

تأثير التصليد بالترسيب على البنية المجهرية لوصلات لحام سبيكة الألمنيوم (2024T3)

The Effect of Precipitation Hardening on Micro structural Welded Joint of Aluminum Alloy (2024T3)

عبد الكريم سعدون محسن

عبد الله عذيب مشاري

د. فاضل عباس هاشم

المستخلص

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية ربط سبيكة الألمنيوم (2024T3) بطريقة لحام القوس الكهربائي اليدوي (MMAW) (Manual Metal Arc Welding) وباستخدام قضيب لحام نوع (E4043) ودراسة البنية المجهرية في منطقة الربط حيث تم تهيأت وصلات لحام تناكبية (V-Butt joint) قبل وبعد المعاملة الحرارية ومعاملتها معاملة محلوليته ثم تتبع بالتعتيق بعد اللحام (Solution treating and aging) وتبين أن المنطقة المنصهرة (Fusion Zone) تكون محتوية على شجيرات طولية (Epitaxial growth) ومحتوية على الطور (Al₂Cu) ما يسمى بالطور الغني بالنحاس (Copper-rich phase) هذا في حالة اللحام بدون معاملة حرارية ، أما عند إجراء معاملة حرارية قبل اللحام فإن الطور الغني بالنحاس يكون أقل والمعاملة الحرارية بعد اللحام تؤدي إلى تشتيت ذلك الطور.

Abstract:

The aim of this work is to study the possibility of joining the Aluminum alloy (2024T3) by the Manual Metal Arc Welding (MMAW) using the (E4043) electrode, and studying the microscopic structure in the joint area.

A (V-Butt joint) were prepared before and after the heat treatment then thermally treated after welding (Solution treating and aging). It was clear that the molten zone (Fusion Zone) will be containing epitaxial growth, also it contains the phase (Al₂Cu) what it called copper-rich phase, that was in case of not using heat treatment, but when using heat treatment before welding, the copper-rich phase will be less and the heat treatment after welding will result in distortion of that phase.

المقدمة

إن استخدام مواد ذات كثافة أقل في الكثير من الاستخدامات الصناعية وخاصة في صناعات النقل (السيارات) ، قد أصبح هذا الموضوع من الضروريات لتقليل صرفيات الوقود وغيرها من الأمور المرتبطة بذات الموضوع.

من تلك المواد التي تتصف بكثافة أقل هي سبائك الألمنيوم والمغنيسيوم والذان أصبغا من المواد المسيطرة على قطاع النقل. أن قابلية لحام سبائك الألمنيوم تبقى لحد الآن غير مفهومة بالكامل وتحتاج دائما الدراسات لتوضيح الكثير من الصعوبات المعدنية أثناء وبعد عملية اللحام. حتى باستخدام الطرق الشائعة باللحام ، لحام القوس الكهربائي الغازي باستخدام قطب تنكستن (GTAW) أو لحام القوس الكهربائي الغازي باستخدام قطب معدني (GMAW) أو لحام القوس الكهربائي اليدوي (MMAW) [1-2] .

في الوقت الحاضر أن إمكانية لحام سبيكة الألمنيوم (AA2024) ذات الاستخدام في صناعات الفضاء [3] ، والتي تعاني الكثير من المشاكل أثناء اللحام ومنها الاكتظاظ بالمنطقة المنصهرة [4-5] ، التشققات أثناء الانجماد ، والمسامية في منطقة اللحام وقد حاول الباحثون تطوير منطقة اللحام من ناحية البنية المجهرية الناتجة عن اللحام وخواصها الميكانيكية [6-9].

في هذا البحث حاولنا إجراء عملية اللحام لسبيكة (2024T3) كما استلمت ثم أجرينا عليها المعاملات الحرارية (المعاملة المحلولية والتعتيق) (Solution treating and aging) ثم أجريت الفحوصات المجهرية لمعرفة تأثير المعاملات الحرارية على البنية عند استخدام عمليات اللحام الكلاسيكية (MMAW).

الجانب العملي

تم إجراء العديد من وصلات اللحام التناكبي (V-Butt joint) وكما مبينة بالشكل (1) من سبيكة الألمنيوم (2024T3) والمبين التركيب الكيماوي لها بالجدول رقم (١) [10] ، وقد أجريت معاملات حرارية للعينات بعد تحضيرها إذ أجريت المعاملة المحلولية ودرجة حرارة 450°C وتم تقسيته بالماء للمحافظة على طور الفا وبعد ذلك أجريت عملية التعتيق (الأصلاد بالترسيب) ودرجة حرارة 180°C ولفترة 10 ساعة ومن ثم أجريت عملية اللحام بالقوس الكهربائي (MMAW) وباستخدام قضيب اللحام (E4043 Din14INLG) للعينات التي تم تحضيرها معاملة حراريا قبل اللحام وأخرى غير معاملة حراريا وقد تم إجراء معاملة حرارية أخرى لبعض العينات بعد عملية اللحام حيث تم الحصول على عينات ملحومة ومعاملة حرارية قبل وبعد اللحام وأخرى غير معاملة حراريا لا قبل وبعد اللحام وعينات معاملة حراريا فقط قبل اللحام وأخرى معاملة حراريا فقط بعد اللحام ومن ثم تم تقطيع العينات وتحضيرها للفحص المجهرية وتم تصويرها في وزارة العلوم والتكنولوجيا باستخدام المجهر الضوئي نوع (NIKOR ECLIPSF ME600) .

مناقشة النتائج

الشكل رقم (2) يبين في (a) أن هنالك طوران الأول فاتح اللون وهو الأساس (α) محلول جامد للنحاس بالألمنيوم (Solid solution) أما الداكن فإنه الطور (β) وهو محلول جامد للألمنيوم في النحاس. بينما الشكل (b) فإنه تم إعادة ترتيب توزيع الطور (β).

الشكل رقم (3) يبين قطعة لحام لم تعامل حرارياً حيث يتضح لنا البناء الشجري الذي يحتوي الطورين أعلاه مع وجود بعض عيوب اللحام (Gas porosity) أما الشكل رقم (4) فهو توضيح لما جاء في الشكل رقم (3).

الشكل رقم (5) يتضح أنه عندما تجري المعاملة الحرارية وفيه يتم تنظيم الأطوار (α, β) حيث تعود منطقة اللحام إلى البناء الطبيعي في عمليات اللحام من النوع (epitaxial growth) حيث يتضح لنا من خلال الخط الفاصل (Interface) البناء بالاتجاه (100) أما الشكل رقم (6) فهو توضيح للشكل رقم (5) ولكن بتكبير أعلى.

الشكل رقم (7) يوضح لنا كذلك إعادة تنظيم منطقة اللحام إذا ما أجريت المعاملة الحرارية بعد عملية اللحام حيث اختفت المناطق المبنية بالاتجاه (100) وكذلك تم إعادة توزيع الطور (β) في منطقة التأثير الحراري (HAZ) وكذلك منطقة اللحام (WZ) حيث يكون للأخير توزيع الطور (β) في شكل دودي (Skelter) أما الشكل رقم (8) فإنه يوضح ما جاء بالشكل رقم (7).

الشكل رقم (9) في حالة المعاملة الحرارية قبل وبعد اللحام حيث تم الحصول على حدود بلورية واضحة وتحتوي على ترسبات الطور (β) وعند العودة إلى الشكل رقم (3) نلاحظ الفارق في البنية المجهرية بين المنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) والمنطقة المنصهرة (Fusion zone) حيث تكون المنطقة الأخيرة محتوية على شجيرات طولية محتوية على الطور (Al_2Cu) ما يسمى الطور الغني بالنحاس (Copper-rich phase) وهذا التركيب نحصل عليه في اللحام بدون معاملة حرارية ويؤكد لنا الباحث (Brochu , Wanjara) [3] كما في الشكل رقم (10) ويؤكد ما جاء في أعلاه الشكل رقم (4) أما عندما تجرى معاملة حرارية قبل اللحام فإن الطور الغني بالنحاس يكون أقل كثافة كما في الشكل رقم (5) والشكل رقم (6) أما عندما تجرى المعاملة الحرارية بعد اللحام فأننا سوف نشهد الطور الغني بالنحاس بعد أكثر كما في الشكل رقم (7) والشكل رقم (8-b).

الاستنتاجات

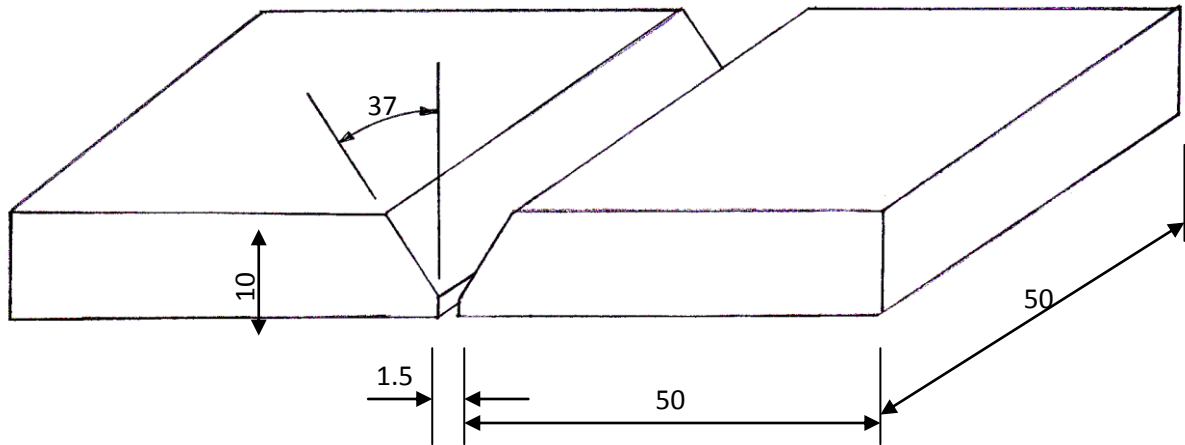
- ١- نحصل بشكل أكيد على الطور الغني بالنحاس (Copper-rich phase) في المنطقة المنصهرة باللحام لهذا النوع من الألمنيوم.
- ٢- عندما تجرى معاملة محلوليه ثم تجرى بعدها اللحام فأنتنا سوف نقلل من كثافة الطور الغني بالنحاس.
- ٣- عندما تجرى معاملة محلوليه بعد عملية اللحام فأنتنا نشئت الطور الغني بالنحاس بعد أكثر مما جاء في (2) أعلاه

المصادر

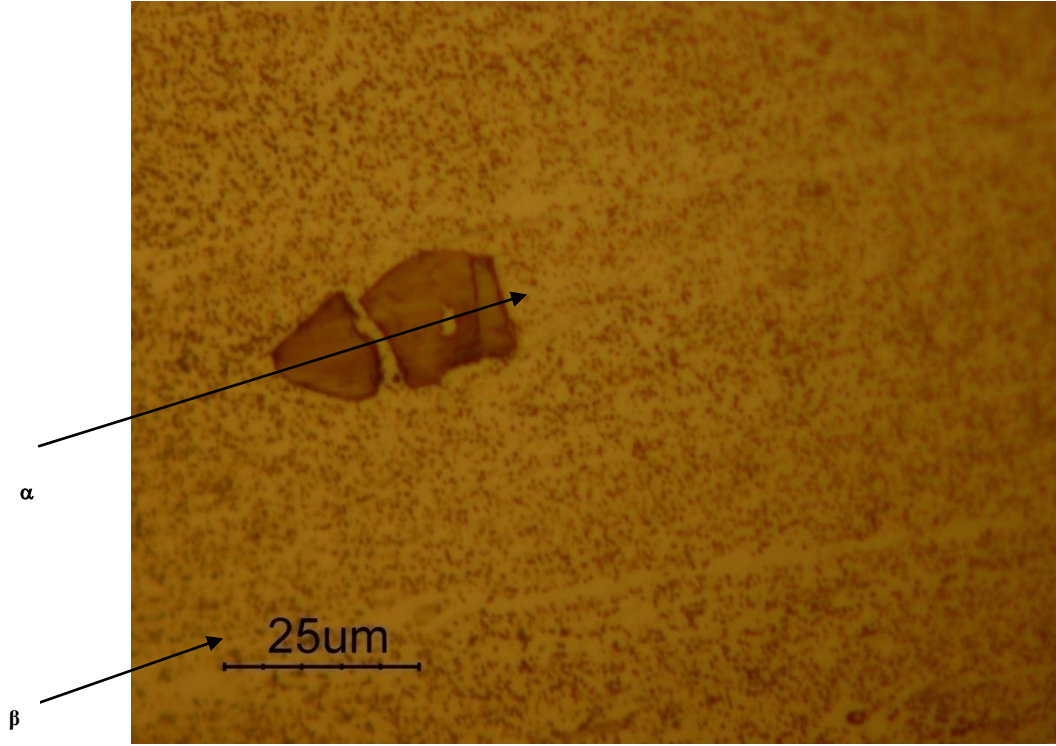
- [1] Elangovan k , Balasubramaniarn V. Journal of Materials and Design , 2008 , 28(2) :362-373 .
- [2] Kumar T.S. , Balasubramaniarn V. , Sanavullah M .Y. , Journal of Materials and Design , 2007 , 28(2):2080-2092.
- [3] Wanjarn P. , Brochu M , Vacuum , 2010 , 85 :268-282.
- [4] Lefebvre F . , Wang .S . , Starink M . J . Material Science Forum , 2002:396-402 :1555-60 .
- [5] Preston RV, Shercliff H.R. , Withers P.J. , Smith S.D , Science Technology Weld Joining , 2003 , 8:8-10.
- [6] Kou S . , Le Y . , Welding Parameters and the Grain- Structure of Weld – a thermodynamic Consideration . Metallurgical Materials Transaction A , 1988 , 19 :1075-82 .
- [7] Hua B . , Richardson I . M . , Autogenously Layser Keyhole Welding of Aluminum Alloy 2024 , J laser Application , 2005 : 17-80.
- [8] Milewski J .O , Lewis G . K . , Wittig J . E . , Microstructural Evaluation of Low and High Duty Cycle Nd.YAG laser beam Welds in 2024-T3 Aluminum , Weld J 1993:72;3415-65.
- [9] Grong O. Metallurgical Modeling of Welding , 2nd ed . London ,UK The Institute of Materials :1997;228
- [10] L.Schwarmann , Material Data of High-Strength Aluminum Alloys For Durability Evaluation of Structures , Second Edition-1988 .

الجدول (1) التركيب الكيميائي لسبيكة الألمنيوم (2024T₃) الفحص الاسمي (Nominal testing)

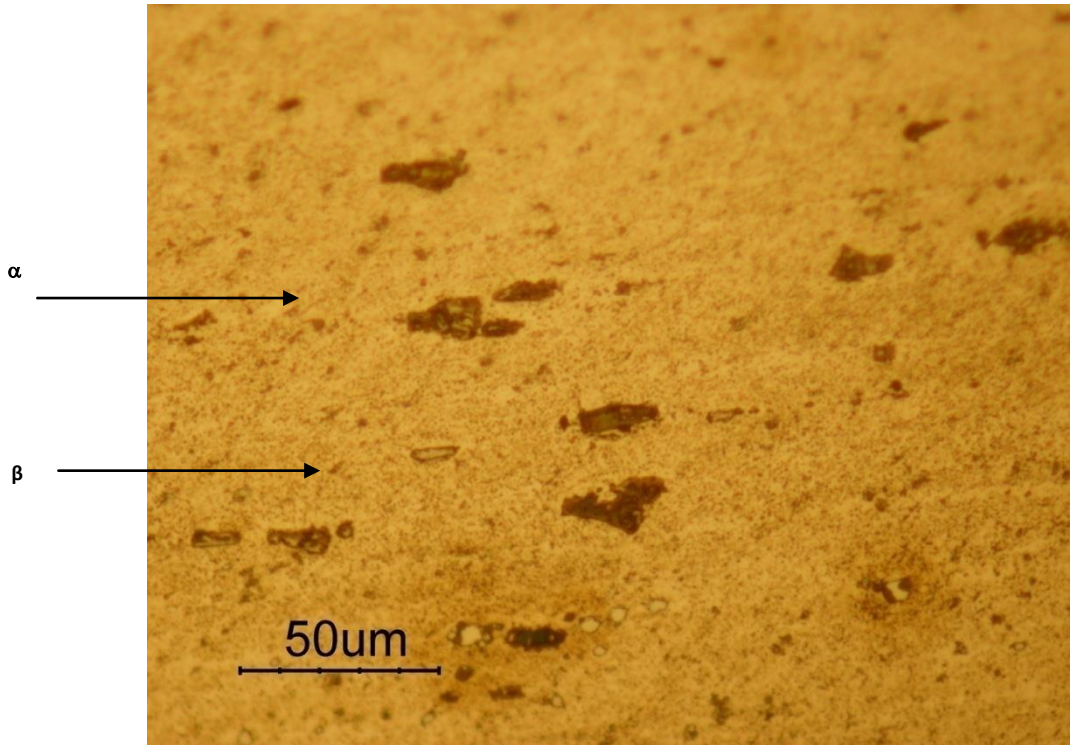
	Percentage of alloying element									
	Ag	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Zn	Zr
2024	-	-	4.5	0.3	1.5	0.6	-	0.3	-	-



