

البنية المجهرية وآلية الربط لملحومات القوس الكهربائي غير المتماثلة فولاذ الى النحاس

## Studying The Bonding Mechanism and Microstructure for Arc Welding of Dissimilar Steel to Copper

عبد الله عذيب مشاري

قسم الميكانيك

المعهد التقني - السماوة

### المستخلص

الهدف من هذا البحث دراسة ميكانيكية أو آلية الترابط والبنية الدقيقة عند لحام النحاس النقي مع الفولاذ منخفض الكربون بطريقة اللحام الأنصهاري باستخدام أقطاب مغطاة (SMAW). لقد تم لحام الصفائح الغير متماثلة نحاس إلى الفولاذ باستخدام نوعين من المعدن المضاف ECuSi و ECuSn8 وبعد ذلك تم إجراء الفحص المجهرى باستخدام المجهر الضوئي حيث تبين أن جانب النحاس في حالة اللحام بالقطبين المشار إليهما يحصل تداخل كامل ويكون البناء عند الحد الفاصل من النوع (Epitaxial) في حالة المعدن المضاف ECuSn8 ، أما جانب الفولاذ فقد بين لنا وجود حد فاصل فيه تعرجات يدل على حدوث التفاعل ويعطي بناء (Nonepitaxial) وبين وجود تشققات دقيقة في حالة استخدام معدن مضاف ECuSi لم يبين ذلك في حالة المعدن المضاف ECuSn8 ولكنه بين وجود نوافذ بين الفولاذ والمعدن المضاف مصحوب بانتشار كتل من المعدن الأساس داخل المعدن المضاف.

### Abstract

The aim of this work is to study the bonding mechanism and the microstructure of copper to steel welded by shielded metal arc welding (SMAW). The electrodes that used are ECuSi and ECuSn8 then the examination of microstructure by optical microscopic, it is clearly observed that the copper side are completely interfering with epitaxial growth when using ECuSn8 but the side of steel reveal interaction waves at the interface with nonepitaxial growth. Some of fine cracks observed at the interface with ECuSi. The use of ECuSn8 explain interfering fine blockes from the steel inside the fusion zone.

**Key words:** Bonding mechanism , microstructure , epitaxial growth , nonepitaxial growth.

### ١. المقدمة

استخدم اللحام الغازي قديما في اللحام الأنصهاري للحديد والنحاس وأنتج وصلات لحام مقبولة المتانة يمكن الحصول عليها باستخدام أسلاك لحام معدة لذلك. حديثا تم استخدام القوس الكهربائي مع استخدام الغازات الحاملة كغطاء

لعملية اللحام ، مثل الأركون ، الهيليوم أو النايتروجين وبذلك أصبح هذا النوع من اللحام يغطي الكثير من سبائك النحاس[1].

أن أقطاب اللحام (أسلاك اللحام) المغطاة أيضا استخدمت للحام النحاس وسبائكه ،حيث أن أقطاب اللحام نوع (Tin bronze) و (Aluminum bronze) استخدمت أساسا للحام المعادن غير المتماثلة [1]. أن اللحام للمعادن غير المتماثلة يعبر عنه عندما يكون المعدن المضاف (FMA) مختلف في تركيبه عن الأساس المعدني المراد لحامه وفي هذا النوع من اللحام تكون المنطقة القريبة من الحد الفاصل بين المعدن المضاف والأساس مختلفة عن غالبية منطقة اللحام في التركيب والبنية المجهرية وكذلك المواصفات [2]. هذه المنطقة اكتشفت أولا من قبل Jennings وجماعته [3]، وأطلقت على هذه المنطقة بالمنطقة غير الممزوجة [4]، أو أطلق عليها المنطقة المستنفذة من المعدن المضاف [5]، أو أطلق عليها منطقة شبه ممزوجة [6] ، أو أطلق عليها منطقة ما بين المزج وعدم المزج [7] ، وكذلك أطلق عليها المنطقة الصلبة [8]. ومن هنا تم دراسة وصلة لحام تتكون من أساس معدني مختلف حيث يتم ربط فولاذ كاربوني إلى نحاس نقي باستخدام نوعان من المعدن المضاف الأول ECuSi والثاني ECuSn8 ، حيث يهدف العمل لدراسة المنطقة الفاصلة ما بين المعدن الأساس والمعدن المضاف باستخدام البنية المجهرية كأساس لفهم ذلك ، وكما جاء في أعلاه فإنه تم تفسير تلك المنطقة وحسب البحوث السابقة كما يلي [4,5,6,7,8]:

