# دراسة البنية المجهرية لوصلات الفولاذ والنحاس المربوطه بطريقتي المونه والبرصمه [+]

# MICROSTRUCTURAL STUDY OF STEEL TO COPPER BRAZED AND SOLDERED JOINTS

عبد الله عذيب مشاري [*] عبد الكريم سعدون محسن [*]

**المستخلص:**

**يهدف البحث الى دراسة البنية المجهرية في منطقة الربط بين الفولاذ منخفض الكاربون (ASTM A36) والنحاس النقي (OFHC) بطريقتي لحام المونة (Brazing) والبرصمة (Soldering) وبأستخدام نوعين من المعدن المضاف بالنسبة للحام المونة وهما (DIN S-CuZn40Si) و (AWS LCuP-7) بينما أستخدم نوع واحد في لحام البرصمة هو الأيوتكتك (Sn-Pb). تم أستخدام معدات اللحام الغازي (Oxyacetylene gas welding) في عملية اللحام لوصلات لحام ذات ربط تراكبي (Lap joint) ومن خلال دراسة البنية المجهرية بأستخدام المجهر الضوئي أوضحت النتائج وجود خط فاصل وطور ربط (Bonding phase and interface) واضح من الممكن حساب أبعاده بينما لم يبين لحام البرصمة ذلك وكذلك بين لنا أن الألفة العالية ما بين المعدن المضاف والمعدن الأساس تقلل من وجود العيوب في منطقة الربط.**

**Abstract:**

**The purpose of this work is to study the microstructure of the bonding zone between the low carbon steel (ASTM A36) and the pure copper (OFHC) by two welding process, brazing and soldering.**

**In brazing process, two types of filler metal alloy were used, namely (DIN S-CuZn40Si) and (AWS LCuP-7), while in soldering process only eutectic soldering filler of (Sn-Pb) was used. Oxyacetylene gas welding technique has been used in welding of Lap-joint type.**

**Microscopic examinations showed that there is a clear bonding phase and interface in brazed joints , while welding by soldering have no such features. It was also apparent that the high chemical effinity between the filler metal alloy and the base metal will reduce the existence of defects in the bonding zone.**

**Key words: Microstructure , Brazing , Soldering , Copper , Steel** .

**المقدمة :**

لحام المونه والبرصمه (Brazing and Soldering) أساساً متماثلين من حيث عملية اللحام عموما ، كلاهما يحتاجان وجود معدن مضاف (Filler Metal) ودرجة أنصهاره أقل من درجة أنصهار المعدن الأساس . تسخين وصلتي اللحام ، ثم ملئ الفراغ بين قطعتي اللحام بواسطة المعدن المضاف والذي يسمى (Solder) ولكلا العمليتين

[+] تاريخ استلام البحث ٢٠١٠/١١/٢٢ ،تاريخ قبول النشر ٢٠١١/٧/٦.

[*] مدرس مساعد /المعهد التقني /السماوه

المونه والبرصمه. ولغرض الحصول على وصلة لحام ضمن المواصفة يجب ضمان العوامل التالية: تبلل منطقة اللحام (Wetting)، تغطية جميع جوانب وصلة اللحام (Spreading) ، وتغطية منطقة اللحام يجب أن تحصل بواسطة الخاصية الشعرية (Capillary Action) ليكون التفاعل الكيمياوي بواسطة أنتشار المعدن المضاف في وصلة اللحام (Diffusion). عندما تكون درجة حرارة الأنجماد للمعدن المضاف (Solidus Temperature) أقل من 500 Cº فأن عملية اللحام تسمى البرصمه ، أما أذا كانت أعلى من 500 Cº فأن عملية اللحام تسمى المونه [6-1].

أن طبيعة الربط في هذا النوع من اللحام تؤشر بعض التعقيد. في عمليات المونه والبرصمه فأنه يحدث تداخل محلولي بين المعدن الأساس والمعدن المضاف (Intersolubility) والذي يقود الى تداخل أنتشاري (Interdiffusion) على سطح المعدن الأساس المراد لحامه. وأنه يلاحظ دائما أذا ما حدث التداخل الأنتشاري فأنه يتعدى الى ما تحت الأكاسيد التي هي على السطح مما يؤدي الى حصول ترابط جيد بين المعدن الأساس والمضاف [6]. أن الخلوص أو الفراغ ما بين سطحي وصلة اللحام يكون بحدود (0.125-0.625mm) للمعادن الخفيفة كالألمنيوم ويكون بحدود (0.05-0.40mm) للمعادن مثل الحديد والنحاس [7,8].أن سطحي وصلة اللحام تستقبل طبقة رقيقة (بضع مايكرومترات) من معدن الحشو المنصهر وبطاقة شد سطحية واطئة (Low surface tension) ويعتمد الربط على القوى الذرية (Atomic force) وكذلك يحدث انتشار مكونات معدن الحشو الى داخل المعدن الأساس وبالمقابل يحدث انتشار مكونات المعدن الاساس الى منطقة الحشو[2,9,10]. الفكرة في هذا البحث هو للنظر في منطقة الربط المختلفة (Dissimilar) بين النحاس والفولاذ حيث أن النحاس معروف لدينا بأستجابته لكل السبائك المضافة في حالة لحام المونه أو لحام البرصمه، بينما الفولاذ لديه محدودية في ذلك. وهنا نتحدث عن ما يسمى الألفه بين المعدن المضاف والمعدن الأساس مما يؤثر ذلك على تبلل منطقة اللحام (Wetting) وكذلك أنتشار مكونات المعدن المضاف الى داخل منطقة المعدن الأساس. في هذا البحث نحاول تأشير ذلك في حالة استخدام سبائك مونه وبرصمه شائعة الأستخدام وتجارية المنشأ مثل سبيكة الأيوتكتك Sn-Pb ، سبيكة النحاس والفسفور وسبيكة البراص.

**<u>الجانب العملي</u>**

تم أجراء العديد من وصلات اللحام نوع تراكبي (Lap joint) من الفولاذ المنخفض الكاربون الى الفولاذ وكذلك الى النحاس النقي وتم استخدام المعدن المضاف (FMA) نوع ايوتكتك قصدير-رصاص ( 60 wt% Sn + 40wt%Pb) بالنسبة إلى طريقة اللحام بالبرصمه (Soldering). أما المعدن المضاف في حالة لحام المونه فقد تم استخدام نوعين من المعدن المضاف ، النوع الأول البراص (S-CuZn40Si) ، أما النوع الثاني نحاس يحتوي على نسبة من الفسفور (LCuP-7). أبعاد العينات الملحومة موضحة بالشكل (1). ولكي يتم تقييم منطقة الربط التي تجمع النحاس بالفولاذ فقد تم تحليل تلك المنطقة باستخدام البنية المجهرية لتلك الوصلات أساس في التحليل، وفيها نحاول دراسة سلامة وصلة اللحام . تأثير الطريقة واللحام المختلف من ناحية عدم تماثل وصلة اللحام على خلوص منطقة الربط ، كذلك طبيعة طور الربط على جانبي وصلة اللحام. الجدول (1) يمثل التركيب الكيمياوي للمعدنيين الملحومين أما الجدول (2) فأنه يمثل التركيب الكيمياوي للسبيكة المضافة في منطقة الربط. تم استخدام مشعل لحام الأوكسي-استيلين في جميع عمليات اللحام السابقة. أي استخدمنا اللحام الغازي لسهولة العملية ولكونها الأكثر استخداما في حقول الصناعة وخارج المصانع وكذلك لأنها سهلة ولا تحتاج خبرة عالية. ولم يتم استخدام مساعدات الصهر (Fluxes) في كلا الطريقتين (Brazing and Soldering) وذلك لكون الأسلاك المستخدمة كمعدن مضاف تحتوي على مساعدات الصهر (أي ضمن السلك قبل اللحام) بالنسبة للمسافة بين جانبي وصلة اللحام (Clearance) تم تركها حرة (free)