الشكل (1) تهيئة وصلة اللحام



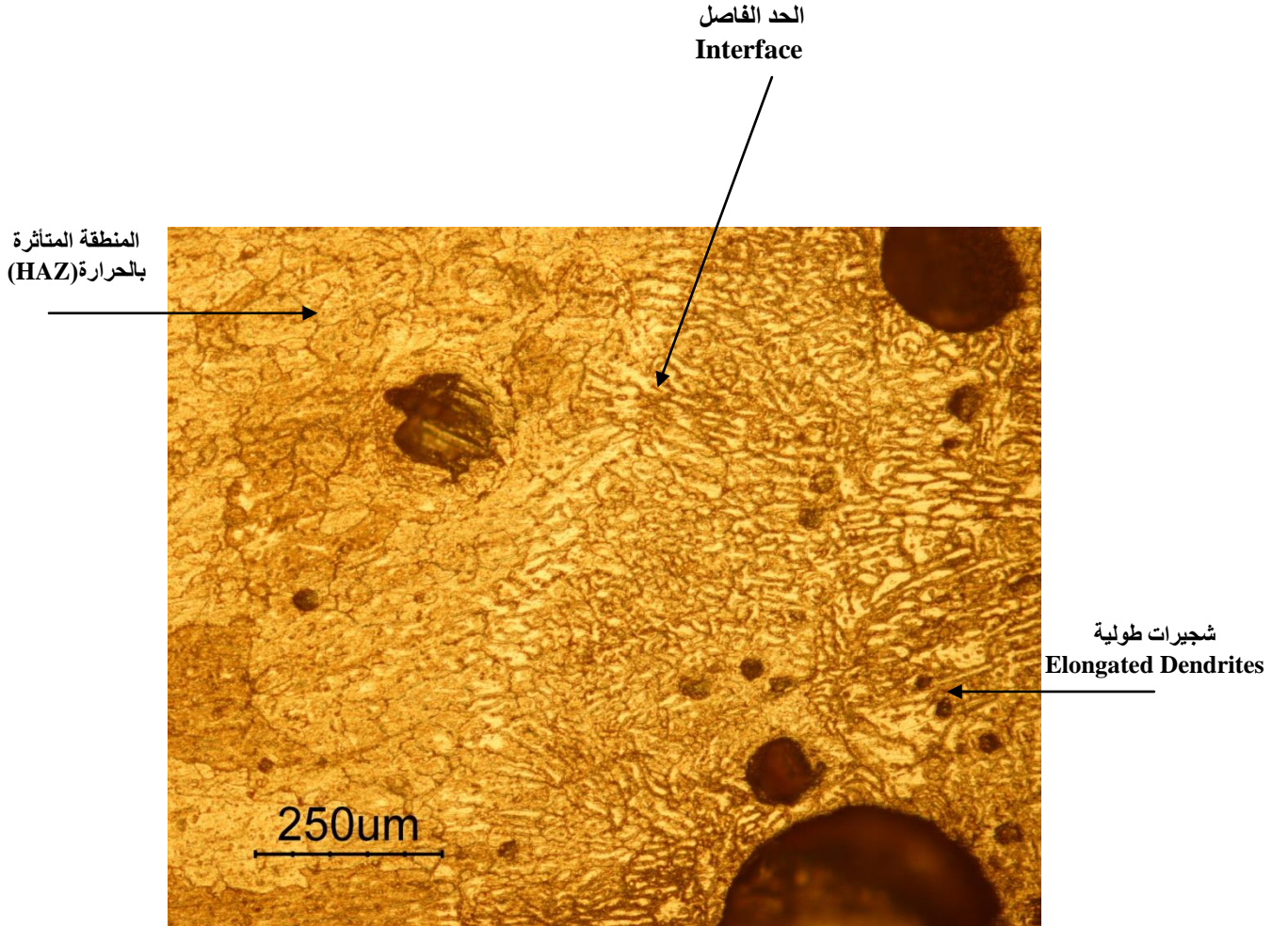
(a)



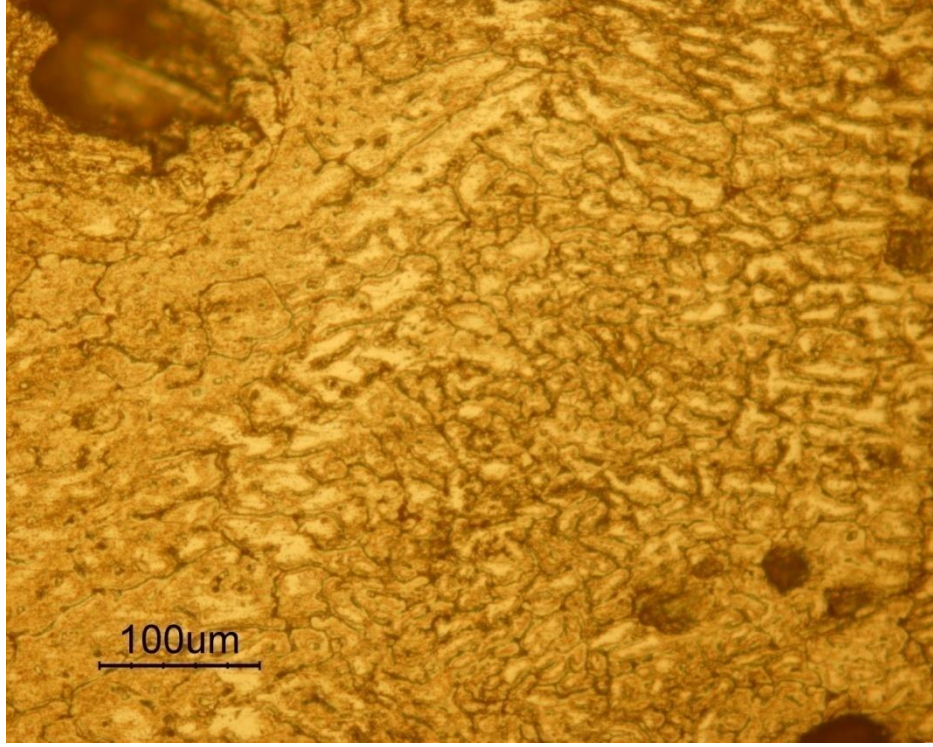
(b)

الشكل (2) يوضح التركيب المجهرى لسبيكة الالمنيوم (2024T₃) ، كما استلمت X1000 و (b) بعد المعاملة

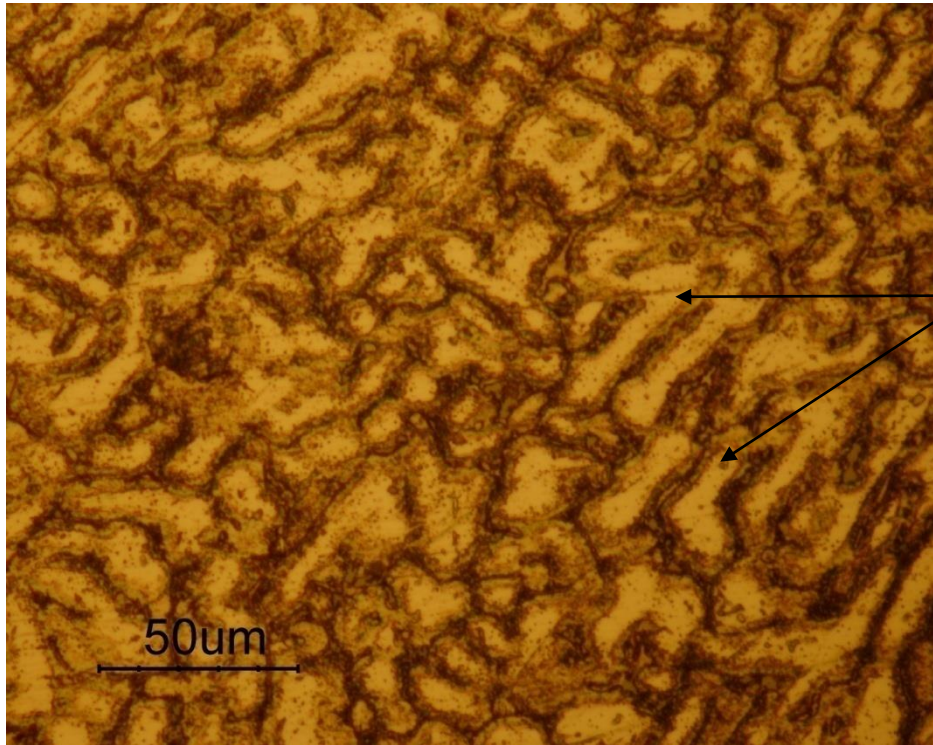
المحلولة (Solution treating and aging) X500



الشكل (3) يوضح التركيب المجهرى لعينة تم لحامها بدون معاملة حرارية ، X100



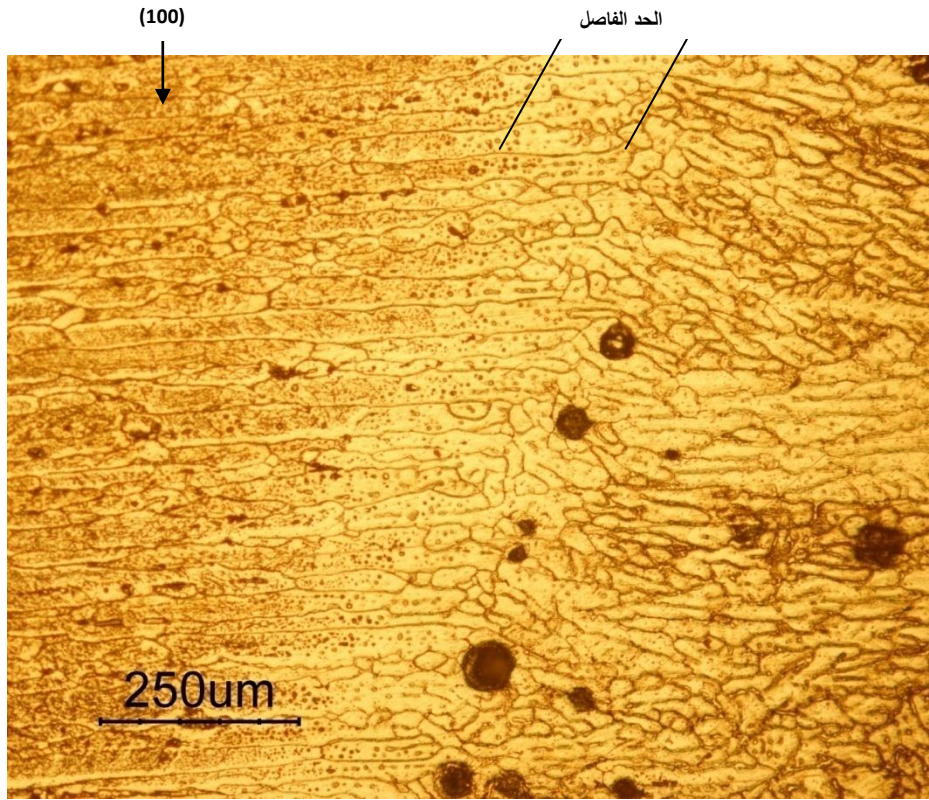
(a)



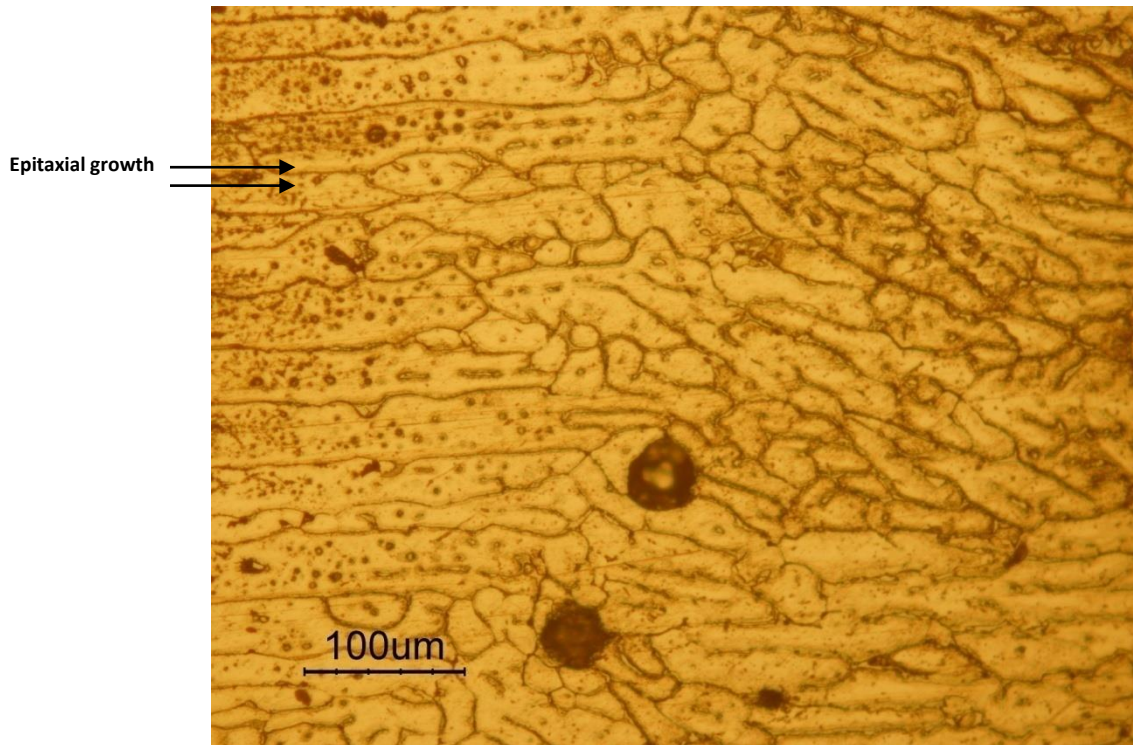
أكثر كثافة للطور الغني بالنحاس
(Copper-rich phase)

(b)

الشكل (4) يوضح الطور الغني بالنحاس لعينة تم لحامها بدون معاملة حرارية (a) X200 ، (b) X500

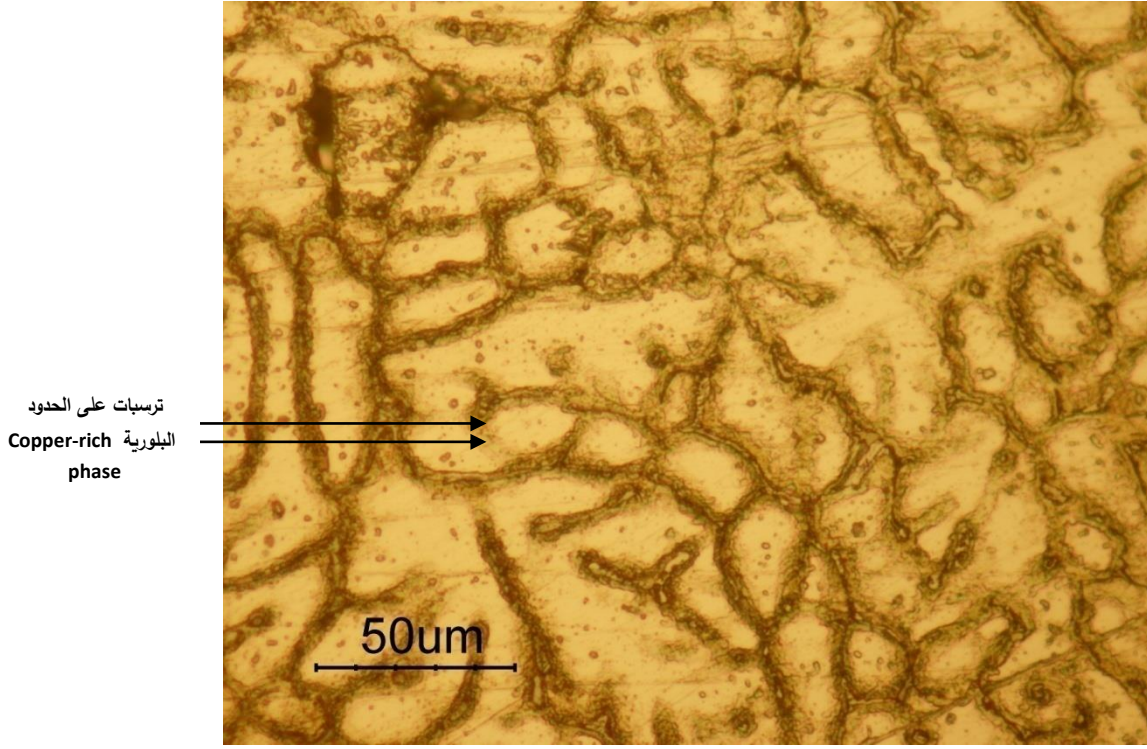


(a)

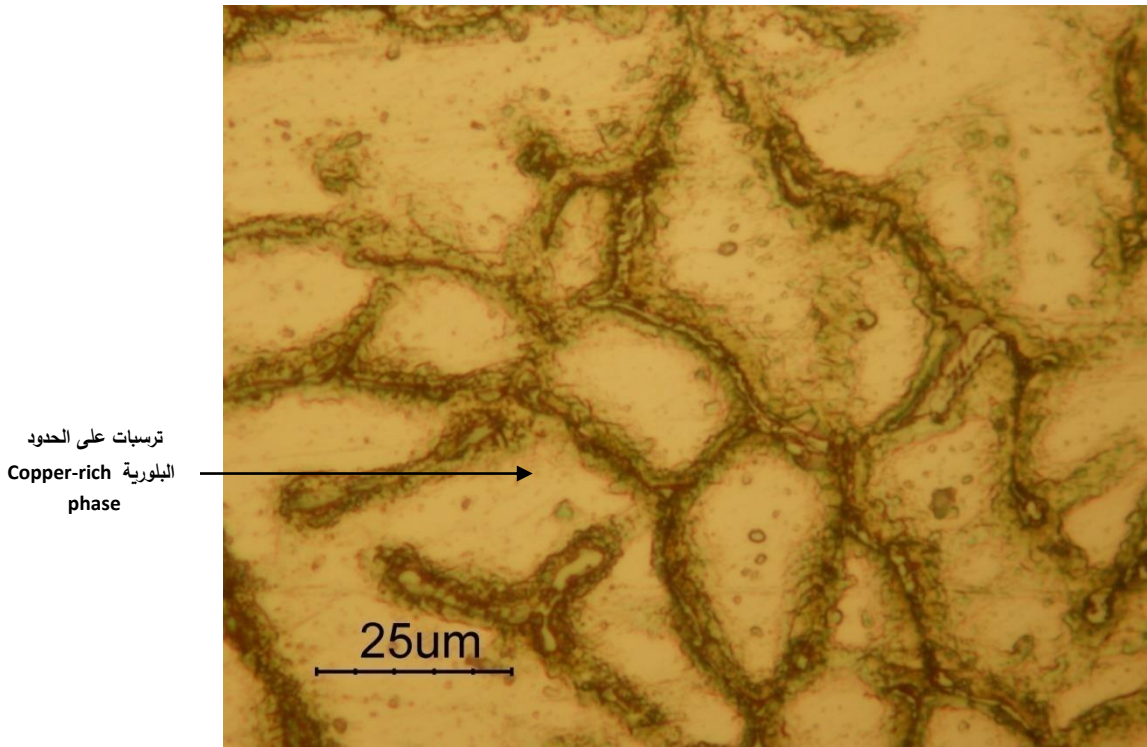


(b)