- ١- المنطقة غير الممتزجة (Unmixed Zone).
- ٢- المنطقة المستنفذ فيها المعدن المضاف (Filter-Metal-depleted zone).
- ٣- المنطقة شبه الممتزجة (Partially mixed Zone).
- ٤- المنطقة الوسطية الممتزجة (Intermediate mixed Zone).
- ٥- المنطقة الصلدة (Hard Zone).

## ٢. الجانب العملي

لتحليل المنطقة الفاصلة في وصلات اللحام المختلفة باستخدام تقنية اللحام الانصهاري باستخدام القوس الكهربائي المغطى (SMAW). تم استخدام وصلة لحام تناكيبية (Butt Joint) مكونة من الفولاذ منخفض الكربون من جانب والنحاس النقي (تجاري) من الجانب الأخر محتوى السببكتين موضح بالجدول (1)، حيث استخدم سمك 10 ملم لكلا الجانبين وتم تهيئة وصلة اللحام كما في الشكل (1). استخدم لتنفيذ هذه الوصلة أو الملحومة أسلاك لحام أو ما يسمى المعدن المضاف وقد يسمى أقطاب اللحام . استخدم قطبين الأول ECuSn8 والثاني ECuSi وحسب المواصفة AWS فإن محتوى تلك الأسلاك موضح بالجدول (2) . تم تهيئة وصلة اللحام بعد تنظيفها من الدهون لأجراء عملية اللحام الانصهاري باستخدام ماكينة لحام نوع ( ESAB-400 ). وبعد ذلك تم أنتاج وصلات لحام تناكيبية فولاذ- فولاذ ، فولاذ-نحاس ، ونحاس-نحاس مع القطبين المذكورين أعلاه. وقد تم إعادة عملية اللحام للسنة وصلات أكثر من ثلاث مرات لضمان إعادة نفس ظروف العمل من الفولتية والتيار لماكينة اللحام وكذلك مهارة اللحام. ولغرض معرفة وتحليل منطقة الربط تم تهيئة جميع وصلات اللحام وذلك بعد قطع وصلة اللحام بشكل عمودي على اتجاه اللحام ومنه حصلنا على وصلة تشكل جانبي الوصلة مع منطقة الربط. ثم تم إجراء عملية التنعيم (Grinding) وعملية الصقل (Polishing) باستخدام مختلف أوراق التنعيم من (400-1200) وبعدها تم إجراء عملية الصقل النهائي بواسطة محلول الألومينا وبحجم حبيبات من 1 إلى 2مايكرون وبعد إجراء تهيئة كاملة لتلك العينات تم إجراء عملية الإظهار (Etching) باستخدام كلوريد الحديديكالكولي

لغرض إظهار البنية المجهرية وباستخدام المجهر الضوئي نوع (NIKON ECLIPSE ME600) ثم أخذت صور لمختلف حالات العمل في وزارة العلوم والتكنولوجيا-دائرة الكيمياء والفيزياء.