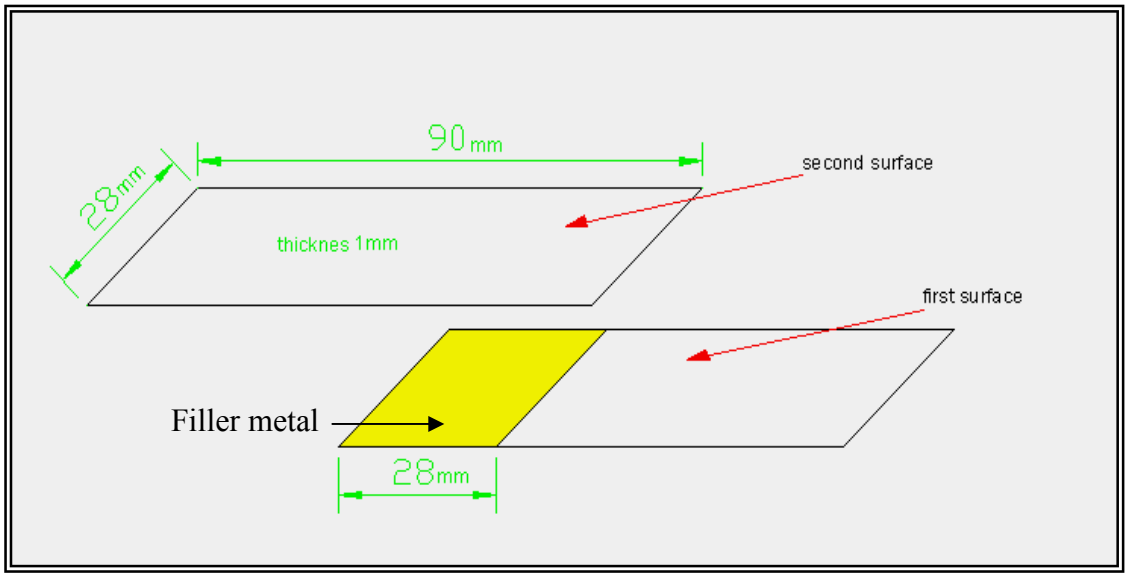
حيث تمثل تلامس القطعتان وبذلك تكون المسافة بينهما مثل الخشونة فيما بينهما والتي تأخذ عادة بحدود (0.1 mm) [7].

**الجدول (1) يوضح التركيب الكيمياوي للمعدنيين الملحوميين**

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

**الجدول (2) التركيب الكيمياوي للمعادن المضافة في منطقة الربط**

| Filler type | Si | Mn | Cu | P | Fe | Sn | Ni | Zn | C | Pb |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LCuP-7 | - | - | Rest | 6.5-8.2 | - | - | - | - | - | - |
| S-CuZn40Si | 0.2-0.4 | 0.5-0.8 | 59-61 | - | <0.1 | 0.25-0.4 | - | Rem | - | - |
| Sn-Pb | - | - | - | - | - | 60 | - | - | - | 40 |




**الشكل(1) يوضح أبعاد العينة المستخدمة حسب المواصفة (DIN 50124)**

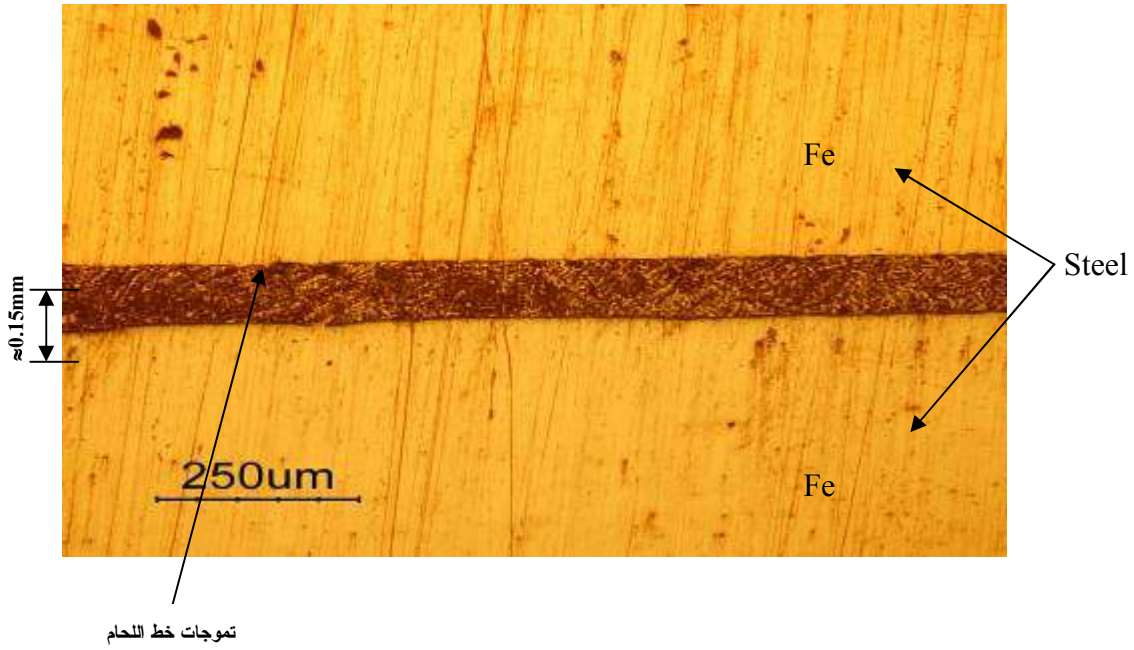
**مناقشة النتائج:**

سوف نتطرق من خلال مناقشة البنية المجهرية لوصلات اللحام المختلفة (المونه والبرصمه) الى النقاط التالية: سلامة خط اللحام من العيوب ومن الجانبين (وصلة اللحام)، وجود تموجات خط اللحام من عدمها مما يدل على وجود تفاعل المعدن المضاف مع المعدن الأساس ، عرض منطقة التفاعل بين جانبي وصلة اللحام (الخلوص Clearance)، وطور الربط ومواصفاته من جانب الفولاذ وجانب النحاس. كل تلك النقاط السابقة سوف توضح طبيعة منطقة الربط للمعادن المختلفة (Dissimilar metals).