الشكل (5) يوضح التركيب المجهرى لعينة تم معاملتها حراريا قبل اللحام حرارية (a) X100 (b) X200



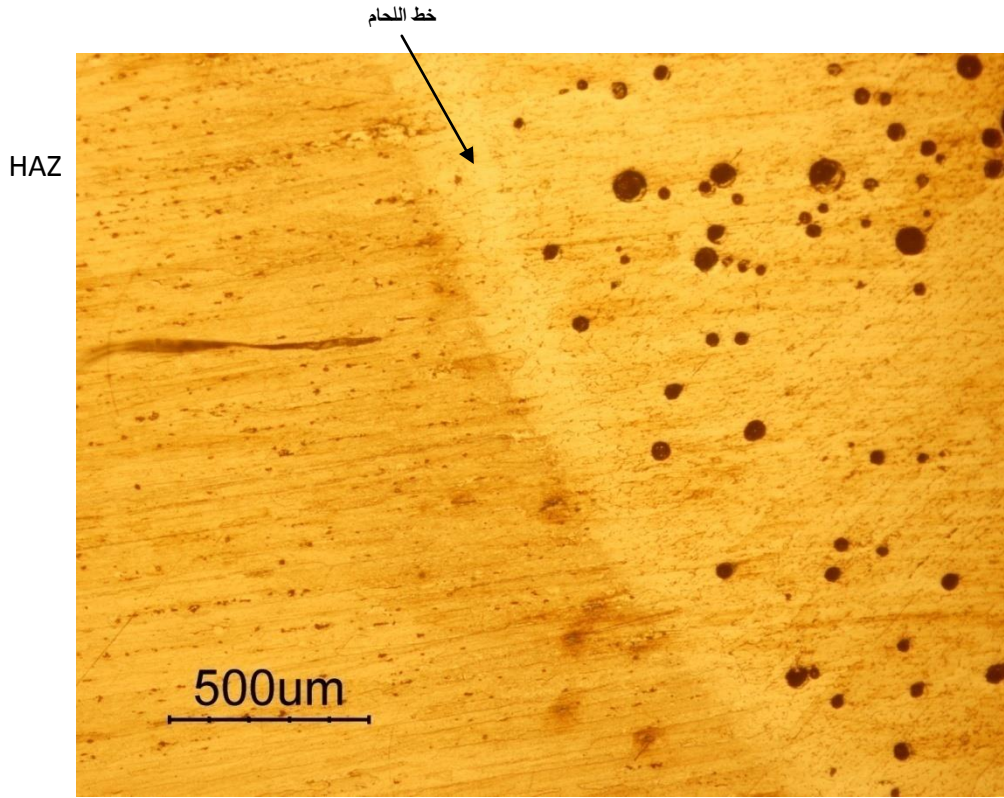
(a)



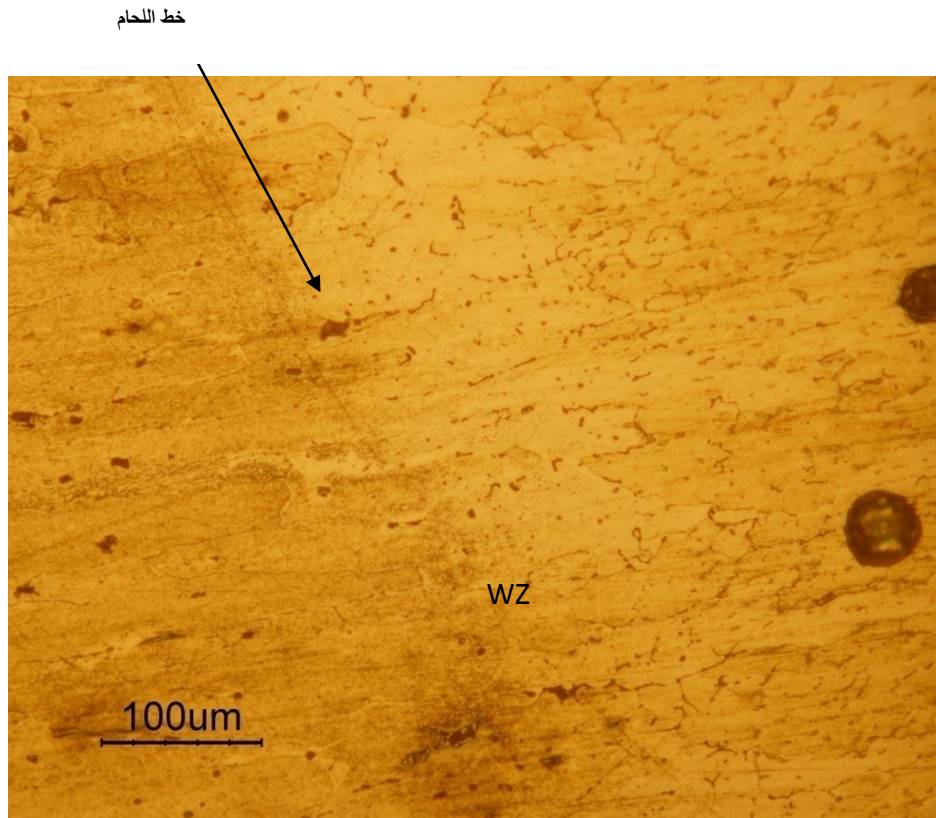
(b)

الشكل (6) يوضح الترسبات على الحدود البلورية Copper-rich phase لعينة تم معاملتها حراريا قبل اللحام (a)

X1000 (b) ' X500



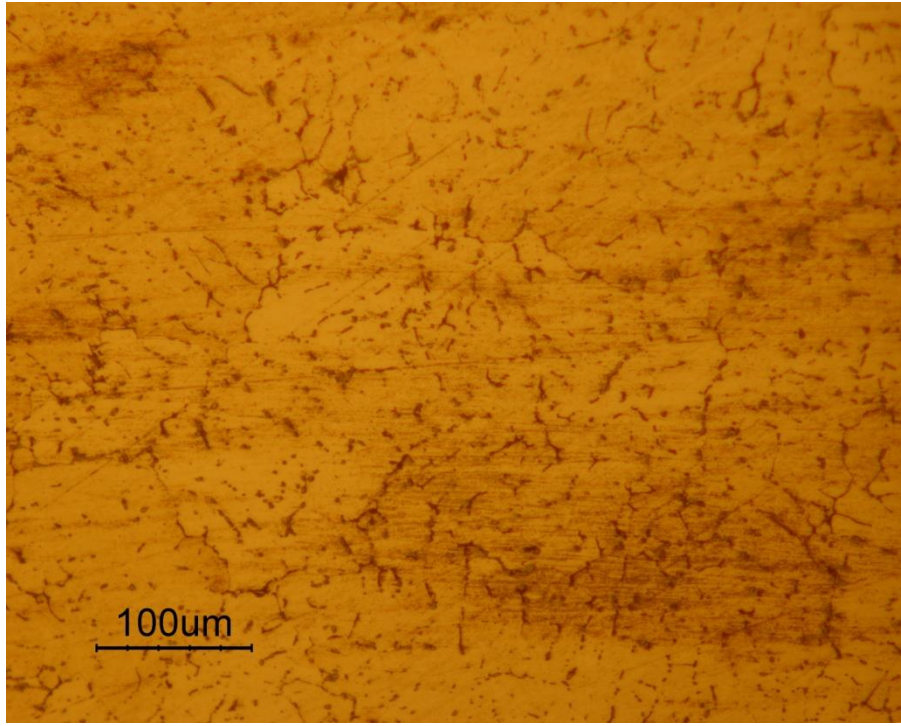
(a)



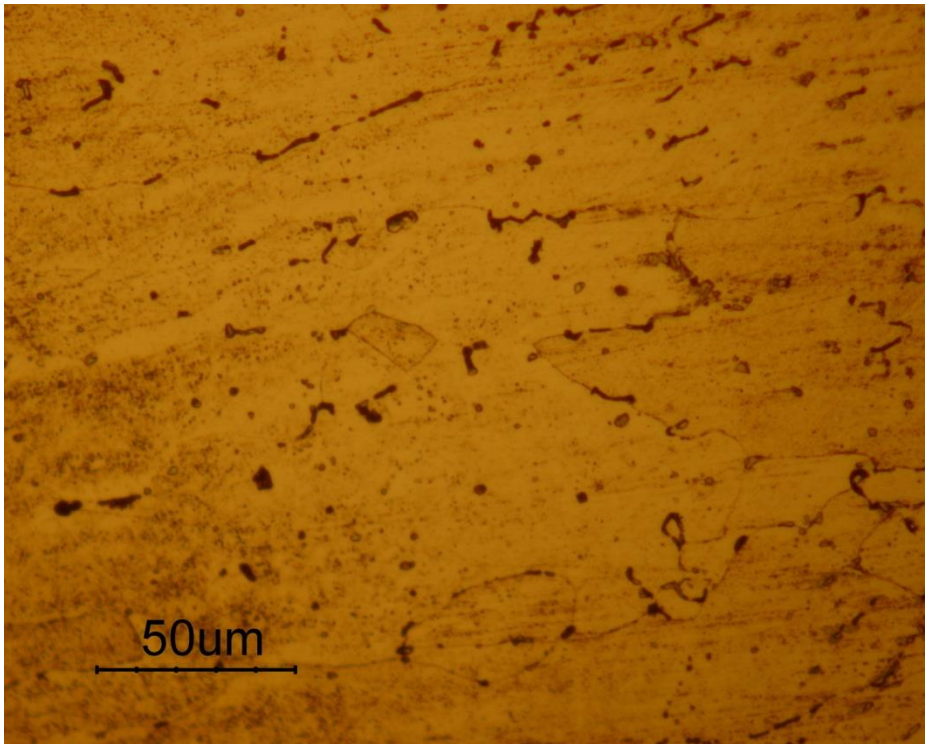
(b)

الشكل (7) يوضح خط اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة ومنطقة اللحام لعينة تم معاملتها حراريا بعد اللحام (a) X50

(b) X200

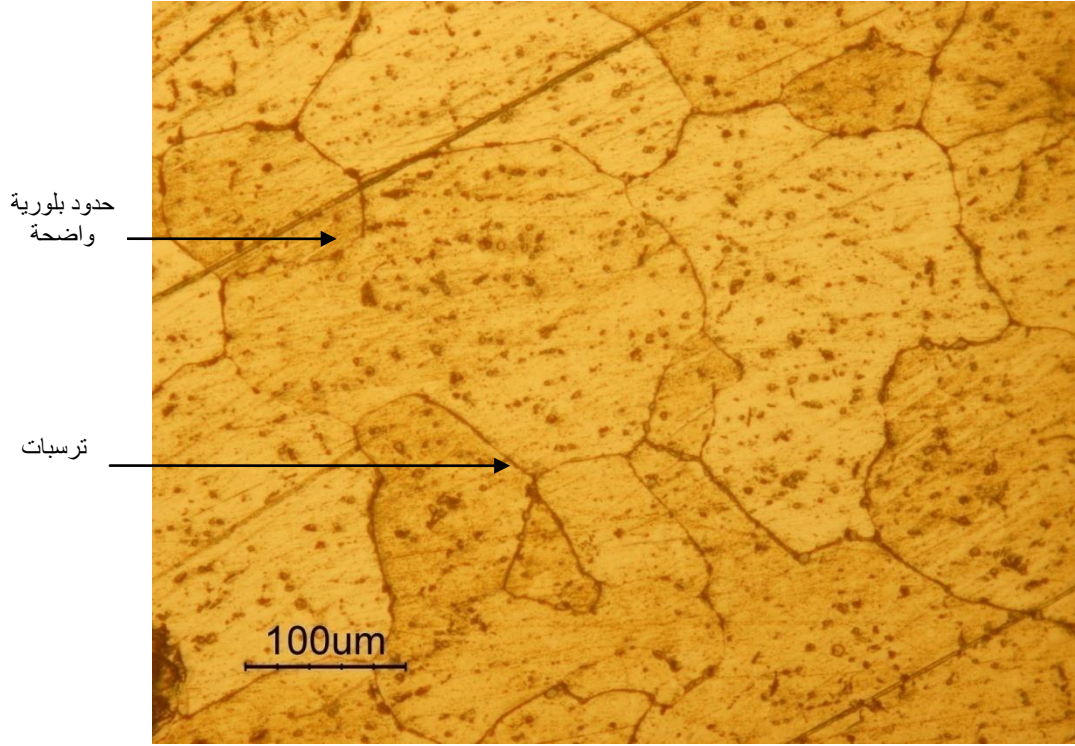


(a)

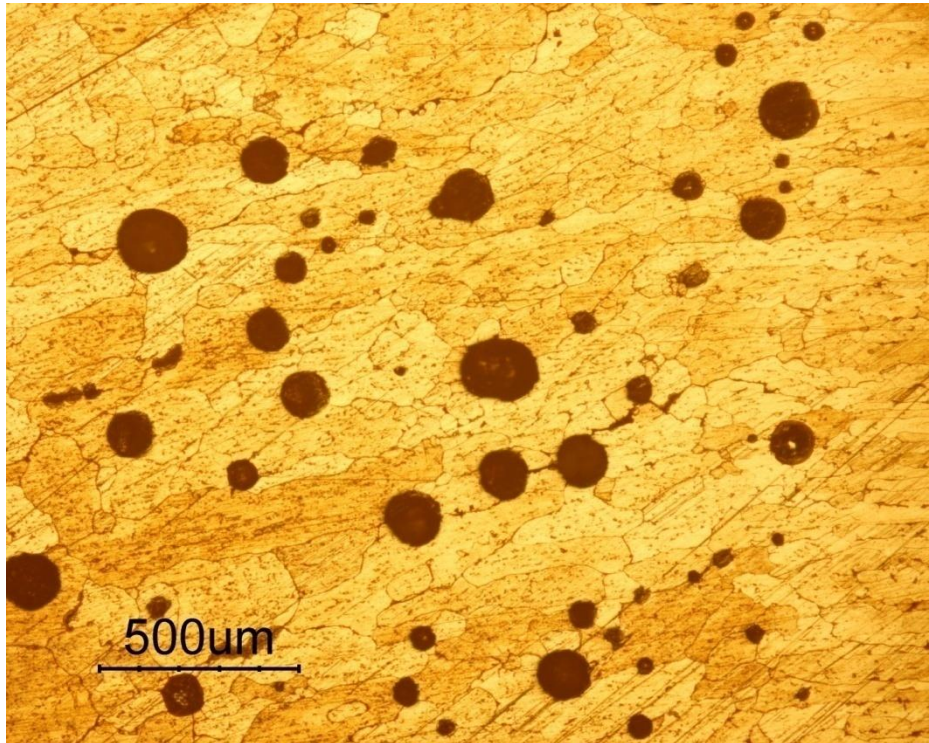


(b)

الشكل رقم (8) يوضح التركيب المجهرى لعينة تم معاملتها حراريا بعد اللحام (a) X200 ، (b) X500