### ٣. النتائج والمناقشة

#### ٣.١ المعدن المضاف القطب ECuSi

لغرض بيان وتفسير المنطقة الفاصلة (Interface Zone) بين المعدن الأساس والمعدن المضاف من زاوية البنية المجهرية يجب بيان تلك البنية للمعدن الأساس أولاً. الشكل (2) يمثل البنية المجهرية للأساس المعدني والذي يمثل النحاس والفولاذ المنخفض الكربون ، حيث يبين الشكل (a) البنية المجهرية للنحاس متكونة من طور واحد على الأغلب. أما الشكل (b) فإنه يمثل البنية المجهرية للفولاذ منخفض الكربون والذي يمثل بيرلايت في أساس من الفرايت ، وفيه الحبيبات ناعمة وتكون على شكل (Lamellar structure) والشكل (3) يمثل المنطقة الفاصلة بين الفولاذ والمعدن المضاف نوع ECuSi حيث توضح تلك المنطقة ما يلي :

أ- هنالك طور الربط الذي يمثل حد فاصل فيه يدافع المعدن المضاف ويتفاعل مع المستوي الفاصل عند الأساس الفولاذي وبذلك ترى وجود تعرجات على هذا الحد وهنالك تفاعل داخلي (Interaction Reaction) ما بين المعدن الأساس والمعدن المضاف.

ب- وجود تشققات دقيقة جدا على ذلك الحد نتيجة للفارق ما بين المعدن المضاف والمعدن الأساس.

ج- المعدن المضاف يشكل أعمدة من طور الربط متعامدة على الحد الفاصل.

د- كذلك وجود تداخل من نوع انتشاري ما بين المعدن الأساس والمعدن المضاف ودليلنا على ذلك هو تعرج في الحد الفاصل.

الشكل (4) يمثل ما بعد الحد الفاصل حيث يوضح الطبقة التي تمثل المتبقي من المعدن المضاف بعد تفاعله مع المعدن الأساس في الحد الفاصل والتي تأتي بعد طبقة الحد الفاصل.

الشكل رقم (5) يمثل الصورة الإجمالية لما تناولنا في ما سبق من تحول المعدن المضاف إلى عدد من الطبقات. الطبقة الأولى التي تحتوي على الحد الفاصل والذي فيه طور الربط ، والطبقة الثانية وفيها ما تبقى من المعدن المضاف. الطبقة الثالثة تمثل الأساس المعدني في المعدن المضاف وهكذا وأن الأشكال السابقة تعالج وتناقش تداخل وتفاعل المعدن المضاف نوع ECuSi مع المعدن الأساس من نوع الفولاذ المنخفض الكربون.

أما الشكل (6) فإنه يمثل تفاعل ذات المعدن المضاف مع الجانب الآخر من نوع نحاس. حيث يتضح لنا تداخل كامل بين النحاس والمعدن المضاف وذلك لتشابه المعدنين. وترى دخول تراكيب كاملة من النحاس إلى داخل منطقة تفاعل المعدن المضاف مع وجود الحد الفاصل الذي يبين تعرج واضح ،وبذلك فإن عملية الربط أو طور الربط يكون جزء من طبقة واحدة تقريبا ،على عكس ما جاء في جانب الفولاذ حيث وجدنا وجود عدد من الطبقات التي تعكس تفاعل المعدن المضاف معه.

يوضح الشكل (7) المقارنة بين تفاعل المعدن المضاف لجانبي النحاس والفولاذ ويبين بشكل قاطع تفاعل وتداخل كامل من جانب النحاس بينما يبين محدودية التداخل من جانب الفولاذ. أما الشكل (8) هو نفس الشكل السابق ولكن بتكبير أعلى حيث يوضح طور الربط من جانب الفولاذ المتكون من خطين لمحدودية تداخل الفولاذ مع المعدن المضاف، أما طور الربط من جانب النحاس فإنه يمثل تداخل كامل.