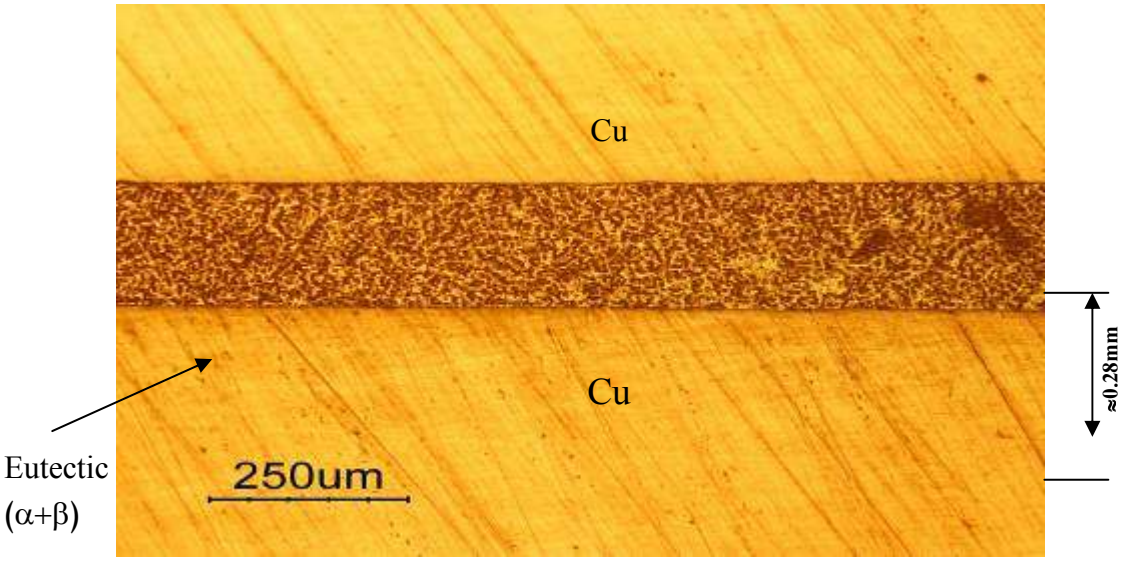
**A- لحام البرصمه (SOLDERING WELD)**

فيما يخص هذا النوع من اللحام ولكون درجة الانصهار للمعدن المضاف تكون أقل من 500 C° فأن عمليات التفاعل والأنتشار واللتين يعززنا عملية الربط تكون أقل [6] . وبما أننا استخدمنا معدن مضاف (FMA) نوع Sn-Pb الأيوتكتك والذي يعتبر الأكثر استخداما في الصناعة فأنه بين لنا خلو منطقة الربط من العيوب وكما في الأشكال (2,3). يمثل الشكل (2) وصلة لحام بين الفولاذ باستخدام عملية اللحام نوع البرصمه حيث تبين عدم وجود عيوب ملحوظة ، وجود تموجات على طول خط اللحام وعلى الجانبين. ويقدر عرض منطقة التفاعل بين جانبي وصلة اللحام في ذلك الشكل (2) يساوي 0.15mm . بينما عرض منطقة التفاعل ما بين جانبي خط اللحام في الشكل (3) الذي يمثل وصلة لحام نحاس- نحاس بحدود 0.28 أي أكثر من ضعف خط التفاعل في الشكل (2) وذلك للألفة العالية ما بين المعدن المضاف والنحاس وهذا يدل أن المعدن المضاف أبدى ألفه وتفاعل أكثر من مرتان من جانب النحاس بالمقارنة مع الفولاذ. ما جاء في أعلاه يعطي دليلا قويا أن برصمه النحاس أكثر سهولة من برصمه الفولاذ بأستخدام سلك لحام نوع Sn-Pb أيوتكتك. الشكلان (2,3) يبين لنا وضوح طور الأيوتكتك ($\alpha+\beta$). الشكل (4) يبين بشكل واضح ما تناولنا فيما سبق ويرينا أن طور الأيوتكتك واضح وأنه هنالك تفاعل ما بين المعدن المضاف والمعدن الأساس على طول خط اللحام لكلا وصلتي اللحام. أما الشكل (5) والذي يمثل نفس الشكل (4) ولكن بتكبير أعلى ، يبين أن ذلك التفاعل يتعدى الى خرق الخط الفاصل (Interface) في جانب الفولاذ ، بينما يكون الخرق أعلى كما هو واضح في جانب النحاس.

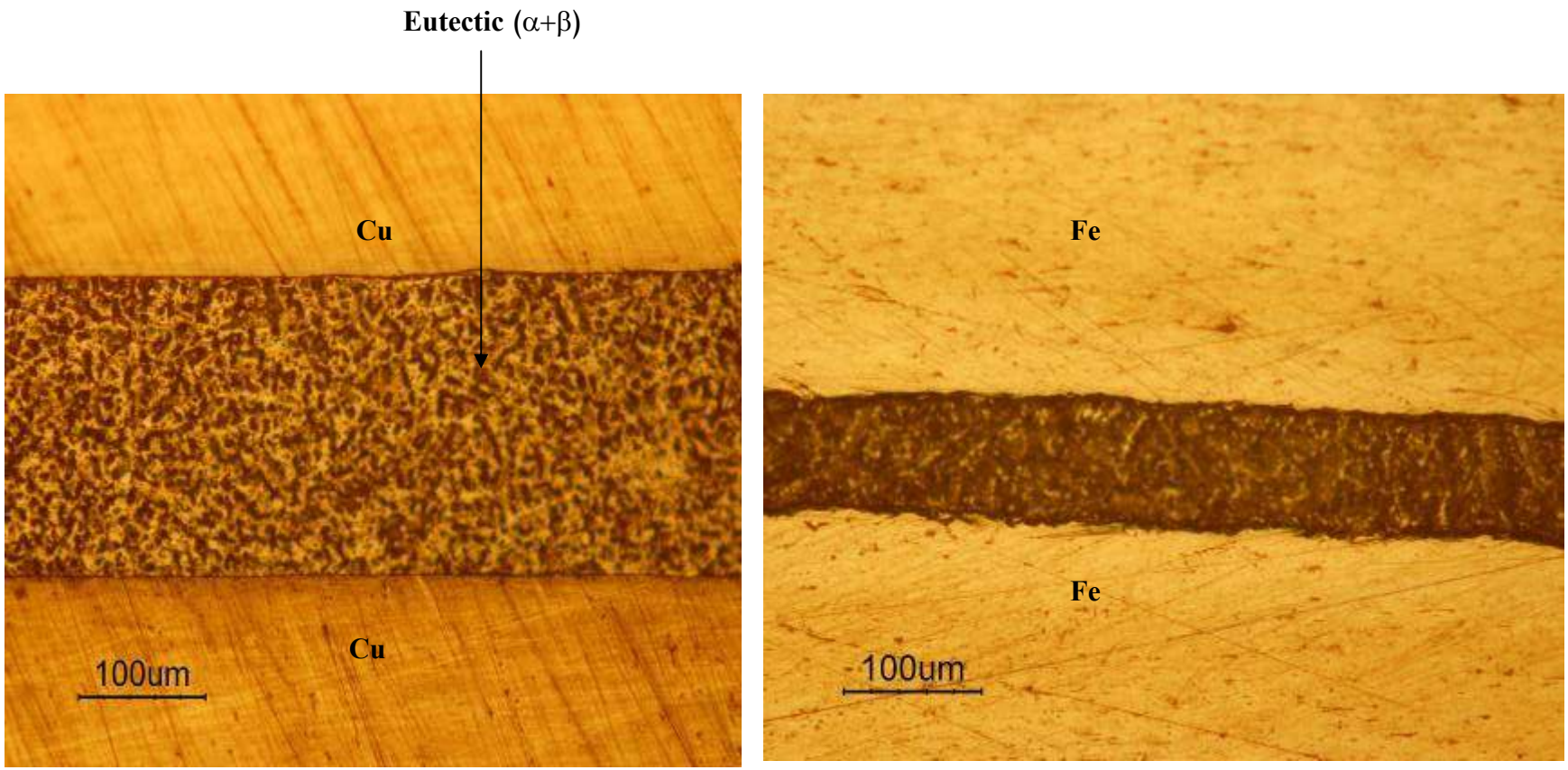
الأشكال (4,5) تؤكد الحقيقة التي تم ذكرها سابقا وهي أن طريقة اللحام نوع البرصمه أكثر سهولة في حالة لحام النحاس عنه في حالة الفولاذ.