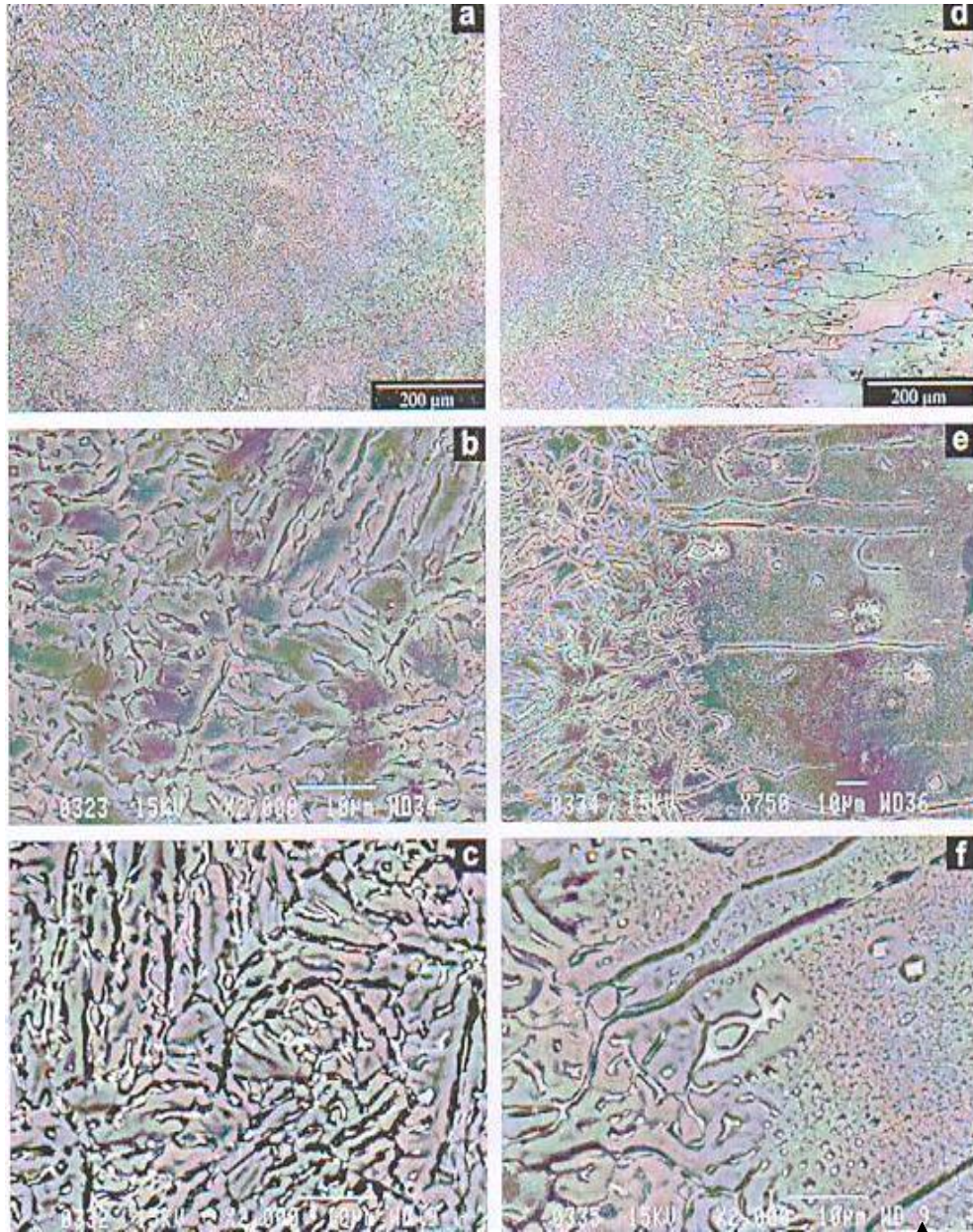


(a)



(b)

الشكل رقم (9) يوضح التركيب المجهرى لعينة تم معاملتها حراريا قبل وبعد اللحام (a) X200 ، (b) X50



Al₂Cu
Copper rich phase

Liquation and
Coarsened Al₂Cu phase

شكل رقم (10) يوضح التركيب المجهرى لمنطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة [3]

تأثير المعاملة الحرارية على البنية المجهرية لمخومات القوس الكهربائي الغير متماثلة فولاذ - نحاس

The Heat Treatment Effect on Microstructure for Arc Welding of Dissimilar Steel to copper

عبد الكريم سعدون محسن

قسم التقنيات الميكانيكية / المعهد التقني / السماوة

المستخلص

الهدف من هذا البحث للتعرف على البنية المجهرية للعينات الملحومة قبل وبعد إجراء المعاملة الحرارية والتي تم فيها لحام النحاس النقي (OFHC) مع الفولاذ منخفض الكربون (ASTMA36) بطريقة اللحام الانصهاري (Arc welding) باستخدام أقطاب لحام مغطاة (SMAW). وقد تم استخدام صفائح من المعدنين بسمك (12 mm) وتم تهيئة تلك الصفائح للحام (Single Butt Joint) وتم لحامها باستخدام الألكترود (Ecusn8)، تم إجراء المعاملة الحرارية لها حيث تمت معاملتها حرارياً عند درجة الحرارة 600°C ، 700°C وتم تبريدها بالفرن وتم إجراء عملية الفحص المجهرية للعينات الملحومة قبل وبعد إجراء المعاملة الحرارية وكان واضحاً قبل عملية المعاملة وجود حد فاصل من جانب الفولاذ فيه تعرجات تدل على حدوث التفاعل وتعطي بناء (None Epitaxial) وفتح نوافذ مصحوبة بانتشار كتل من المعدن الاساس داخل المعدن المضاف في حين بعد المعاملة الحرارية يتبين لنا تعرجات اكثر وحصول تشققات في جانب الفولاذ مملوءة بالمعدن المضاف بعملية لحام المونة (Brazing) وزيادة وضوح عملية الانتشار واتخاذ المعدن المنتشر اشكالاً شجريه. في حين من جانب النحاس يعطي بناء (Epitaxial Growth) ولم يلاحظ حصول اي تشققات ولكن هنالك نمو حبيبي وخصوصاً عند التسخين الى درجة حرارة 700°C .

Abstract:

The purpose of this paper is to be familiarize with the microscopic structure of the welding specimen, before and after heat treatment in which the pure copper (OFHC) has been welded to the low carbon steel (ASTMA36) by the method of fusion welding (Arc Welding) using covered welding electrode (SMAW).

A 12mm thick plates of the two metals were used. The plate have been prepared (Single Butt Joint) where the dissimilar plates copper to steel were welded using (Ecusn8) electrodes. The heat treatment has been carried out to the specimen at 600°C , 700°C then cooled down in the oven. The microscopic test for the welded specimen has been carried out before and after the heat treatment. Before heat treatment It was clear that there exist a separating limit from the steel side with zigzag indicating that interaction was happened giving a (Non-epitaxial) structure with opening windows accompanied by diffusion of masses from the base metal

inside the added metal ,while after heat treatment, it is found that more zigzag and opening cracks in the steel side filled with the added metal by the process of (Brazing) and excess clearness of diffusion process with diffused metal taking a tree shapes , While from the copper side, it showed (Epitaxial Growth) No existence to any cracks was noticed , but there was a granulated growth especially when heated up to 700C° .

المقدمة

إن عملية اللحام الانصهاري (Fusion welding process) يتضمن نوعين رئيسيين من اللحام هما اللحام الغازي (Gas welding) ويتضمن (Oxyacetylene welding) ولحام القوس الكهربائي ويتضمن العديد من الأنواع منها لحام القوس الكهربائي باستخدام أقطاب مغطاة (SMAW) ولحام التنكستن الغاز الخامل (GTAW) ولحام البلازما (PAW) والمعدن غاز خامل (GTAW) وغيرها [1,2] . في حين في لحام الكهرومغناطيسي يتم جمع المعادن دون ذوبان المعادن الأساسية [3] .

إن اللحام باستخدام أقطاب مغطاة (SMAW) من أكثر أنواع اللحام شيوعاً بلحام الفولاذ وهو رخيص وبسيط ويتطلب معدات بسيطة في معظم التطبيقات [4,5] وكذلك يستخدم هذا النوع من اللحام للنحاس وسبائكها باستخدام أقطاب اللحام نوع (Tin bronze) و (Aluminum bronze) واستخدم أساساً للحام المعادن غير المتماثلة [6]. قد اطلق على هذه المنطقة بالمنطقة غير الممزوجة [7] او اطلق عليها المنطقة المتنفذ من المعدن المضاف [8] او اطلق عليها منطقة شبه ممزوجة [9] او اطلق عليها منطقة ما بين المزج وعدم المزج [10] واطلق عليها المنطقة الصلبة [11] وعند لحام معدنين مختلفين وباستخدام معدن ملئ فإن تركيب منطقة اللحام يختلف عن تركيب المعدن الاساس [12] ومن هنا تمت دراسة وصلة لحام تتكون من أساس معدني مختلف حيث تم ربط الفولاذ منخفض الكربون مع النحاس باستخدام معدن مضاف (CuSn8) حيث يهدف البحث إلى دراسة المنطقة الفاصلة بين المعدن الاساس والمعدن المضاف باستخدام البنية المجهرية كأساس لدراسة هذه المنطقة قبل وبعد اجراء المعاملة الحرارية .

الجانب العملي

تم تهيئة العينات المراد لحامها بقياس (60mmx50mmx12mm) للمعدنيين المراد لحامهما من النحاس النقي (OFHC) وفولاذ منخفض الكربون (ASTM A36) والمبين تركيبهما الكيماوي بالجدول رقم (1) وتم استخدام وصلات لحام تناكبيه (Single Butt Joint) للمعدنيين المختلفين كما في الشكل (1) . وقبل عملية اللحام تم تنظيفها من الدهون والاكاسيد لغرض لحامها بشكل جيد بواسطة ماكينة لحام القوس الكهربائي نوع (ESAB 400) وباستخدام قطب اللحام نوع (CuSn8) والمبين تركيبه الكيماوي في الجدول رقم (٢) . تم انتاج وصلات لحام تناكبيه نحاس – فولاذ ومن ثم تم تقطيعها من منطقة اللحام وإجراء عملية التجليخ والتنعيم باستخدام أوراق تنعيم مختلفة من (400 - 1200) وبعدها تم اجراء عملية التنعيم بواسطة مستحلب الالومنيا بحجم (1) إلى (2) ما يكرون ومن ثم تم اجراء عملية الإظهار بواسطة ثالث كلوريد الحديدية لتصوير البنية المجهرية بعد عملية اللحام ، ومن ثم تم اجراء المعاملة الحرارية للعينات نفسها (وصلات اللحام) عند درجة حرارة (600C° , 700C°) وتبريد بطئ في الفرن كما في الشكل (2) . وبعدها أجريت عملية التجليخ والتنعيم وإظهار مرة أخرى للعينات لغرض التصوير المجهر بعد المعاملة الحرارية باستخدام المجهر الضوئي نوع (NIKOR ECLIPSF ME600) حيث تم اخذ صور مختلفة لكافة حالات العمل قبل وبعد المعاملة الحرارية .

مناقشة النتائج

عند اجراء معاملة حرارية عند درجة حرارة ($600C^{\circ}$ و $700C^{\circ}$) فأن وصلات اللحام المختلفة او الغير متشابهة (Dissimilar Joints) وخاصة في لحام الفولاذ المنخفض الكربون الى النحاس النقي باستخدام طريقة اللحام نوع (SMAW) نحصل على مايلي :

1- ان جانب الفولاذ يحصل فيها الظواهر التالية :-

- A - منطقة اللحام المبيبة في الشكل (a-2) سوف يحصل ان المنطقة القريبة من الحد الفاصل سوف تنمو وتتسع كما في الشكل (a-3) ويحصل فيها ايضا" ان التشققات التي سبق وان ملئت بالمونة سوف تتضح وتتسع (Spreading) .
- B- ان عملية المعاملة الحرارية المشار اليها سوف تؤدي بشكل واضح الى ازالة الاجهادات وحصول نمو شجري على جانب المونة كما في الشكل (a-4) .
- C - انه لا بد وان يحدث نمو في منطقة الفولاذ ولكن لا تؤثر ذلك بشكل واضح بالمقارنة مع النحاس كما في الشكل (a-5) والشكل (b-5) حيث يبين ما جاء في A و B بشكل واضح .
- D - الشكل (a-6) والشكل (b-6) يشير الى ما جاء في A, B, C ولكن يبين بشكل واضح (Relaxation) الحاصل في المنطقة المجاورة للحد الفاصل حيث يوضح حركة المونة في التشققات .

2 - اما في ما يخص الجانب الاخر وهو النحاس فأننا نرصد ما يلي :

- A - النمو واضح جدا" بالمقارنة مع الشكل (b-2) حيث يوضح الشكل (b-3) والشكل (b-4) انه هنالك نمو كبير في منطقة المونة ومنطقة الاساس النحاس مما يؤدي ذلك الى تدني في متانة تلك المناطق .
- B- وضوح البناء المعدني بالاتجاه [100] الذي يأتي من النمو من نوع (Epitaxial Growth) والذي يتغير ذلك النمو بالمعاملة الحرارية كما في الشكل (b-4) وكذلك الشكل (a-7) والشكل (b-7) .
- C - الشكل (7) يبين لنا من خلال المعاملة الحرارية حصل زحف في النمو الحبيبي باتجاه الاساس المعدني .

الاستنتاجات

- 1- ان عملية المعاملة الحرارية تؤدي الى نمو شجري في جهة النحاس وازاله واضحة للاجهادات .
- 2- حصول التشققات في جهة الفولاذ مملوءة بالمعدن المضاف اي حصول عملية (Brazing) .
- 3- حصول تغير واضح بالبناء المعدني باتجاه [100] الذي يأتي من النمو نوع (Epitaxial) نتيجة للمعاملة الحرارية وحصول نمو حبيبي .

المصادر

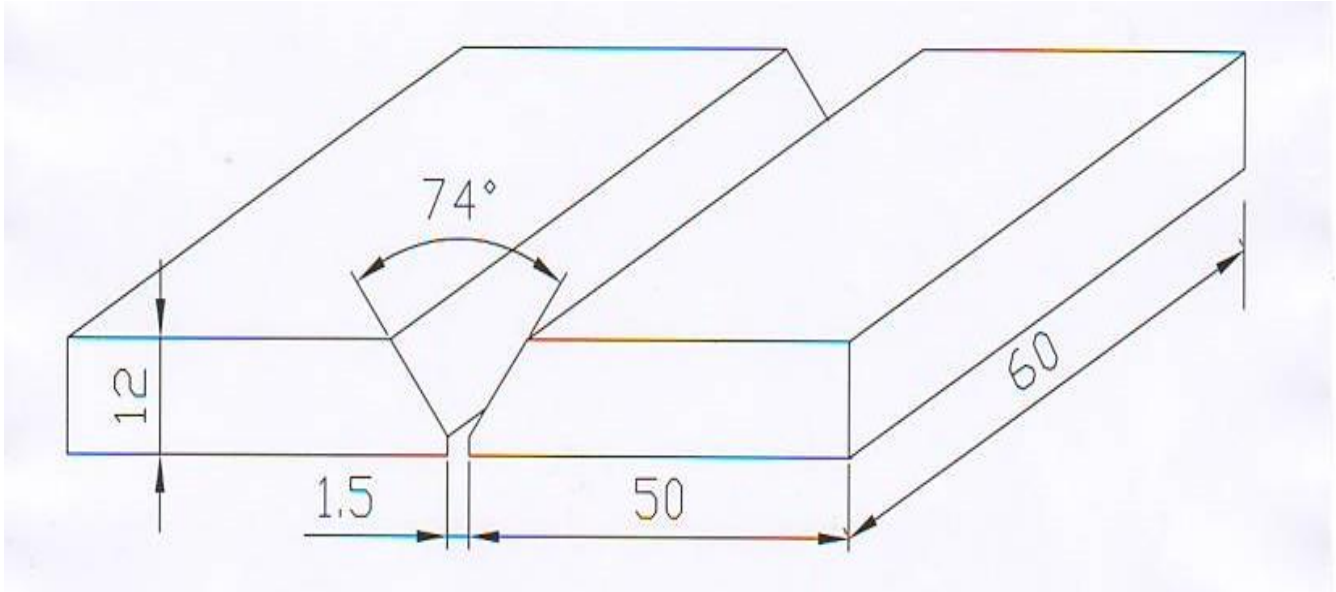
- [1] Sindo Kou,"welding Metallurgy"2ndEdition,John Wiley and Sons Inc, Hoboken,New Jersey(2003). [2] عبدالرزاق اسماعيل خضير ، تكنولوجيا اللحام ، الجامعة التكنولوجية (1993)
- [3] Sach D. Kore.P.P. Date.S.V.Kulkarni. "Application of Electromagnetic Impact Technique for Welding Copper-to-Stainless Steel Sheets ",November 2010 .
- [4] Miller Company processes " Guidelines for Shielded Metal Arc Welding (SMAW)" July (2005) .
- [5] عبدالله عذيب مشاري ، البنية المجهرية والية الربط لملحومات القوس الكهربائي غير المتماثلة الفولاذ- نحاس مجلة جامعة ذي قار العدد (1) 2011
- [6] Lancaster,J.F., "Metallurgy of Welding " , third Edition , George Allen and Unwind London (1980).
- [7] Dowd, J.D., Weld. J ., Vol.31,P.485, 1952 .
- [8] Dudas , J. and Collins F.R., Weld. J.,Vol.45 , P.2415,in Trends in welding Research, ASM International, Materials Park OH, June 1995 ,P. 154 .
- [9] Michaud E.J., Kerr , H.W., and Weak man D.C., in Trends in Welding Research ,ASM International , Materials Park OH, June 1995, P154 .
- [10] Yang ,Y.P., Dong , P, Zhang ,J. and Taine ,X., Weld. J. Vol. 79,P.95 , 2000.
- [11] Gueussier , A. ,and Castro , R., Rev. Metal.,Vol.57,P.119,1960 .
- [12] F.A.Hashim , Q.J.H.Al-Hussniouy ,"Growth Types and Bonding Mechanisms for Copper / Steel Interface by Fusion Welding " ,Vol.2, No. 1, 2011

