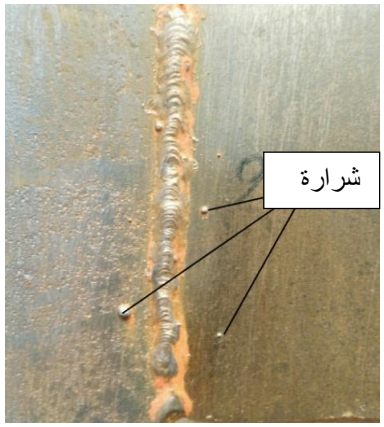


شكل رقم (16) العينة رقم (٦)
A=266

شكل رقم (15) العينة رقم (٥)
A=266

شكل رقم (١٤) العينة رقم (4)
A=266 S=110

شكل رقم (19) العينة رقم (٩)
A=272 S=120

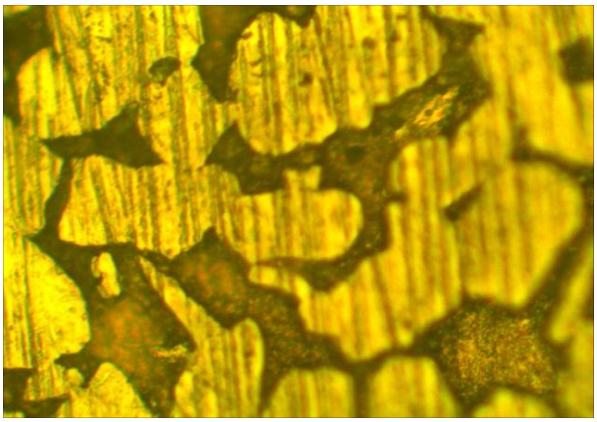


شكل رقم (18) العينة رقم (8)
A=272 S=115

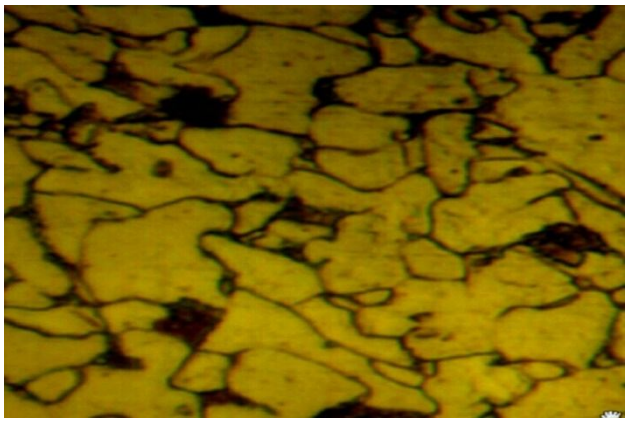
شكل رقم (17) العينة رقم (7)
A=272 S=110

- في الاشكال (١٩، ١٦، ١٥،١٤ ،١٣، ١١) العيوب هي:
  - Cracks: تنتج هذه العيوب بسبب فرق درجة الحرارة بين منطقة اللحام والمعدن الاساس حيث يحدث تبريد مفاجئ
  - لمنع حدوث الشقوق يجب تسخين المعدن الاساس قبل عملية اللحام لتقليل فرق درجة الحرارة بينه وبين منطقة اللحام
- في الاشكال (١٧،١٦،١٥،١٤،١٢،) تم الكشف عن العيوب التالية:
  - Porosity: انحصار الغاز الناتج من اللحام اثناء الانجماد و تلوث المعدن الاساس قبل اللحام
  - لمنع حدوثه يجب ازالة اي تلوث من سطح المعدن المراد لحامه

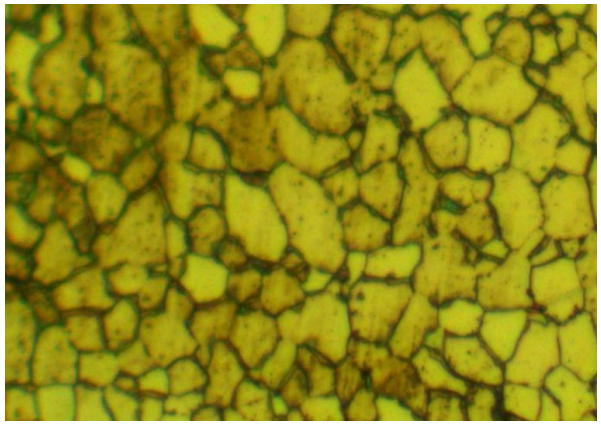
٤,٣ نتائج فحوصات المجهر الضوئي (Optical Microscopic)



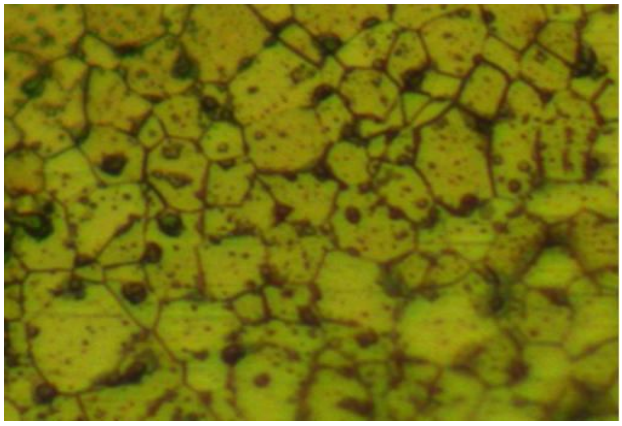
شكل (٢١) ×100(A=260)