**الشكل (2) يبين البنية المجهرية لوصلة اللحام بين الفولاذ باستخدام لحام البرصمه والمعدن المضاف Sn-Pb، X100**

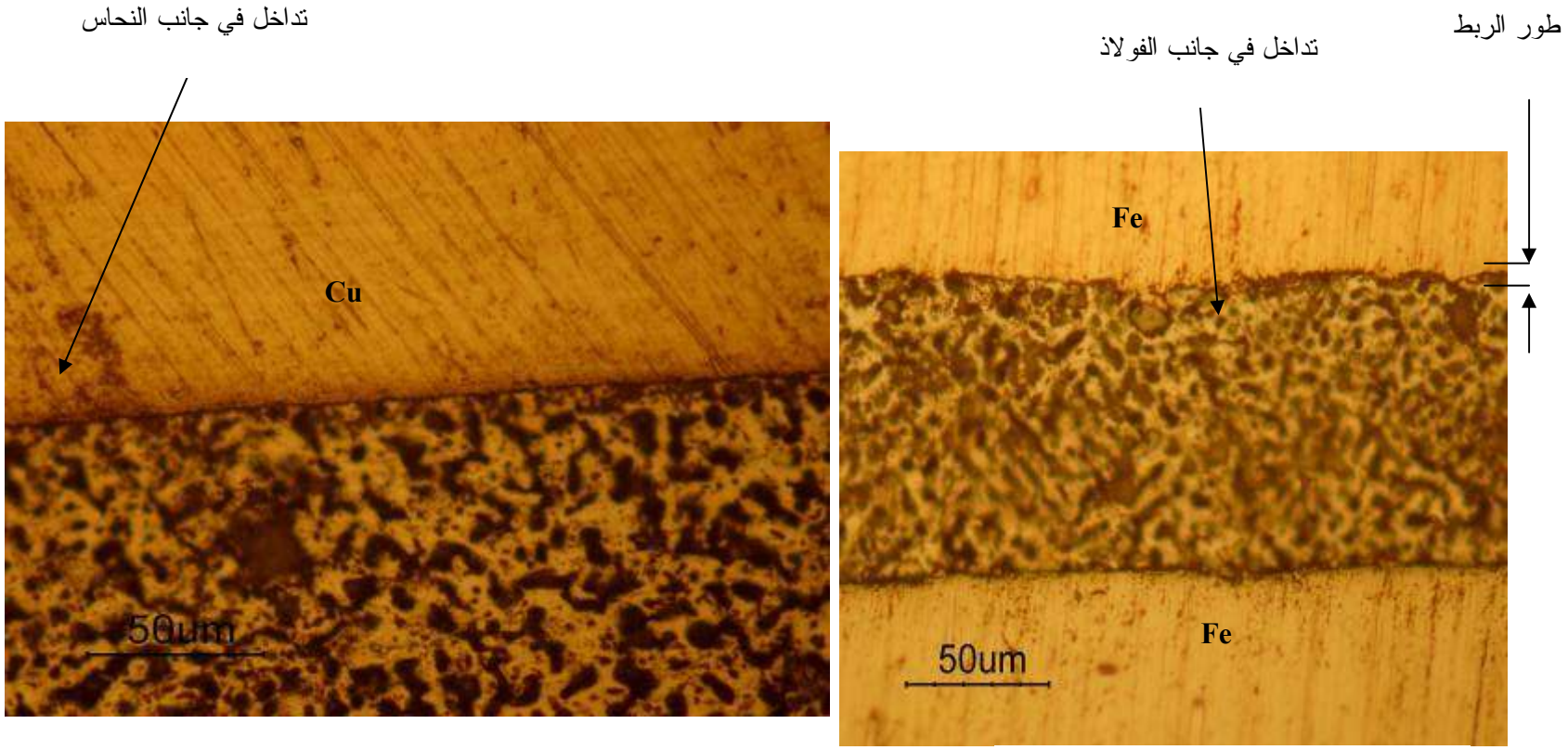



**الشكل (3) يبين البنية المجهرية لوصلة اللحام بين النحاس باستخدام لحام البرصمه والمعدن المضاف Sn-Pb، X100**

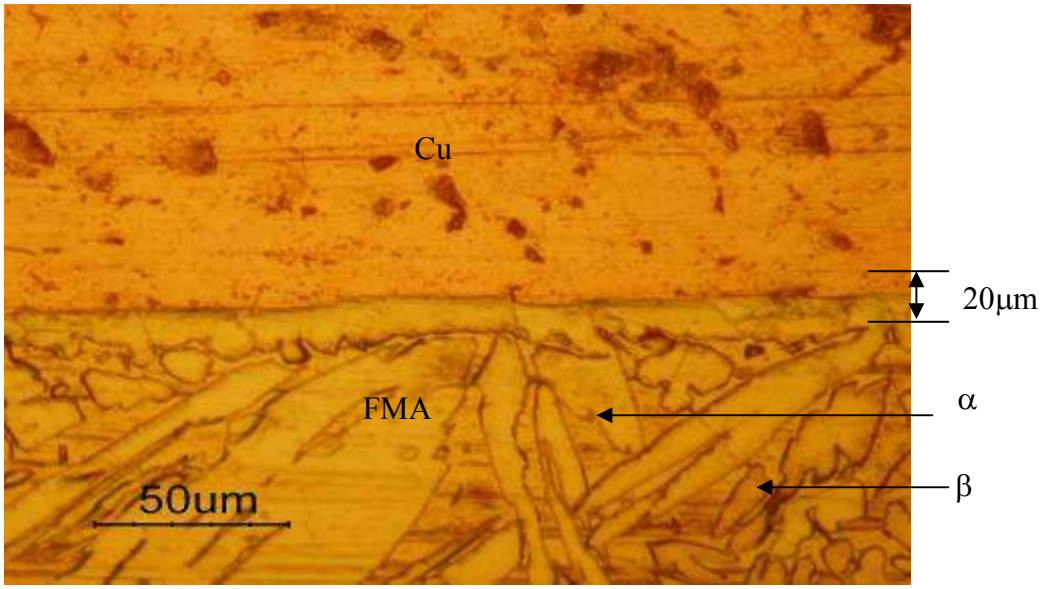



b a

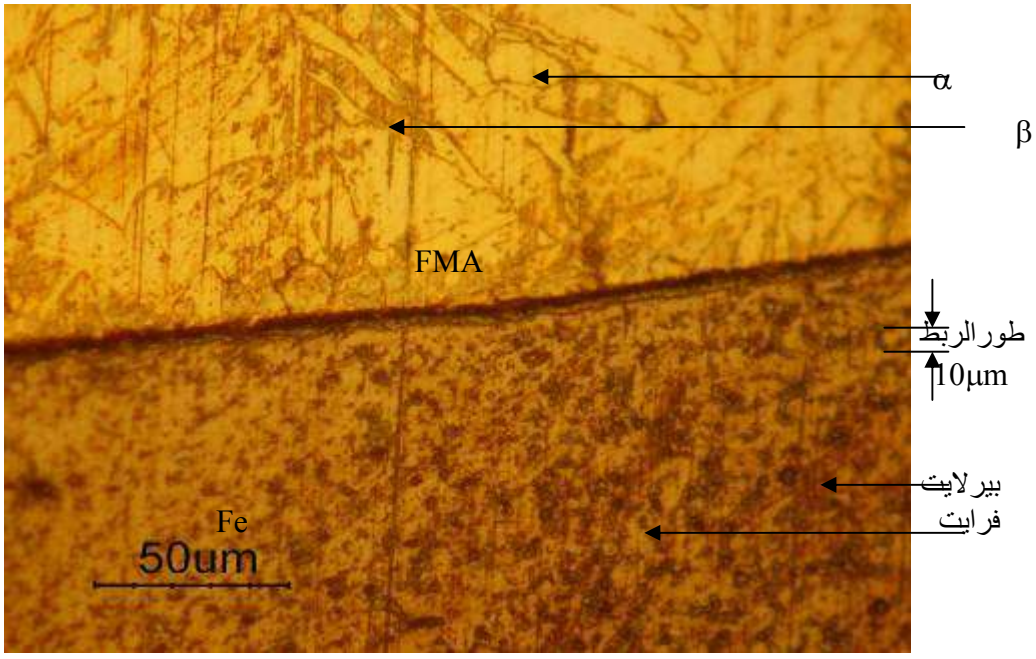
الشكل(4) يوضح مقارنة بين( a) وصلة اللحام فولاذ-فولاذ و(b) وصلة اللحام نحاس-نحاس ، باستخدام لحام البرصمة ومعدن مضاف Sn-Pb، X200



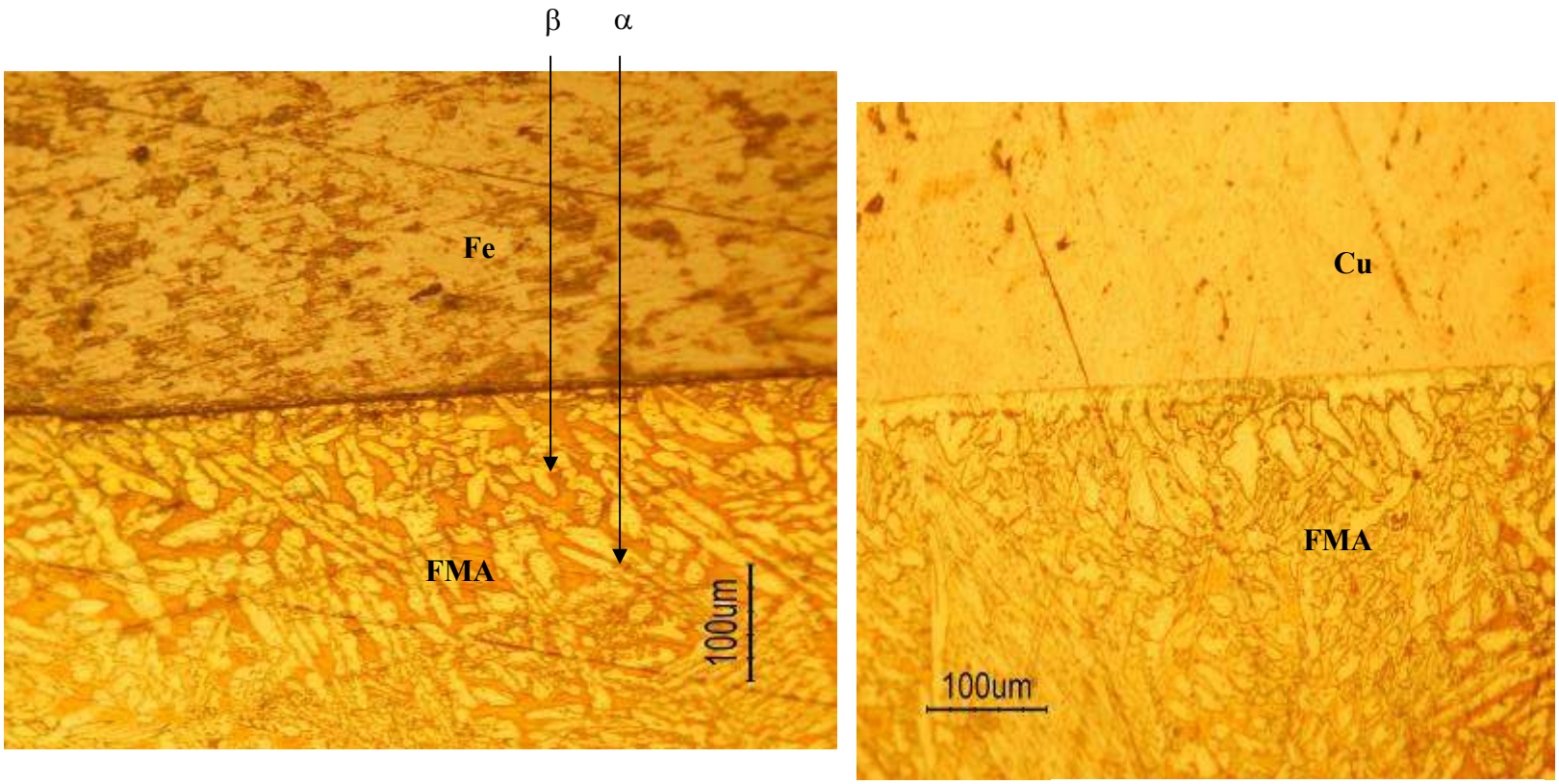