الجدول (1) التركيب الكيميائي للفولاذ منخفض الكربون والنحاس

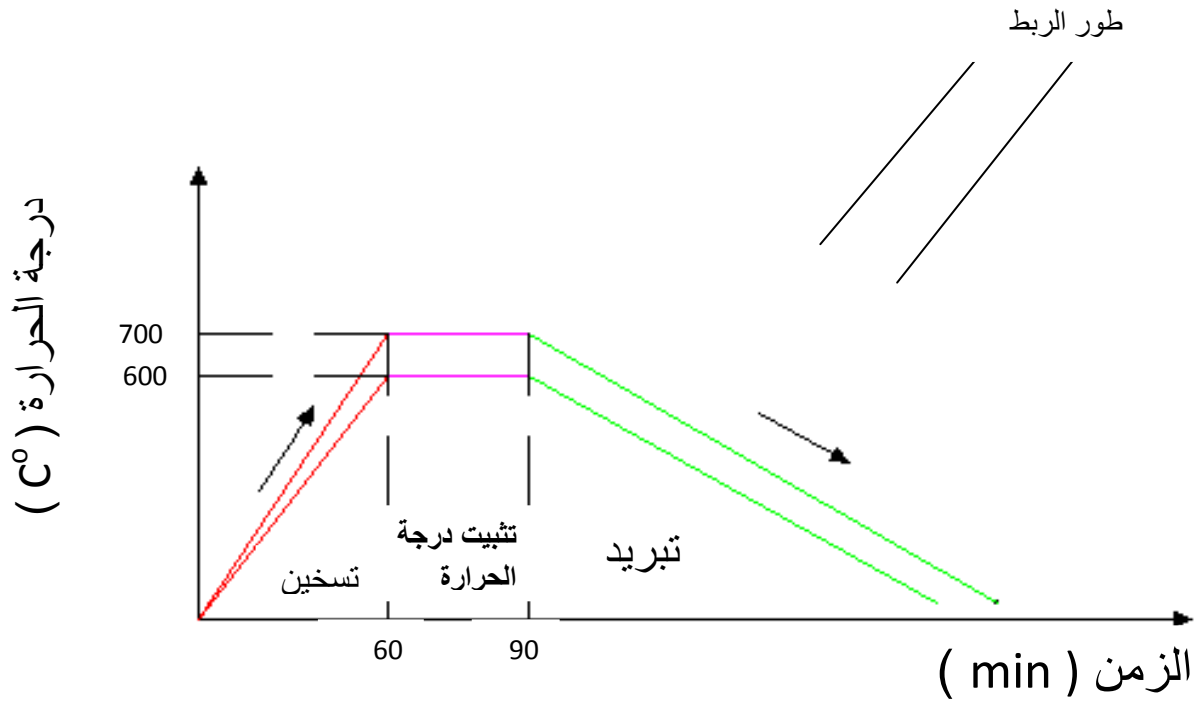
ELEMENT		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	O2	Cu	Fe
Low carbon steel											
AISI 1015	Nominal%	0.13 - 0.18	0.3 - 0.6	-	-	0.129	-	-	-	-	Rem
ASTM A36											
COPPER (OFHC)											
ASTM DS-65(C10100-C15735)	Nominal%	-	-	-	-	-	-	-	0.002 - 0.003	99.9	-

الجدول (2) التركيب الكيميائي لأسلاك اللحام

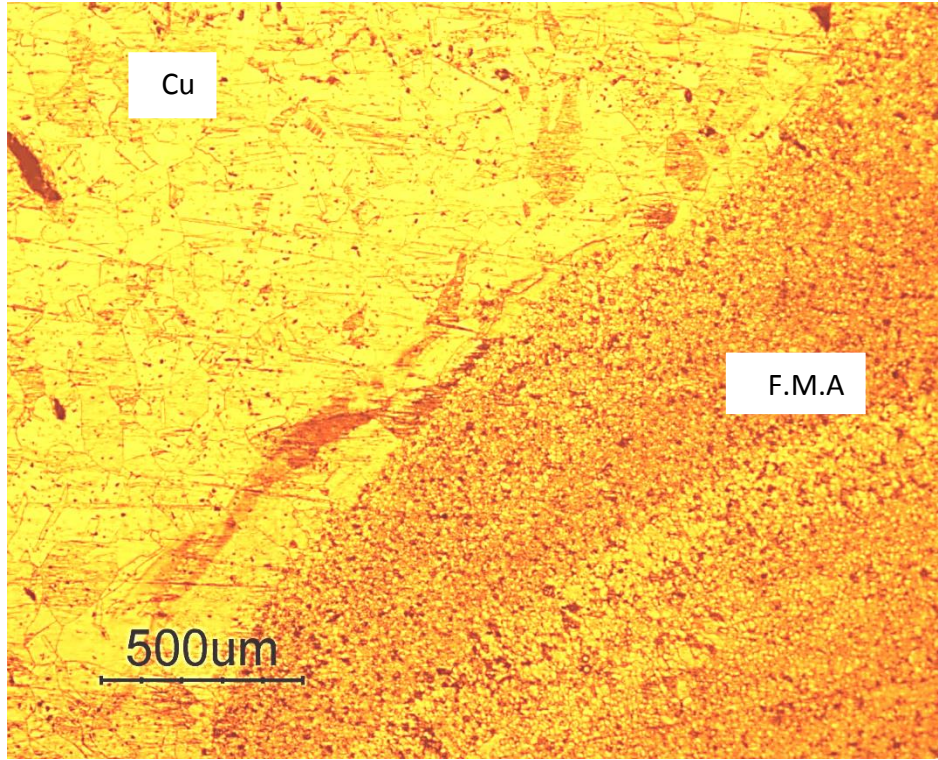
ELECTRODE TYPE	Si	Mn	Cu	Fe	Sn	P
EL-CuSn8	-	0.5	91	-	8	0.1



الشكل (1) تهيئة وصلة اللحام

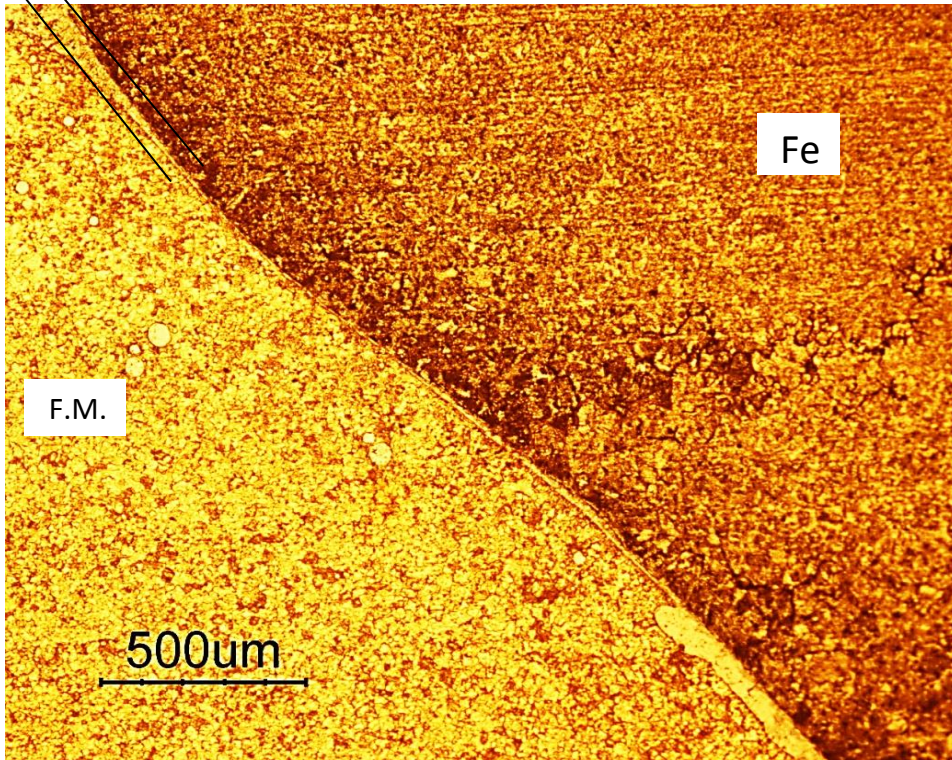


شكل رقم (2) يمثل المخطط الزمني للمعاملة الحرارية عند درجة الحرارة $700C^{\circ}$, $600C^{\circ}$



طور الربط

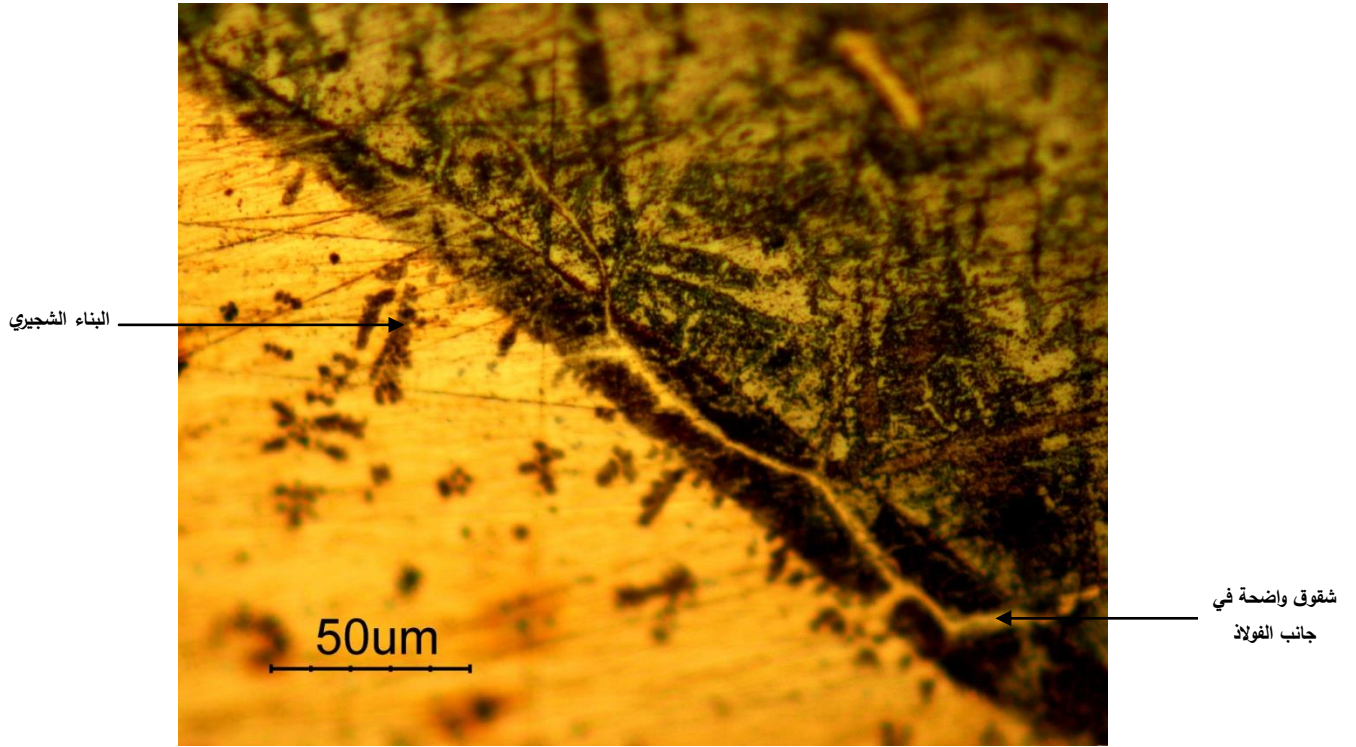
(a)



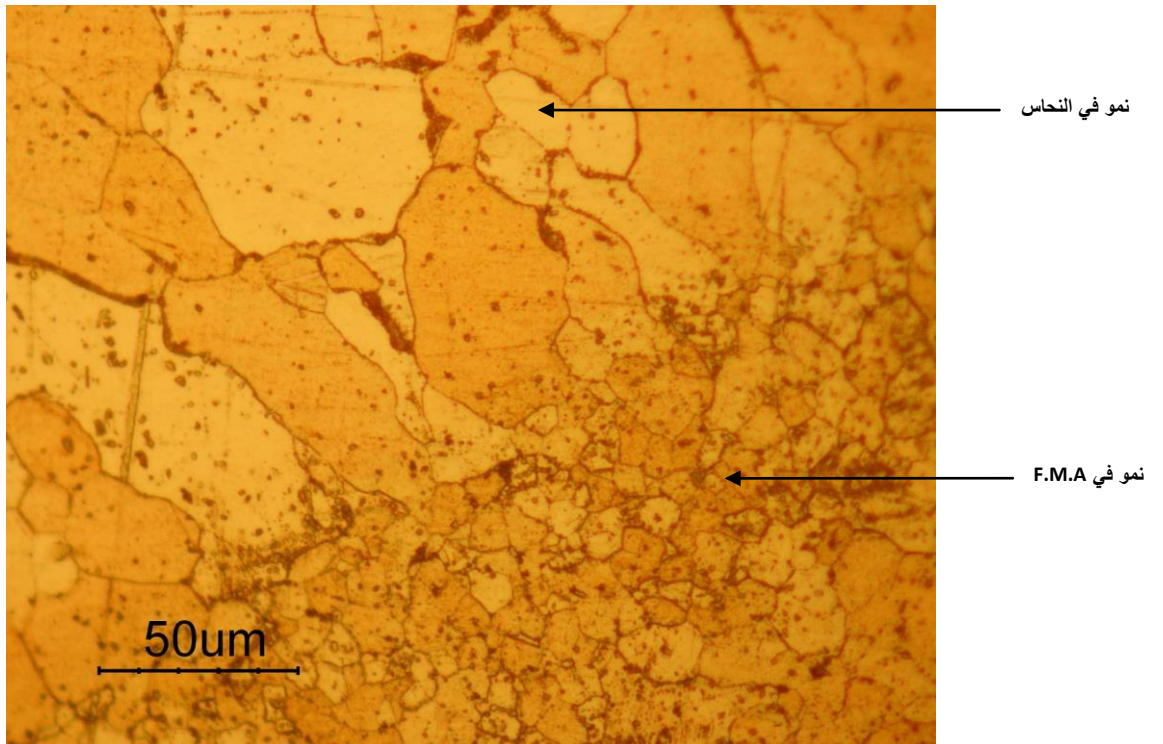
(b)

الشكل (2) يوضح مقارنة بين طور الربط من جانب النحاس (a) وجانب الفولاذ (b) قبل المعاملة الحرارية باستخدام

معدن مضاف نوع CuSn8, 50X

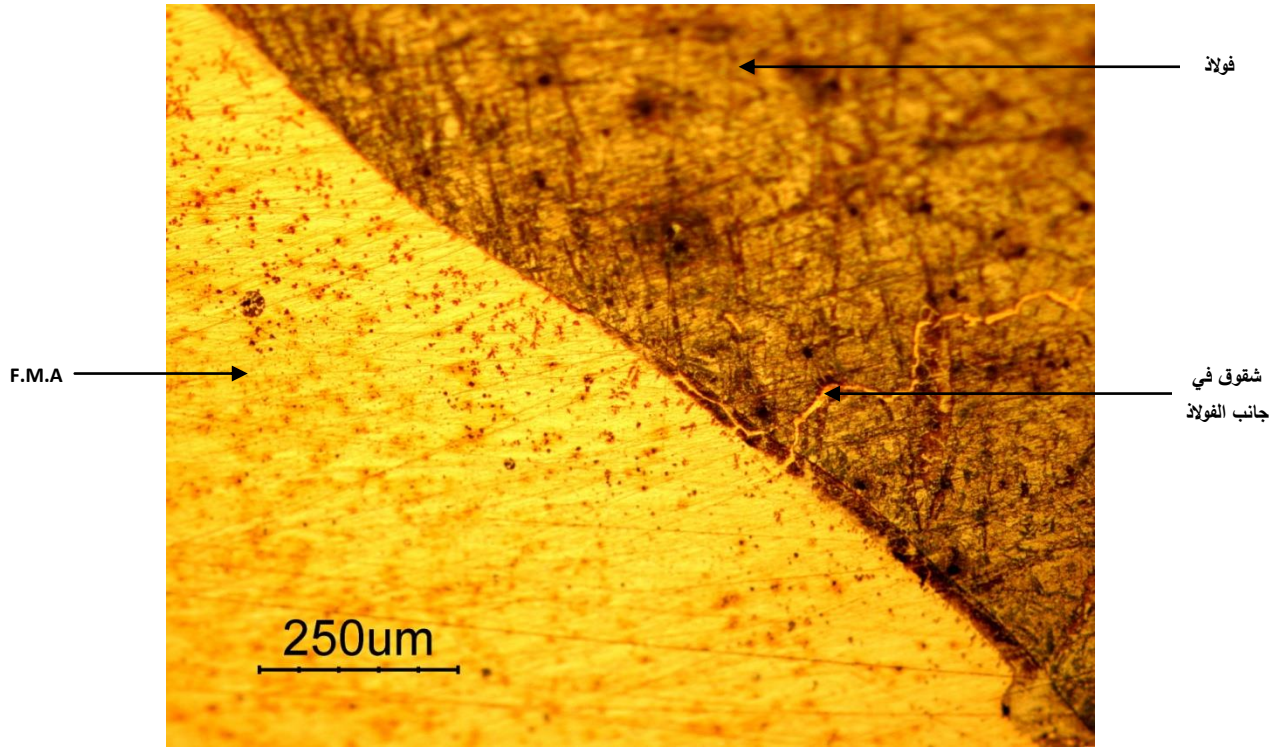


(a)