شكل (٢٠)×100 (قبل اللحام)



شكل (٢٣) (A=272)



شكل (٢٢) ×100 (A=266)

فحص البنية المجهرية للسبيكة قبل اللحام (المعدن الاساس) يتالف من حبيبات الفرايت الكبيرة ومناطق صغيرة من البرلايت على حافات الحدود البلوري والزوايا كما موضح في شكل (٢٠). بعد اللحام نلاحظ تاثير اللحام على المنطقة المتاثرة بالحرارة (HAZ) في البنية المجهرية باستخدام المجهر الضوئي من خلال استطالة حبيبات الفرايت وشكلها.

- في شكل (٢١) يوضح البنية المجهرية للعينات (١،٣،٤) التي تم لحامها بتيار(٢٦٠A) تتالف من حبيبات الفرايت والبرلايت الكبيرتين بسبب التيار المنخفض وانسياب درجة الحرارة عالي للمنطقة المجاورة من المعدن الاساس.
- في شكل(٢٢) يبين البنية المجهرية للعينات (٢،٥،٦) الملحومة بتيار (266A) تتالف من فرايت وحبيبات صغيرة من البرلايت بسبب زيادة الحرار الناتج عن زيادة التيار والسرعة لم تاثر على البنية المجهرية.

في شكل(٢٣) نلاحظ البنية المجهرية للعينات (٧،٨،٩) عند تيار (272A) تتالف من البرلايت اصغر نسبيا وحبيبات كبيرة من الفرايت بسبب درجة الحرارة العالية المتركزة في منطقة اللحام.

٥.الاستنتاجات :

١- بينت نتائج الفحص البصري ان ضمن المدى المستخدم مختبريا للتيار وسرعة التغذية والتي كانت ضمن المدى (٢٦٠-٢٦٦-٢٧٢) امبير و(١١٠-١١٥-١٢٠) انج/دقيقة في عملية اللحام بالغاز الخامل، ان اختيار تيار (٢٦٠-٢٦٦) وسرعة (١١٠-١١٥) اظهرت عيوب (التراكب- وعدم اكتمال الانصهار – وانقطاع في منطقة اللحام مع ظهور بعض الشرارة وعدم التجانس).

٢- عند تغيير سرعة التغذية الى ١٢٠ انج/دقيقة اختفى عيب عدم اكتمال اللحام.

٣- عند اختيار سرعة عالية وتيار عالي ١٢٠ و٢٧٢ على التوالي يظهر لدينا عدم التجانس والقطع السفلي

٤- عند تيار عالي ٢٧٢ وسرعة تغذية ١١٠ وهي اقل سرعة ظهرت عيوب الاحتراق او الاشتعال في منطقة اللحام.

٥- ضمن اعلى تيار ٢٧٢ وسرعة متوسطة ١١٥ كانت العينة في الحالة الاقل عيوباً حيث ظهرت بعض الشرارة وانقطاع بسيط وعدة افضل قراءة ضمن البحث للحام بالغاز الخامل.

٦- بينت عملية الفحص بالسائل النفاذ ظهور بعض الشقوق التي تعود الى الفرق الحراري بين منطقة اللحام والمعدن الاساس والتي تؤدي الى حصول تبريد مفاجئ حي يستوجب تسخين المعدن قبل اللحام لتقليل الفارق في درجة الحرارة، وأظهرت ايضاً بعض المسامية الناتجة من بعض الشوائب او قلة الحرارة.

٧- اظهر الفحص المجهري ان مع زيادة التيار التي بدورها تؤدي الى زيادة الحرارة تؤدي الى زيادة بحجم حبيبات البرلايت.

References:

Abbasi K. , S. Alam and Dr. M.I. Khan., 2012," An Experimental Study on the Effect of MIGWelding parameters on the Weld-Bead Shape Characteristics",An International Journal (ESTIJ), ISSN: 2250-3498, Vol.2, No. 4, August .

Ghazvinloo H.R., A. Honarbakhsh-Raouf and N.Shadfar., 2010 "Effect of arc voltage, welding current and welding speed on fatigue life, impact energy and bead penetration of AA6061 joints produced by robotic MIG welding",Indian Journal of Science and Technology, Vol: 3 . Issue: 2 . February . ISSN: 0974-5645

Khaled Mohamed., 2009, “Basics of Engineering Technology”, GE 101, Second Term.

Kishore K..,2010," Analysis of Defects in Gas Shielded arc Welding of Aisi1040 Steel Using Taguchi Method", ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, ISSN 1819-6608, VOL. 5, NO. 1, JANUARY.

Mikell p . Groover., 2010,"Fundamentals of Modern Manufacturing", Fourth edition, John Wiley & Sons.

Senthil Kumar G. , U. Natarajan and S. S. Ananthan., 2012 "Vision inspection system for the identification and classification of defects in MIG welding joints"Int J Adv Manuf Technol 61:923–933

Sheikh Irfan and Vishal Achwal., 2014," An Experimental Study on the Effect of MIG Welding Parameters on the Weldability of Galvenize Steel"International Journal on Emerging Technologies 5(1): 146-152

Sindo Kou., 2003,"Welding Metallurgy", Second edition, John Wiley & Sons,.