**الشكل(5) يوضح مقارنة بين(a) وصلة اللحام فولاذ–فولاذ ويوضح حالة التداخل الحاصلة في منطقة الربط من جانب الفولاذ و(b) وصلة اللحام نحاس–نحاس وحالة التداخل من جانب النحاس ، باستخدام لحام البرصمة ومعدن مضاف Sn–Pb ،X500**




**الشكل (6) يبين البنية المجهرية لطور الربط من جانب النحاس بأستخدام لحام المونه ومعدن مضاف S-CuZn40Si ، X500**

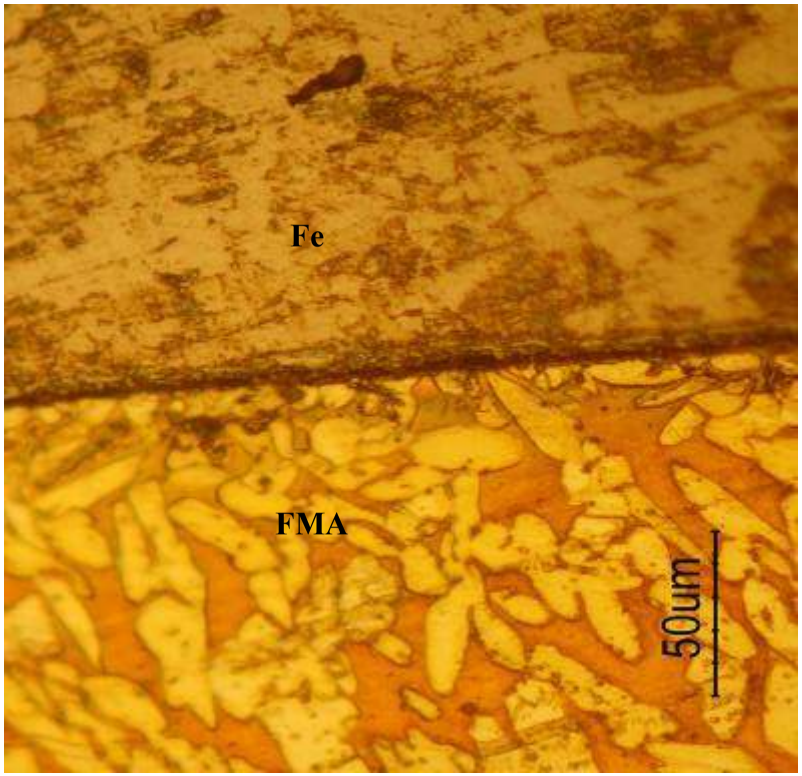



**الشكل (7) يبين بنية طور الربط المجهرية لوصلة اللحام من جانب الفولاذ بأستخدام لحام المونه ومعدن مضاف S-CuZn40Si ، X500**