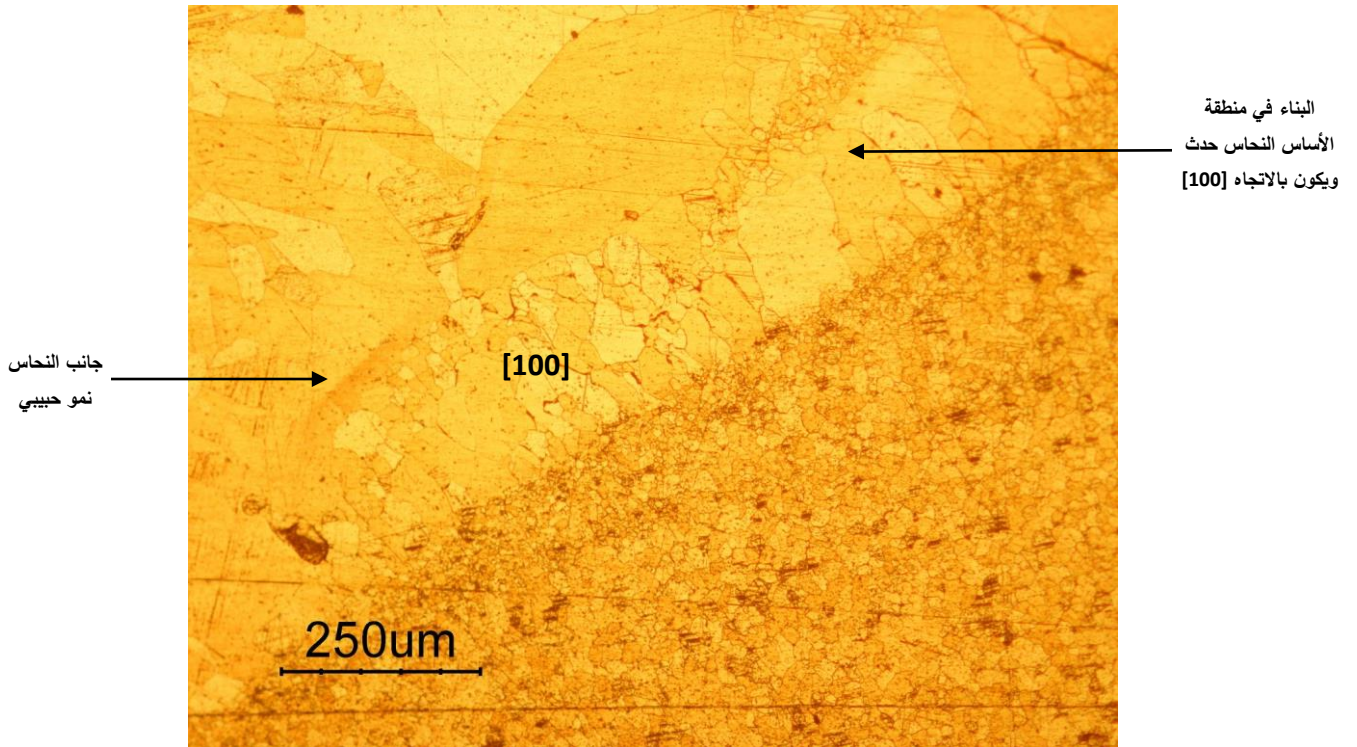


(b)

الشكل (3) يوضح (a) ان الفولاذ عند حدوده مع المونة قد كون بناء شجري واضح وكذلك وجود شقوق في جانب الفولاذ أما في (b) نجد نمو بلوري واضح في جانب النحاس وكذلك الحد الفاصل، X500



(a)

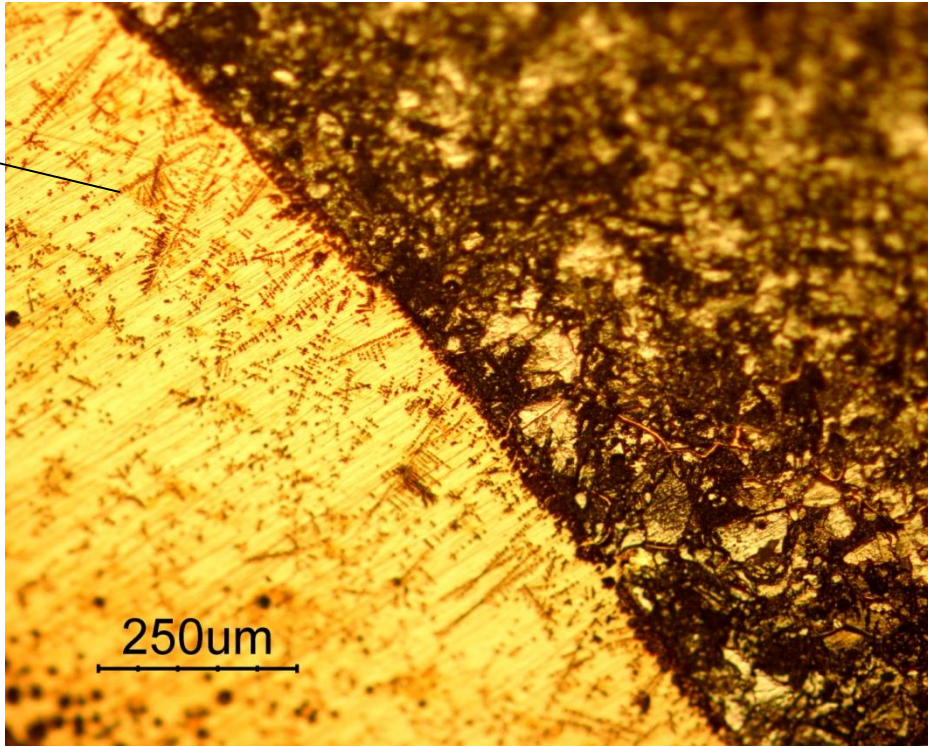


(b)

الشكل (4) يوضح مقارنة بين منطقة الربط من جانب الفولاذ (a) وجانب النحاس (b) بعد المعاملة الحرارية عند درجة

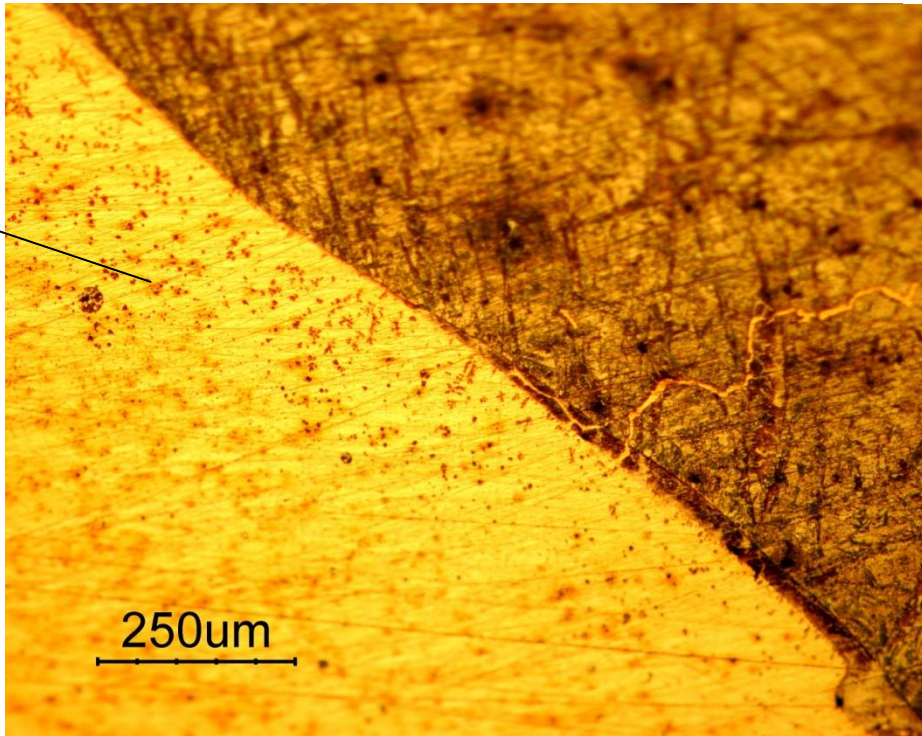
حرارة 600°C X100

نمو شجيري بالقرب
من منطقة اللحام



طور الربط

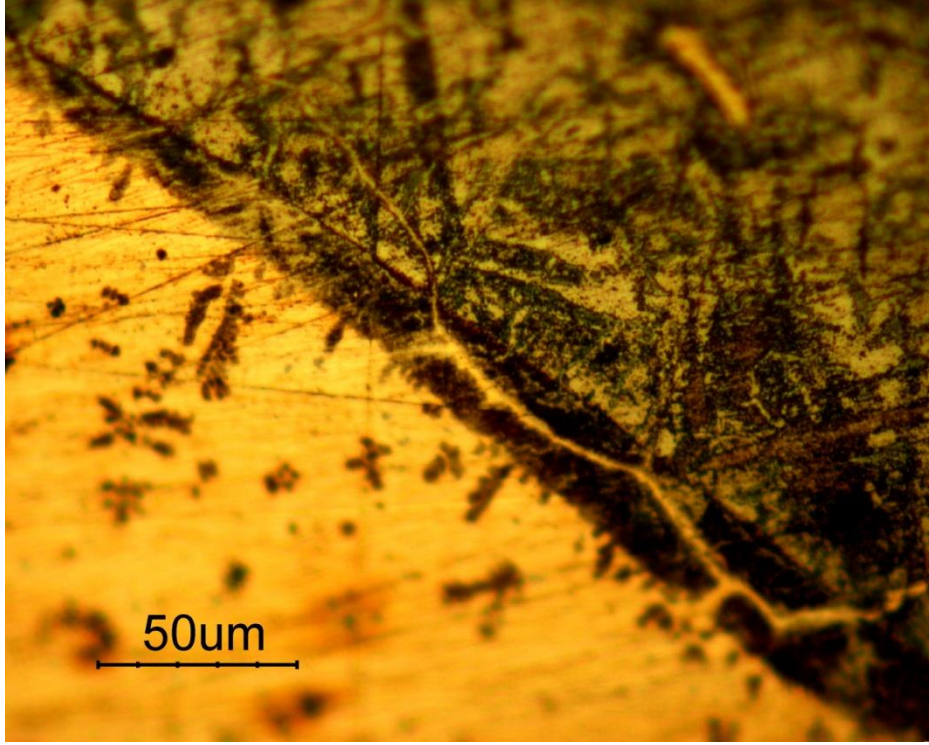
بداية ظهور النمو الشجيري
بالقرب من منطقة اللحام



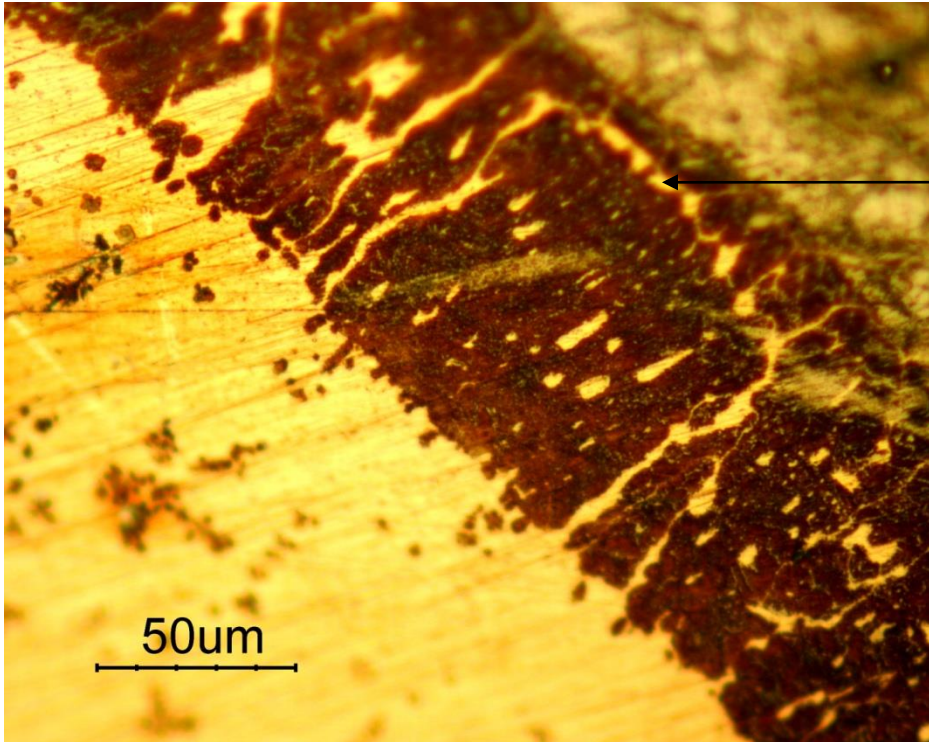
(b)

الشكل (5) يوضح النمو الشجيري واضحا عند (a) بعد المعاملة الحرارية عند درجة حرارة $700C^{\circ}$ في حين بداية ظهور النمو الشجيري عند (b) بعد المعاملة الحرارية عند درجة حرارة $600C^{\circ}$ والشكل يؤكد حقيقة واضحة أنه يتم النمو الشجيري من جانب

الـ F.M.A بجانب الفولاذ، X100

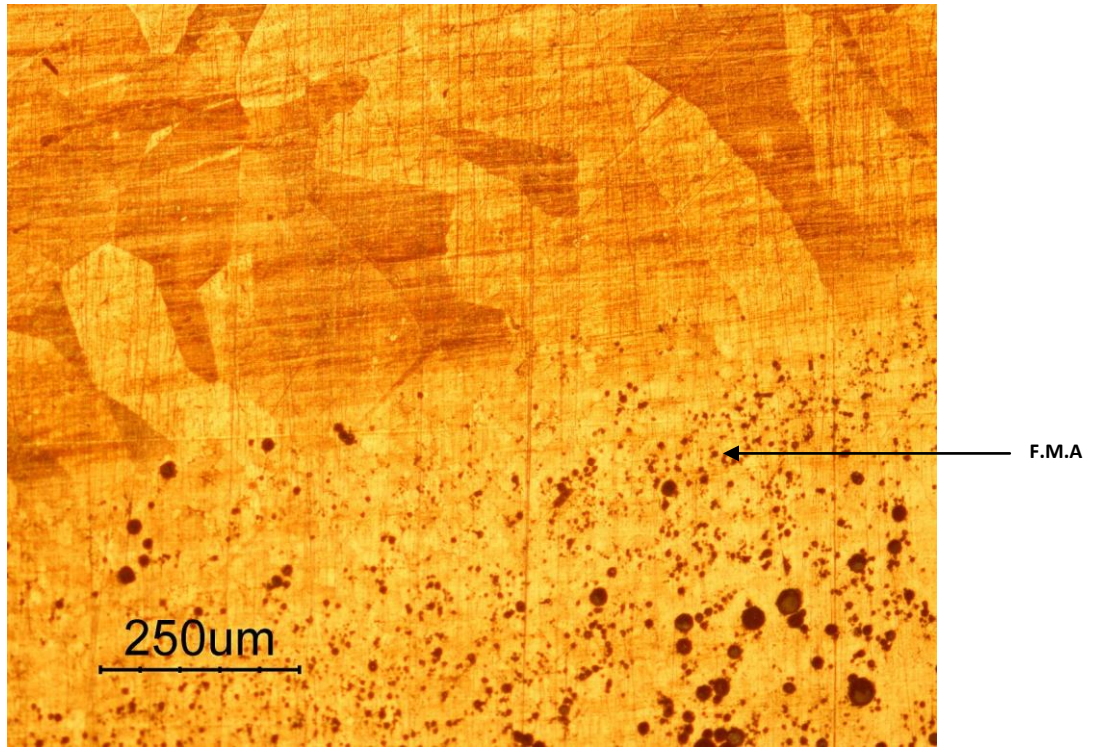


(a)

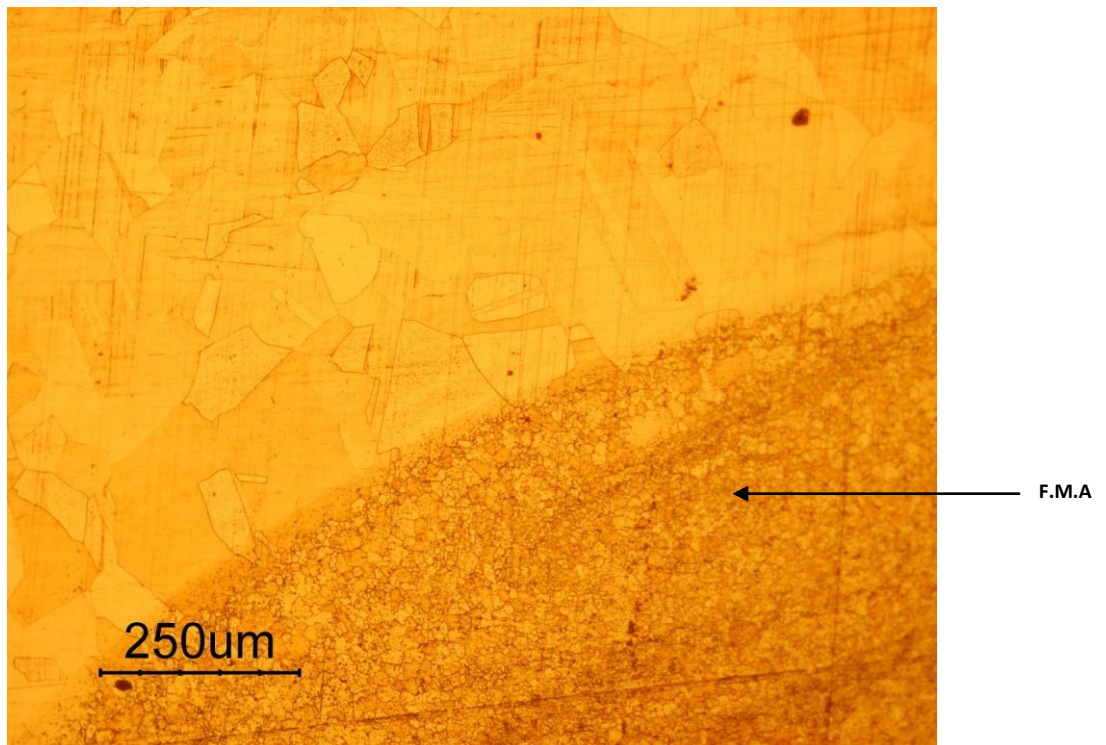


(b)

الشكل (6) يبين أن المعاملة الحرارية تعطي فرصة للنمو البلوري أو الحبيبي وكذلك غلق جميع التشققات التي تنمو أثناء المعاملة الحرارية عند درجة حرارة 600°C من جانب الفولاذ، X100



(a)



(b)

الشكل (7) يوضح مقارنة بين النمو الحبيبي عند التسخين إلى 700°C (a) والتسخين إلى 600°C (b) ، X100

التصميم الأمثل للمعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي باستعمال الخوارزميات الجينية

زحل عبد الهادي حمزة

د. احمد مجيد حمد الكاظمي

مدرس

أستاذ مساعد

جامعة البصرة – كلية الهندسة

جامعة البصرة – كلية الهندسة

الخلاصة

توفر المعالجات المتقدمة المتكاملة لمياه الصرف الصحي حلاً جذرية ومهمة لمشاكل شحة المياه السائدة في العديد من البلدان ذات النظم المناخية الجافة وشبه الجافة ، ويتم ذلك من خلال الحصول على مياه معالجة ذات مواصفات محددة بالإمكان استخدامها لمختلف الأغراض الزراعية والمنزلية والصناعية.

يتركز موضوع هذه الدراسة على استخدام طريقة الخوارزميات الجينية في التصميم الأمثل لوحدات المعالجة المتقدمة وبمختلف أنواعها ومواصفاتها. تهدف مسألة التصميم الأمثل لوحدات المعالجة المتطورة إلى الوصول إلى قيم معايير التصميم المختلفة والتي تعطي أقل قيمة لدالة الهدف وتحقق في الوقت ذاته متغيرات المسألة. وتمثلت دالة الهدف في كلفة وحدات المعالجة بعناصرها المختلفة إضافة لكلفة الصيانة والتشغيل.

تمت دراسة المعالجة المتقدمة لمياه الصرف الصحي وتحديد متغيرات التصميم باعتماد وحدة المعالجة الكيميائية

استخدمت مياه الصرف الصحي الخارجة من محطة المعالجة الثانوية المركزية في منطقة حمدان. استخدم برنامج baltaM والبرامجيات الأخرى المرتبطة في تطوير برنامج الخوارزميات الجينية الذي استخدم في الدراسة لإغراض الحصول على المحددات أعلاه .

احتوت المخرجات في هذه الدراسة على مجموعه المعايير التصميمية المثلى للمعالجة المتقدمة بحيث تحقق هذه المعايير النوعية المطلوبة للمياه المعالجة وباقل كلفه.

Optimal Wastewater Treatment Design

by Using Genetic Algorithm

Dr. Ahmed Majeed Al-Kadmi

Zohul Abdul Hadi

Abstract

Integrated advanced wastewater treatment provides important fundamental solutions to problems associated with water scarcity prevailing in arid and semi arid climatic regions.

This was accomplished through treated water with specific specification and characteristics suitable to be used for agricultural, domestic, and industrial purposes. This study is concerned with the use of genetic algorithm procedure for the optimum design of integrated advance wastewater treatment units, with their various types and characteristics. The aim of optimum wastewater treatment units design is to attain optimum values of certain pre defined objective function.

The objective function is to satisfy certain constraints and achieve minimum capital, maintenance, and operation costs. Chemical clarification treatment unit was used in this study.

This study includes development of computer program for advances wastewater treatment plants design adopting genetic algorithm. The program was developed using Matlab software.

The results obtained from this study include the finding of optimum design criteria for advanced wastewater treatment plants. The obtained design criteria are satisfying the required water quality with minimum treatment cost.

Introduction

Two main objectives of wastewater treatment plants are to maximize the efficiency and minimize the cost. As these two objectives are conflicting, optimization research must be conducted by accessing a specified requirement that restricts the size of the process units to maximum efficiency or minimize cost. The most frequently observed objective is to minimize cost with specified insured efficiency. Different optimization approaches are available and genetic algorithm (GA) is one of them.

The genetic algorithm (GA) approach was found to be useful optimization tool, capable of providing optimal design estimate while

incorporating design and effluent quality constraints [1]. Some of the advantages of a GA include [2]:

- It optimizes with continuous or discrete variables.
- It doesn't require derivative information.
- It, simultaneously, searches from a wide sampling of the cost surface.
- It deals with a large number of variables.
- It optimizes variables with extremely complex cost.
- It provides a list of optimum variables, not just a single solution.
- It may encode the variables so that the optimization is done with the encoded variables.
- It works with numerically generated data, experimental data, or analytical functions.

The aim of this study is to develop GA approach for optimum design of different alternatives of advanced wastewater treatment (AWT) plant. The optimum design includes establishing combinations of design criteria for the incorporated treatment units. To fulfill this aim, the study objectives include:

1. Developing and building a pilot plant of water treatment system to establish mathematical expressions to be used in relating the design criteria of flocculation and sedimentation units (which are mostly applied in AWT plants).
2. Writing a computer program using Matlab software to formulate the problem and perform the best design of AWT plant.

OPTIMIZATION MODEL FORMULATION

The primary objective of the wastewater treatment plant design is to determine design and operating parameters of the process such that the total cost

is minimal and effluent quality meets the set standards. In this study an optimization model has been developed, which combines the GA.

The genetic algorithm is an optimization and search technique based on the principles of genetics and natural selection. A genetic algorithm allows a population composed of many individuals to evolve under specified selection rules to a state that maximizes the “fitness” (i.e., minimizes the cost function) [6].

The genetic algorithm is best illustrated by the simple flow diagram in Fig.(1). The population of strings is randomly initialized giving a diverse range of possible solution. Each of these solutions is evaluated and given a fitness score. At this point the population is examined to see if a suitable solution has been found. This could be obtained when a given goal has been reached or a certain level of improvement has not been achieved over a fixed number of generations. If the stopping criteria have been reached the GA enters loop involving three stages. The first stage is to select a new population based on fitness. This is, in Darwinian terms, performing a 'survival of the fittest' operation on the population. The selected population, which is usually the same size as the initial population, then forms the basis of a mating pool and enters the second stage of the loop. In the second stage, two genetic operations are applied to the mating pool crossover and mutation. The final stage of the loop re-evaluates the evolved population and then the loop return to the start where the stopping criteria are examined. If they are not met the population re-enters the loop, otherwise, the GA exits and the best solution found from the search is chosen [3, 4].

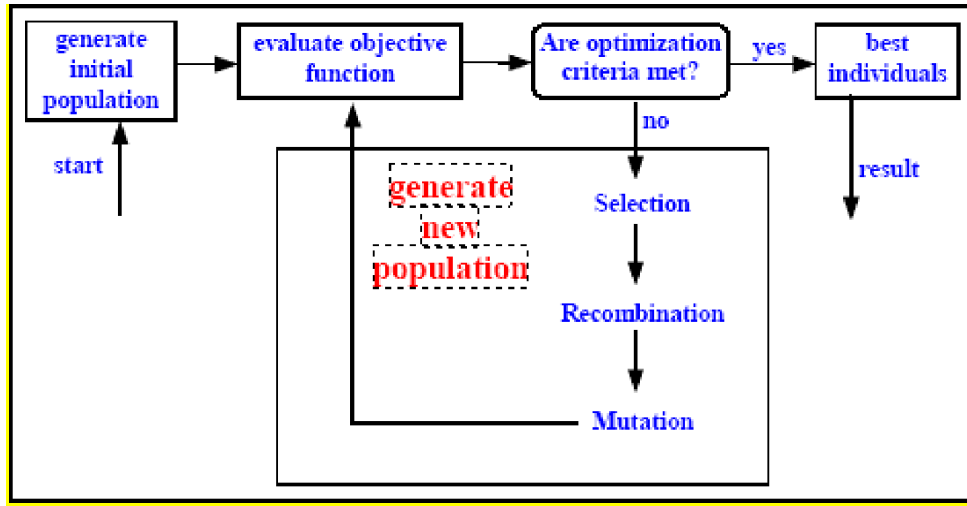


Fig.(1) Structure of genetic algorithm [5].

The basic steps of genetic algorithms development are namely:

- 1) Selection of model parameters (optimization variables),
- 2) Parameters encoding,
- 3) Generation of the initial population,
- 4) Evaluation of the string,
- 5) Selection of the (chromosomes) strings for reproduction [6],
- 6) Crossover of the selected strings, and
- 7) Mutation of the strings.

The adoption of these steps is dependent on type of GA application, which in this studies the design of AWT plant.

In this study, for combination of processes used to treat wastewater. This is particularly true for advanced treatment technologies capable of treating wastewater to a degree of quality appropriate for a specific reuse, making the selection of the most suitable sequence of processes for any potential reuse situation more complex. Chemical clarification unit is used.

Selection of Optimization Variables

Generally, optimization variables are divided into two sets; decision (independent) variables and state (dependent) variables. In designing an AWT plant, the decision variables include the design criteria of all the treatment units plant, while, the effluent quality and treatment cost are the state variables. The GA optimization determines the optimal values for all decision variables which are represented by the chromosomes. For the optimum design of AWT train

using GA, the optimization variables depend on type of AWT plants. The design variables for chemical clarification unit are;

$$[t_{ra}, G_{ra}, No_{ra}, t_f, G_f, No_f, t_s, SOR, No_s]$$

t_{ra} , G_{ra} , and No_{ra} = detention time, velocity gradient, and number of rapid mix tanks, respectively.

t_f , G_f , and No_f = detention time, velocity gradient, and number of flocculation tanks, respectively.

t_s , SOR , and No_s = detention time, surface overflow rate, and number of sedimentation tanks, respectively.

Specification of Objective Function

The objective function of AWT plant in the current population is taken as the sum of the annual costs, which is to be minimized. A general form of the applied objective function is;

$$\text{Minimize } f(x) = \sum_1^N C_i \quad \dots(1)$$

where:

$f(x)$ = objective function in terms of the total costs.

C_i = annual cost of individual unit that includes capital and operation and maintenance costs.

N = number of treatment units in each AWT unit.

x = decision variables

Formulation of Cost Function

The annual cost of water treatment includes the annualized capital cost, annual operation and maintenance cost, and land requirement cost. "Capital costs" refers to the investment required to construct and begin the operation of the plant, principally materials, labor, and interest. Operation and maintenance costs include the costs associated with the labor, material, and energy required to operate and maintain the treatment plant [7]. The annual cost function for treatment unit-i can be written as:

$$C = ACC + LC + OMC \quad \dots(2)$$

where:

ACC = annualized capital cost of treatment unit, \$

LC = land cost of treatment unit, \$

OMC = annual operation and maintenance cost of treatment unit, \$.

The annualized capital cost can be determined by spreading out the capital cost over a given number of years at a specific interest rate, and is defined as [8];

$$ACC = CC \times CRF \quad \dots(3)$$

$$CRF = \frac{m(1+m)^n}{[(1+m)^n - 1]} \quad \dots(4)$$

where CC is the capital cost of treatment unit, CRF is capital recovery factor, m is the interest rate per year, and n is the number of years over which the cost will be spread. In this study, all the capital costs shall be spread over a period of 20 years at a 8 percent annual rate of interest.

Chemical Clarification Unit

Chemical clarification process which is composed of three treatment units; rapid mix, flocculation, and sedimentation. For this treatment plant, Eq.(1) is rewritten as;

$$\text{Minimize } f(x_j) = \sum_1^3 C \quad \dots(5)$$

where; $j = 9$, $x_j \in \{t_{ra}, G_{ra}, NO_{ra}, t_f, G_f, NO_f, t_s, \text{SOR}, NO_s\}$, and $i= 1, 2$, and 3 for rapid mix, flocculation, and sedimentation units, respectively.

For this treatment unit, the annual cost function (Eq. 2) is rewritten as;

$$C_i = ACC_i + LC_i + OMC_i \quad \dots(6)$$

Specification of Design Variables Constraints

The objective functions given above were subjected to a set of design and behavioral constraints. These constraints define the physical boundaries of the decision variables and are written in the form of equality or inequality functions, and as shown below:

The constraints of the chemical clarification unit refers as g can be stated as follows :

- a) The power of mixing in rapid mix unit vary over the range (2-5) kW/m³ per min. [9];

$$g_1: 2 \leq G_{ra}^2 \times \mu / t_{ra} \leq 5 \quad \dots(7)$$

- b) The product of velocity gradient and detention time of flocculation unit varies over the range (10⁴-10⁵). [10];

$$g_2: 10^4 \leq G_f \times t_f \leq 10^5 \quad \dots(8)$$

- c)The diameter of settling tank is not exceeding 60m [7];

$$g_3: \left(\frac{4Q}{\pi SOR NO_s} \right)^{0.5} \leq 60 \quad \dots(9)$$

- d) The weir loading rate in settling tank is not greater than 250m³/day/m [9];

$$g_4: \frac{Q}{\pi \left(\frac{4Q}{\pi SOR NO_s} \right)^{0.5}} \leq 250 \quad \dots(10)$$

- e) The depth of the settling tank varies over the range (3- 4) m [7];

$$g_5: 3 \leq SOR \times t \leq 4 \quad \dots(11)$$

- f) The concentration of effluent suspended solids is not greater than SS_{max}, where SS_{max} varies over the rang (5-10) mg/l [1];

SS_{ef} = 5,6,7,8,9,10 in the first run, second run , third run and so on.

$$g_6: SS_{ef} \leq SS_{max} \quad \dots(12)$$

Normalization of the Constraints

The constraints have to be normalized so that each one of them varies between: 1 and 0 only. This is essential to get a good convergence rate during optimization process [11]. This can be made by transformation of the constraints to the following form:

$$\check{g}_j(x) = y_j(x) - 1 \quad \dots(13)$$

where; \check{g}_j is normalized value of constraint g_j , $y_j(x)$ is a function of design variables, and j is the number of the constraints. The normalized values of the adopted constraints are given in Table (1).

Bounds of the Design Criteria

The bounds (or boundary limits) of any problem are the minimum and maximum values of all decision variables, which are in this study, the design criteria of AWT unit. The boundary limits of the problem under consideration were chosen to be the most frequent applied criteria. These limits are presented in Table (2).

Table (1) Normalized values of constraints

j	Normalized value (\check{g}_j)
1	$-1 + 2 \times t_{ra}/G_{ra}^2 \times \mu \leq 0$; for $p \geq 2 \text{ kW/m}^3$ per min
	$1 - 5 \times t_{ra}/G_{ra}^2 \times \mu \leq 0$; for $p \leq 5 \text{ kW/m}^3$ per min
2	$-1 + 10^4/(G_f \times t_f) \leq 0$; for $(G_f \times t_f) \geq 10^4$
	$1 - 10^5/(G_f \times t_f) \leq 0$; for $(G_f \times t_f) \leq 10^5$
3	$1 - \frac{60 \times \sqrt{\pi \times SOR \times NO_s}}{\sqrt{4 \times Q}} \leq 0$
4	$1 - \frac{250 \times \pi \times \sqrt{4 \times Q}}{Q \sqrt{\pi \times NO_s \times SOR}} \leq 0$
5	$-1 + \frac{3}{(t_s \times SOR)} \leq 0$; for water depth $\geq 3 \text{ m}$
	$1 - 4/(SOR \times t_s) \leq 0$; for water depth $\leq 5 \text{ m}$
6	$1 - \frac{SS_{max}}{SS_{in} - SS_{in} \times \left(\frac{t_s}{t_f} \right)^{0.075}} \leq 0$; for alum dose= 10mg/l
	$1 - \frac{SS_{max}}{SS_{in} - SS_{in} \times \left(\frac{t_s}{t_f} \right)^{0.063}} \leq 0$; for alum dose= 20mg/l

$1 - \frac{SS_{max}}{SS_{in} - SS_{in} \times \left(\frac{54.55 \left(\frac{t_s}{t_f} \right)^{0.265}}{100} \right)} \leq 0; \text{ for alum dose} = 30\text{mg/l}$
$1 - \frac{SS_{max}}{SS_{in} - SS_{in} \times \left(\frac{66.20 \left(\frac{t_s}{t_f} \right)^{0.133}}{100} \right)} \leq 0; \text{ for alum dose} = 40\text{mg/l}$
$1 - \frac{SS_{max}}{SS_{in} - SS_{in} \times \left(\frac{70.17 \left(\frac{t_s}{t_f} \right)^{0.052}}{100} \right)} \leq 0; \text{ for alum dose} = 50\text{mg/l}$

Table (2) The boundary limits of design criteria

Design criteria	Minimum value	Maximum value
t_{ra}	15	60
G_{ra}	500	1500
No_{ra}	2	10
t_f	600	1800
G_f	20	200
No_f	2	10
t_s	3600	14400
SOR	21	75
No_s	2	10

Computation of Penalty Functions

In optimization techniques, external penalty functions are used to convert a constrained problem into an unconstrained problem. This is to be done in order to penalize infeasible solution to feasible solution. The optimum design of AWT plant is considered, the goal of optimization problem is to find the values

of the design variables (t_{ra} , G_{ra} , No_{ra} , t_f , G_f , No_f , SOR , t_s , No_s) which minimize the cost function (C_1) under the six constraints (g_1 to g_6) stated above.