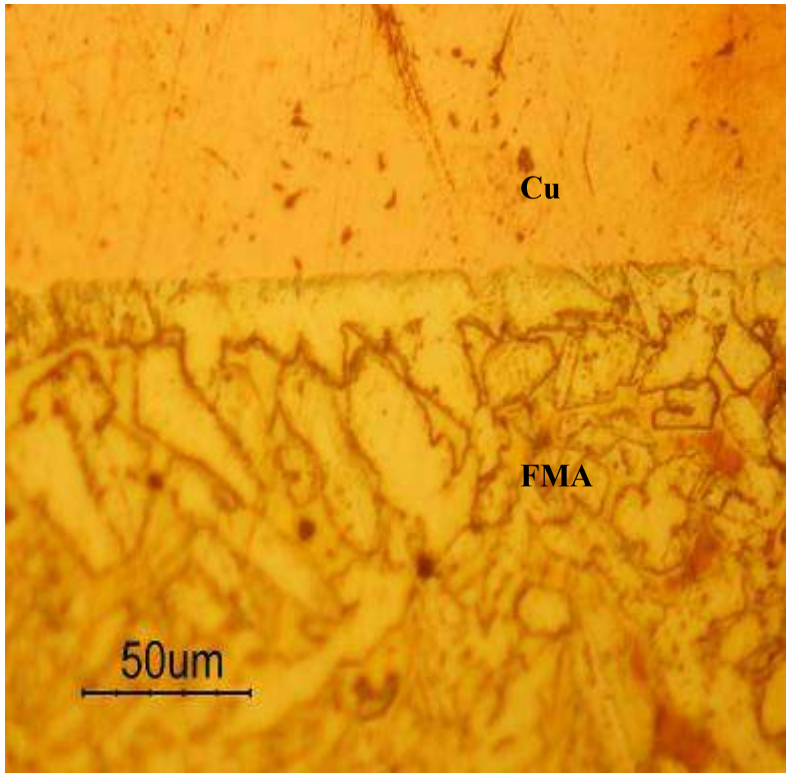



b a

الشكل(8) يبين مقارنة بين (a) طور الربط من جانب النحاس و(b) طور الربط من جانب الفولاذ ، باستخدام لحام المونه ومعدن مضاف S-CuZn40Si، X200




b




a

طور الربط

الشكل(10) يوضح مقارنة بين(a) وصلة اللحام من جانب النحاس و (b) وصلة اللحام من جانب الفولاذ باستخدام لحام المونه ومعدن مضاف S-CuZn40Si، X1000

**B- لحام المونه (BRAZING WELD)**

في هذا النوع من اللحام من الممكن أن نتحدث عن عرض منطقة طور الربط ولكننا لم نستطع ذلك في حالة لحام البرصمه. الشكل (6) يبين منطقة طور الربط ممكن حساب عرضها مثلا هنا بحدود 20 مايكرون. مما يـــدل هنـــا أن درجة حرارة اللحام (أكثر من C° 500) دليل قاطع على نمو طور الربط ووضوحه كما في الشكل أعلاه. يمثل الشكل

(6) لحام النحاس بطريقة المونة بأستخدام معدن مضاف نوع البراص. أما الشكل (7) يبين نفس وصلة اللحام السابقة ولكن المعدن الملحوم هو الفولاذ والذي يبين لنا أن عرض طور الربط بحدود 10 مايكرون أي نصف طور الربط في الشكل (6). وهذا ينطبق على ما جاء في (A) حيث بينا في ما سبق أن عرض كل المنطقة ( من الجانب الى الجانب ) كان ضعف في حالة النحاس عنه في حالة الفولاذ. الأشكال (8,9،10) تبين حقيقة ما ذكرنا سابقا من أن طور الربط في منطقة النحاس تكون أكثر وضوح حيث يعود ذلك لكون المعدن المضاف يحتوي على النحاس والزنك وهما أقرب الى جانب النحاس منه من جانب الفولاذ.وأنه من الواضح من خلال الشكل (10) أن طور الربط من جانب الفولاذ يكون مختلف وفيه أكثر من طبقة (layers).

أما من جانب النحاس يكاد يكون طبقة واحدة ضمن المعدن المتبقي من المعدن المضاف. الشكل (11) يبين وجود بعض العيوب (Defects) في منطقة الربط من جانب الفولاذ ولا يبينه ذلك في منطقة النحاس مما يدل لنا أن الألفة ما بين المعدن المضاف والمعدن الأساس يجب أن تكون عالية لغرض منع حدوث العيوب في منطقة الربط مما يعود ذلك الى متانة الربط.

استخدام معدن مضاف (FMA) يشابه أحد طرفي وصلة لحام له هدف واضح لمعرفة ما يحصل في المنطقة الفاصلة أي عند الحد الفاصل بالمقارنة مع معدن غير متماثل مثل الفولاذ. الشكل (12) يمثل وصلة لحام بطريقة المونه بين الفولاذ والنحاس باستخدام معدن مضاف نحاسي (فيه نسبة من الفسفور) وجود الفسفور يساعد على سيولة المعدن المضاف [6]. من الشكل أعلاه يبقى الحد الفاصل واضح عند الفولاذ وكذلك عند النحاس، وهذا دليل قاطع مفاده أن اللحام نوع مونه لا يمكن أن ينجم عنه تداخل كما يحصل في عمليات اللحام نوع الانصهاري [11]. وأذا ما حاولنا تكبير الشكل اعلاه كما هو واضح عند الأشكال (13,14) فاننا نرى تداخل بعض الاكاسيد عند منطقة الفولاذ من عدمه عند منطقة النحاس وهذا يعود أيضا الى الألفة العالية بين المعدن المضاف الى المعدن الأساس.

**الاستنتاجات:**

يتضح لنا مما سبق ما يلي :-

١- أن درجة حرارة اللحام لها دور فعال في صنع طور الربط وكذلك الحد الفاصل في عمليات اللحام نوع المونه أو البرصمه. عملية اللحام نوع المونه يمكن فيها رؤية وقياس عرض طور الربط حيث وجد لنا أنه بحدود 20 مايكرون في جانب النحاس بينما وجد بحدود 10 مايكرون بجانب الفولاذ عندما استخدمنا معدن مضاف من نوع البراص.