To solve this constrained optimization problem by genetic algorithm, the penalty function is used to take the constraints into consideration and convert the above constrained problem to an unconstrained one by penalizing infeasible solutions. The new objective function becomes:

$$C(x, R_{pj}, r) = f(x) + \sum_{j=1}^m R_{pj} \langle \check{g}_j(x) \rangle^2 + \sum_{k=1}^n r_k [h_k(x)]^2 \quad \dots(14)$$

where the parameters R_{pj} and r_k are the penalty parameters for inequality (g_j) and equality (h_k) constraints, respectively. In the current application, there are no equality constraints, while there are six inequality constraints.(i.e., $m=6$). In terms of design variables of the present application, Eq.(14) can be written as;

$$\begin{aligned} C(t_{ra}, G_{ra}, No_{ra}, t_f, G_f, No_f, SOR, t_s, No_s, R_p) = \\ f(t_{ra}, G_{ra}, No_{ra}, t_f, G_f, No_f, SOR, t_s, No_s) + \\ \sum_{j=1}^6 R_{pj} \langle \check{g}_j(t_{ra}, G_{ra}, No_{ra}, t_f, G_f, No_f, SOR, t_s, No_s) \rangle^2 \end{aligned} \quad \dots(15)$$

For Alum dose= 10mg/l, as an example, Eq.(15) can be written as;

$$\begin{aligned} C(t_{ra}, G_{ra}, No_{ra}, t_f, G_f, No_f, SOR, t_s, No_s, R_p) = C_1 + Rp \times \left(\langle -1 + \right. \\ \left. \left(2 \times \frac{t_{ra}}{G_{ra}^2 \times \mu} \right) \rangle^2 + \langle 1 - \left(5 \times \frac{t_{ra}}{G_{ra}^2 \times \mu} \right) \rangle^2 + \langle -1 + \frac{10^4}{(G_f \times t_f)} \rangle^2 \right) \\ + \langle 1 - \frac{10^5}{(G_f \times t_f)} \rangle^2 + \langle 1 - \frac{60 \times \sqrt{\pi SOR No_s}}{\sqrt{4 \times Q}} \rangle^2 + \langle 1 - \frac{250 \times \pi \times \sqrt{4 Q}}{Q \sqrt{\pi No_s SOR}} \rangle^2 + \\ \left. \langle -1 + \frac{3}{(SOR) \times (t_s)} \rangle^2 + \langle 1 - \frac{5}{SOR \times t_s} \rangle^2 + \langle 1 - \left(\frac{SS_{in} - SS_{ef}}{\frac{SS_{in} \times 100 \left(\frac{t_s}{t_f} \right)^{0.075}}{100}} \right) \rangle^2 \right) \quad \dots(16) \end{aligned}$$

In the above form of cost function, the brackets operate if the constraint is violated ($g_j > 0$), and they become equal to zero otherwise. Reproduction operation is performed with the penalized objective, instead of the original objective function. In this way, the reproduction operator discourages the propagation of the infeasible solutions to future generations.

The parameter R_p can be calculated according to the following expression [12];

$$R_p = 0.1 \text{ to } 1.0 \times \frac{C(x, R_{pj}, r)}{-\sum_{j=1}^J g_j} \quad \dots(17)$$

However, it was found that as the values of R_p become large, the optimum solution is reached rapidly. In the present study the value of R_p was taken to be 1.0.

Results and Discussion

According to GA terminology, the search is for a chromosome consists of the nine elements (genes) that minimizes the objective function along with satisfying all the design criteria and effluent quality. During the application of GA in designing AWT unit, the effect of varying the concentrations of influent and effluent suspended solids (SS_{in} , and SS_{ef}) on optimum design criteria was studied. This was done by taking the minimum, average, and maximum values of SS_{in} from the effluent of Hamdan Sewage Treatment Plant located south of Basra (HSTP). This treatment plant serves Basrah city. The sewage is secondary treated in HSTP using conventional activated sludge system. which are 35, 100, and 134 mg/l, respectively, and by considering SS_{ef} of 5, 6, 7, 8, 9, and 10mg/l. The adopted values of SS_{ef} were selected to be within the accepted range of SS in water to be reused for agricultural, domestic, industrial, and groundwater recharge. Also, the effect of varying the alum dose, which affects the relation between t_s and t_f , on the optimum values of design criteria was studied.

The obtained results of GA application for the optimum design of AWT were plotted in term of each design criterion verses SS_{ef} for different SS_{in} at

specific value of alum dose and maximum influent flowrate. Table (3) shows the figure numbers with the applied conditions and the obtained optimum values of design criteria.

Table (3) Optimum design criteria of AWT unit for dose 10mg/l.

Alum dose (mg/l)	Design Criteria	Optimum values range*	Reference figures
10	t_{ra}	15-15.25	2
	G_{ra}	500-500.0033	3
	t_f	600-600.015	4
	G_f	20.20.33	5
	t_s	1-1.0027	6
	SOR	75-76	7

- t_{ra} and t_f in sec, G_{ra} and G_f in sec^{-1} , t_s in hr., and SOR in m/day.
- The small difference in the values because of the accuracy of GA.

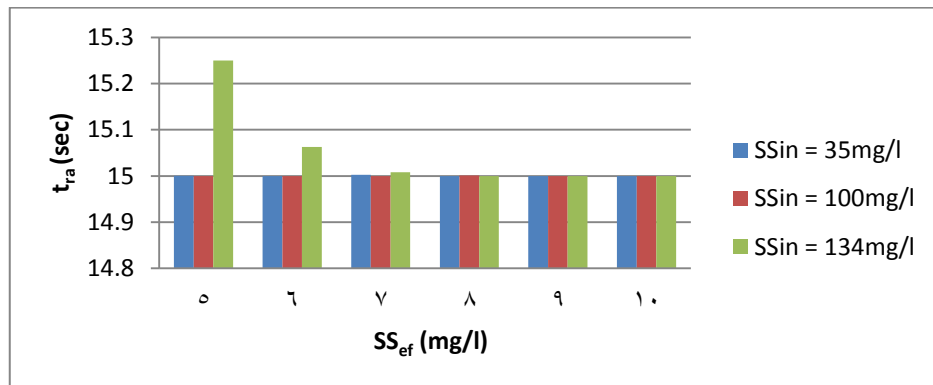


Fig.(2) Effect of SS_{in} and SS_{ef} on t_{ra} for max influent flowrate and alum dose =10mg/l

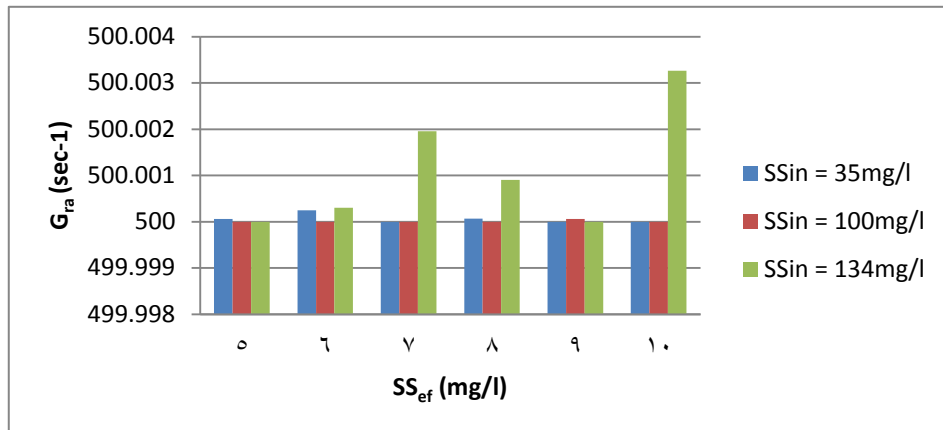


Fig.(3) Effect of SS_{in} and SS_{ef} on G_{ra} for max influent flowrate and alum dose = 10mg/l

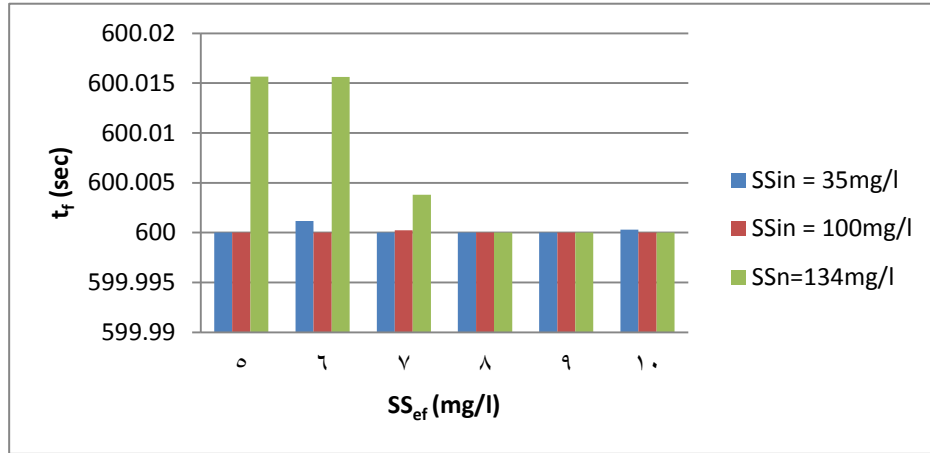


Fig.(4) Effect of SS_{in} and SS_{ef} on t_f for max influent flowrate and alum dose = 10mg/l

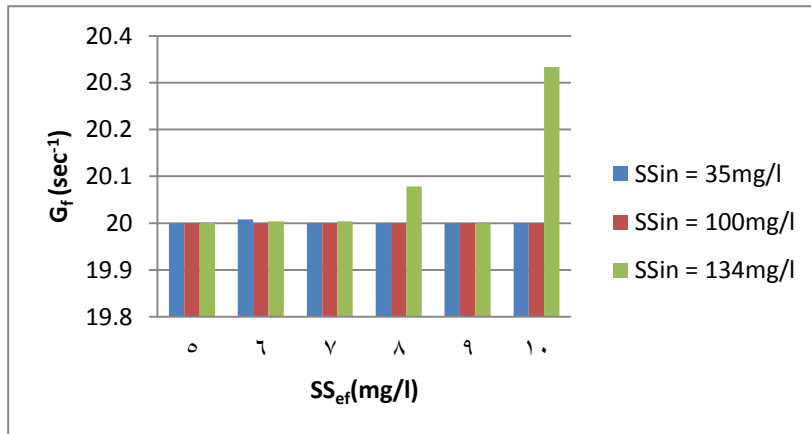


Fig.(5) Effect of SS_{in} and SS_{ef} on G_f for max influent flowrate and alum dose = 10mg/l

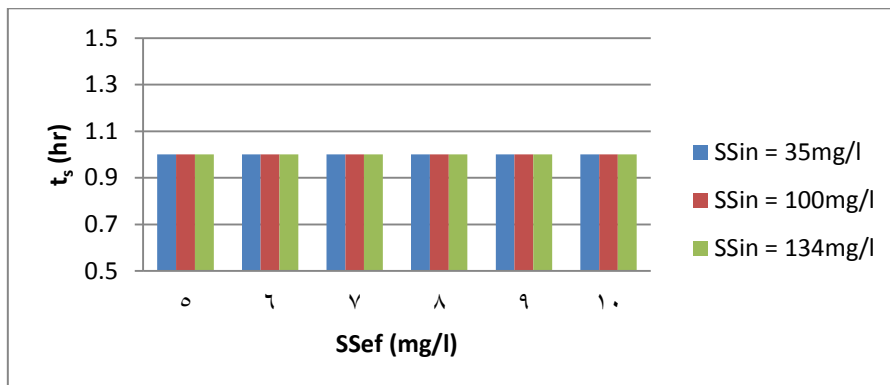


Fig.(6) Effect of SS_{in} and SS_{ef} on t_s for max influent flowrate

and alum dose = 10mg/l

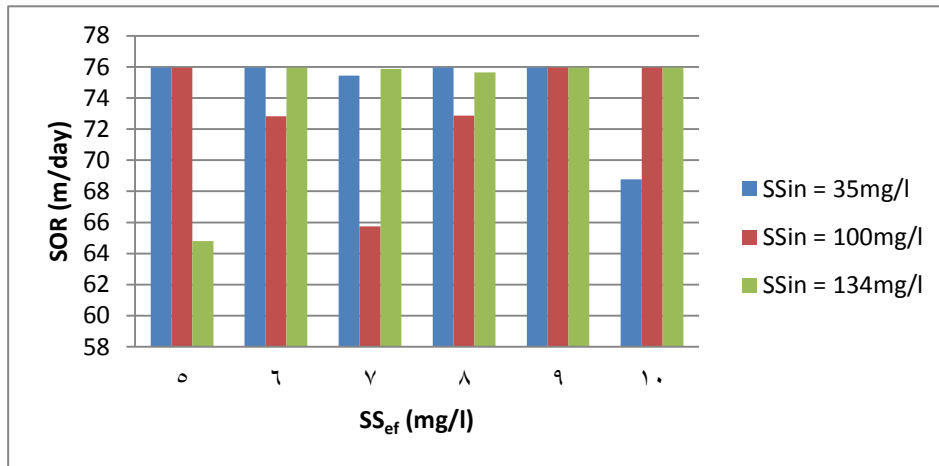


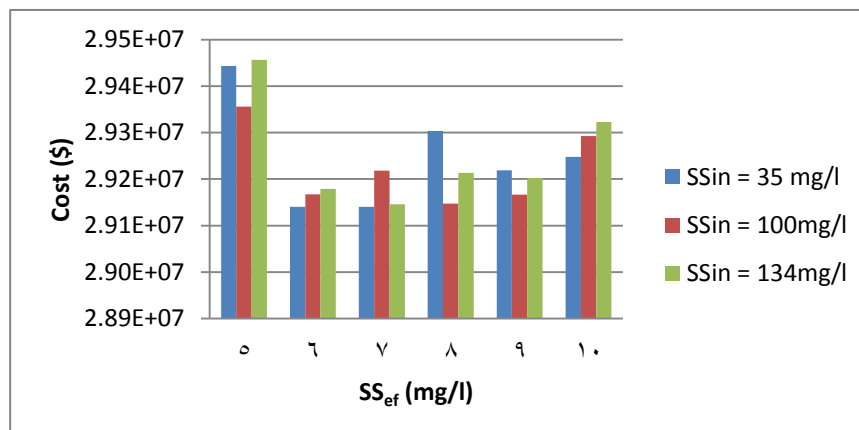
Fig.(7) Effect of SS_{in} and SS_{ef} on SOR for max influent flowrate and alum dose = 10mg/l

From Table (3), the followings can be noticed:

- 1- The detention time and velocity gradient of rapid mix unit (t_{ra} and G_{ra}) are not influenced by the variations of SS_{in}, SS_{ef}. The obtained optimum values are the minimum and equal to 15sec and 500 sec⁻¹, respectively.
- 2- The optimum value of t_f is not influenced by the variations of SS_{in}, SS_{ef}, and alum dose and the optimum value is 600 sec.
- 3- The optimum number of tanks for rapid mix , flocculation , and settling tanks was found to be constant and not changed with the variations of SS_{in}, SS_{ef}.

Cost of AWT unit

For the optimum design of AWT unit, the cost of the unit was plotted verses SS_{ef} for the three considered values of SS_{in} for alum dose of 10 mg/l as shown in Fig. (8).



**Fig.(8) Effect of SS_{in} and SS_{ef} on treatment cost for
max influent flowrate and alum dose = 10mg/l**

From fig.(8), it can be shown that:

- 1- The maximum cost is obtained for minimum SS_{ef} which is 5 mg/l and for this value.
- 2- For specific SS_{ef} value, there is no clear relation between treatment cost and SS_{in} .
- 3- For specific SS_{in} value, there is no clear relation between treatment cost and SS_{ef} .

Conclusions

From the development and application of advanced wastewater treatment plant, the following conclusions can be drawn within the scope of the present study:

- 1- Genetic Algorithm was found to be very powerful technique for operating and defining optimum values of the parameters used in design of the advanced wastewater treatment system.
- 2- A penalty function can be used to find the global optimum design of constrained problems such as of advanced wastewater treatment design and in conjugation with the genetic algorithm developed in this study.
- 3- The optimum value of design variables in rapid mix unit t_{ra} , and G_{ra} are found to be within minimum value and equal to 15sec, and 500sec^{-1} respectively, and is not influenced by the variations of SS_{in} , SS_{ef} .
- 4- The optimum value of design variable detention time in the flocculation unit (t_f) is not influenced by the variations of SS_{in} , SS_{ef} , and it is found to be within minimum value of the range of 10min.

- 5- The chemical clarification cost is found to be increased with maximum value of SS_{in} and minimum SS_{ef} .

References

- [1] **Metcalf & Eddy, I.**, "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", 4th edition., McGraw Hill Companies, Inc', New York, 2003.
- [2] **Busacca, P. G., Marseguerra, M., Zio, E.** " Multiobjective optimization by genetic algorithms: application to safety systems". Reliability Engineering and System Safety, 72 (2001); 59-74.
- [3] **Beasley, D., Bull, D. R., and Martin, R. R.** "An overview of genetic algorithms." Part 1 & II, University Computing, University of Cardiff, UK, 2. 1993.
- [4] **Michalewicz, Z.** "Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs", Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, USA, 1996.
- [5] **Chambers, L.** "The Practical Handbook of Genetic Algorithms", Chapman and Hall/CRC, USA, 2001.
- [6] **Goldberg, D.E.** "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley: New York, NY, USA, 1989.
- [7] **Gupta, A.K., Shrivastava R. K.** "Integral Water Treatment Plant Design Optimization: A Genetic Algorithm Based Approach" IE(I) Journal-EN, Vol. 87, 2006.
- [8] **Hackney, J. and Wiesner, M.R.**" Cost assessment of Produced Water Treatment". May, 1996.
- [9] **Steel, E. W. and McGhee, T. J.**, "Water supply and Sewerage", 6th edition., Mc Graw-Hill, Inc, 1991.

- [10] **Culp, R. L., Wesner, G. M. and Culp, G. L.** “*Handbook of Advanced Wastewater Treatment.*” 2nd edition, New York, N.Y.: Van Nostrand Reinhold Company, 1978.
- [11] **Rao, S.S.** "Engineering Optimization" Theory and Practice, third edition, John Wiley & Sons, Inc., Wiley Eastern Limited, Publishers, and NewAge International publishers, Ltd. 1996.
- [12] **Joghataie, A. , and Takaloozadeh, M.,** " Improving Penalty Functions For Structural Optimization" , Transaction A: Sharif University of Technology, Civil Engineering Vol. 16, No. 4, pp. 308-320, , August 2009.