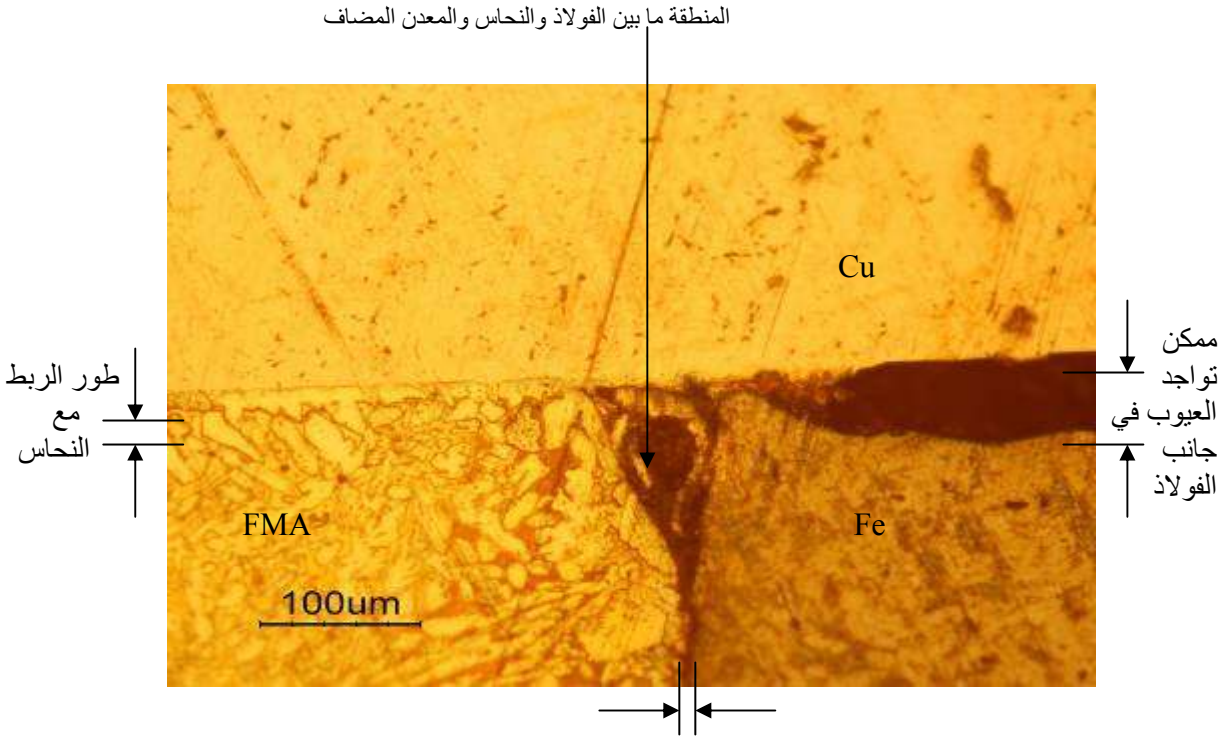
٢- أن الفراغ ما بين جانبي اللحام (Clearance) من الممكن أن يكون أكبر من 0.1 ملم أذا ما كانت الألفه(effinity) متواجدة ما بين المعدن المضاف والمعدن الأساس كما حصل في حالة لحام النحاس بمعدن مضاف مثل Sn-Pb .

٣- وجود بعض العيوب في منطقة الربط يعود الى عدم وجود الألفه ما بين المعدن المضاف والمعدن الأساس كما حصل في حالة لحام المونه بمعدن مضاف مثل البراص وذلك بجانب الفولاذ مع عدم ظهور ذلك بجانب النحاس.

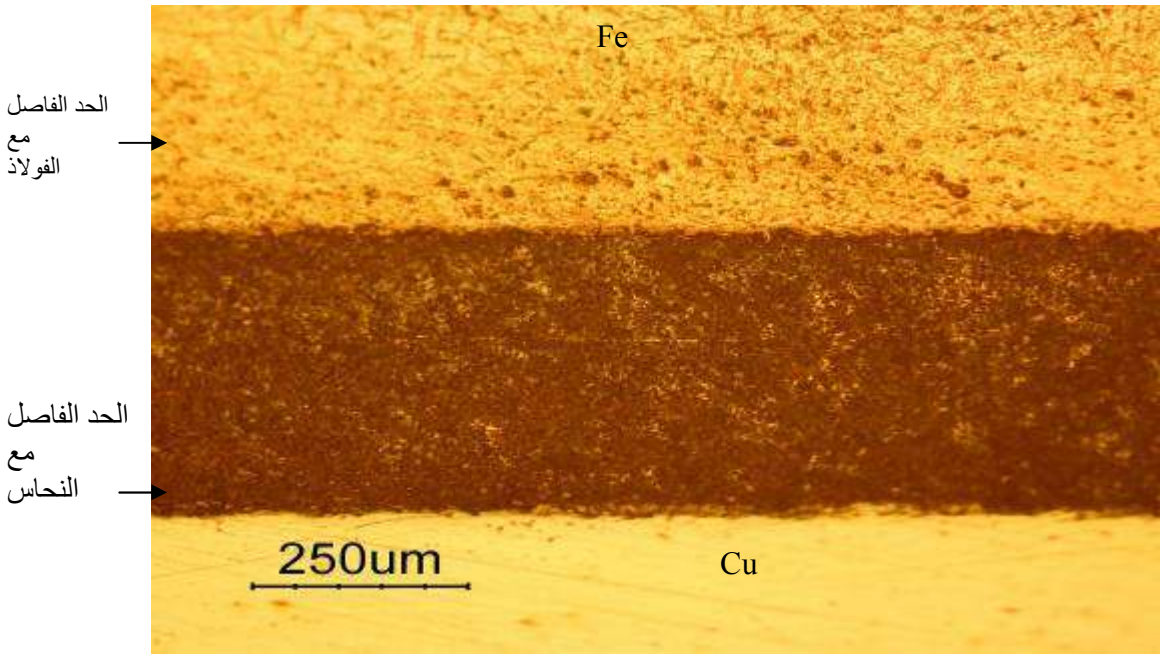
٤- الحد الفاصل بين المعدن المضاف والمعدن الأساس في جميع الأحوال لا يمكن أن يتداخل كما يحصل في عمليات اللحام الأنصهارية.

**المصادر:**

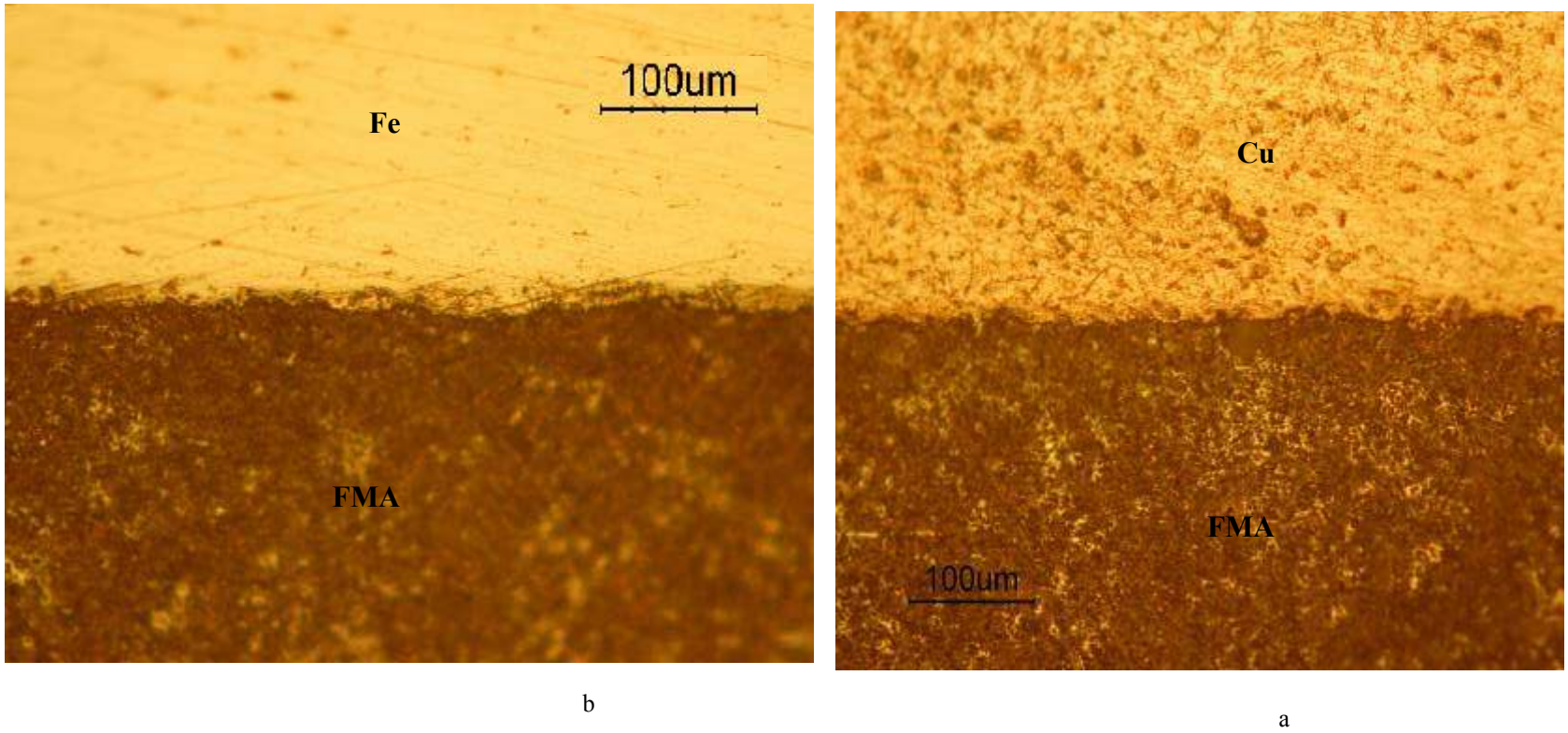
1- AWS ," Brazing Manual ", Third Edition , American Welding Society Inc. , 1975.
2- AWS, "Welding Hand Book " , 7th Edition , Vol. 2, 1978.
3- AWS, "Welding Hand Book " , Metal and Their Weldability, 7th Edition , Vol. 4, 1984.
4- AWS," Brazing Manual ", Third Edition , London, Chapoman and Hall Ltd , 1960.
5- ASM," Hand Book of Welding , Brazing and Soldering", 1997.
6- Lancaster,J.F., "Metallurgy of Welding" , Third Edition, London, George Allen and Unwin, 1980.
7- Nashwa Abd-Al Hammied Sa'ad, "Active Brazing of Tantalum AISI 304L Stainless Steel", MSc. Thesis, Technical College-Baghdad, 2005.
8- www.Esab.com, "Braze Welding , Welding Handbook", 2005.
9- Khanna,O.P., "Welding Technology", J.C. Kapoor , Delhi, 1980.
10- Agarwal, R.L. and Manghnani, T., "Welding Engineering", Khanna, Publishers, Delhi , 1981.
11- Sindo Kou, "welding Metallurgy", Second Edition, Wiley Interscience,2003.




**الشكل (11) يوضح وصلة اللحام نحاس–فولاذ باستخدام لحام المونه ومعدن مضاف S–CuZn40Si، X200 توضح وجود عيوب اللحام في جانب الفولاذ**




**الشكل (12) يوضح وصلة اللحام نحاس–فولاذ باستخدام لحام المونه ومعدن مضاف LCuP–7 ، X100**

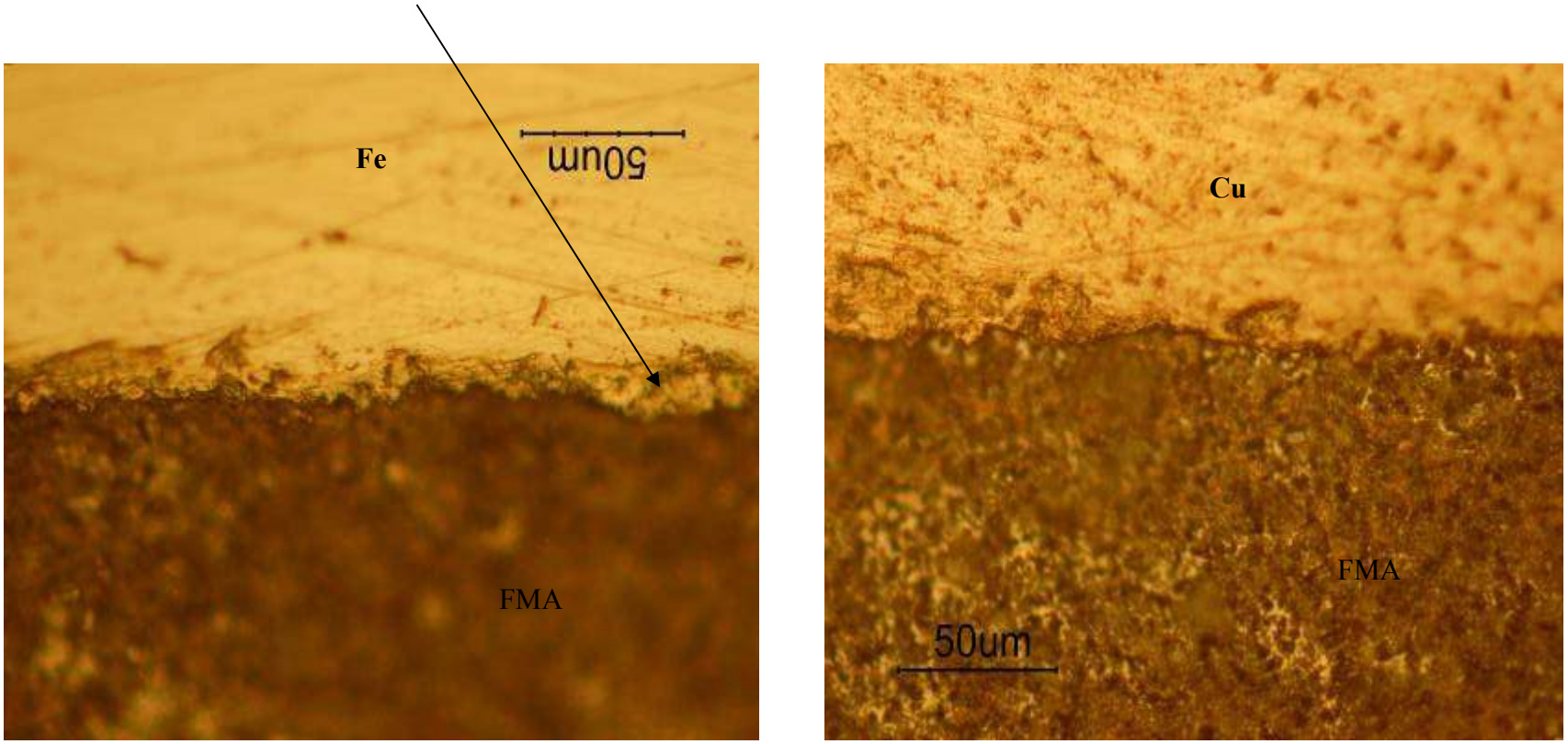



b

a

**الشكل(13) يوضح مقارنة بين(a) وصلة اللحام من جانب النحاس و (b) وصلة اللحام من جانب الفولاذ باستخدام لحام المونه ومعدن مضاف LCuP-7، X200**

وجود بعض التداخلات بالاكاسيد عند الفولاذ




**الشكل(14) يوضح وجود بعض التداخلات بالأكاسيد من جانب الفولاذ ومقارنة بين وصلة اللحام من جانب النحاس وجانب الفولاذ باستخدام لحام المونه ومعدن مضاف LCuP-7**