## ٣.٢ المعدن المضاف القطب ECuSn8 :

في حالة استخدام المعدن المضاف ECuSn8 فأنا لم نلاحظ تكون الطبقات المشار إليها سابقا من جانب المعدن الأساس الفولاذ ولكن من الممكن بيان المنطقة الفاصلة وذلك من مقارنة المنطقة الفاصلة عند كلا المعدنين الفولاذ والنحاس وكما في الشكل (9). حيث بين الشكل أنه يوجد طور الربط عند الحد الفاصل من جانب الفولاذ وكذلك من جانب النحاس. طور الربط عند الحد الفاصل من جانب الفولاذ يبين وجود شريط فيه تفاعل المعدن المضاف مع الفولاذ على طوله وتلك الحالة تسمى (Nonepitaxial Growth) [2,9] ، أما الحد الفاصل من جانب النحاس فأنه يعطي نمو يسمى (Competitive Epitaxial Growth) [2,10] ، بينما المتبقي من المعدن المضاف يبقى متماثل بين الجانبين. وإذا ما دققنا في الأشكال (10 و 11) والتي تمثل تكبير للشكل (9) فأنا نلاحظ إن هنالك تداخل واضح عبر طور الربط في جانب الفولاذ والذي فيه يتم كسر طور الربط إلى داخل المعدن المضاف ، بينما يكون تداخل كامل في جانب النحاس.

## ٤. الاستنتاجات

- ٤.١ بالنسبة للمعدن المضاف نوع ECuSi فإن المنطقة الفاصلة تميزت بوجود حد فاصل عند تلك المنطقة مع حدوث تعرجات يدل على حدوث تفاعل تداخلي ما بينهما فيما يخص جانب الفولاذ. وقد وجد بعض التشققات الدقيقة على الحد الفاصل ناجم عن الاختلاف ما بين المعدن المضاف والمعدن الأساس. طور الربط عند الحد الفاصل يكون معزز بأعمدة منشأها المعدن المضاف تتعامد مع الحد الفاصل ، كذلك وجود ثلاث طبقات : الطبقة الأولى تمثل الحد الفاصل ، الطبقة الثانية تمثل ما تبقى من المعدن المضاف والطبقة الثالثة تمثل المعدن الأساس للمعدن المضاف.
- ٤.٢ أما فيما يتعلق بالمعدن المضاف نوع ECuSn8 فإنه وجد الحد الفاصل والذي يمثل طور الربط فيه بعض النوافذ لدخول الفولاذ إلى داخل المعدن المضاف أي انتشار كتل من الفولاذ داخل المعدن المضاف. عدم ملاحظة الطبقات الثلاث والذي أظهرها لحام الفولاذ بمعدن مضاف نوع ECuSi.
- ٤.٣ بالنسبة للمعدن المضاف نوع ECuSn8 فإنه بين تداخل تام مع المعدن الأساس نوع نحاس ولكنه بين لنا النحاس نمو نوع (Epitaxial) من جانبه و (Nonepitaxial) من جانب الفولاذ والذي بينه أيضا استخدام المعدن المضاف نوع ECuSi.

## ٥. المصادر

- [1] Lancaster,J.F.," Metallurgy of Welding", Third Edition , George AllenandUnwinLondon,1980.
- [2] Sindo Kou, "Welding Metallurgy" , First Edition , Wiley Interscience , USA, 2003
- [3] Jennings,P.H.,Singer , A.R.E. , and pumphrey ,W.L. ,J. Inst. Metals,Vol. 74,P2275,1948.
- [4] Dowd , J.D. , Weld.J.,Vol.31,P.485 , 1952.
- [5] Dudas,J.H.,and Collins F.R., Weld.J.,Vol.45,P.2415,1966.
- [6] Michaud, E.J., Kerr,H.W., and WeakmanD.C., in Trends in Welding Research, ASM International, MaterialsPark OH, June 1995, P.154.
- [7] Yang, Y.P., Dong , P., Zhang ,J. and Tian, X.,Weld.J.,Vol.79, P.95, 2000.

[8] Gueussier , A., and Castro, R., Rev. Metall. ,Vol. 57, P.117, 1960.

[9] Nelson. W, Lippold , J.C., and Mills , M.J., Weld. J.Vol. 79 , P.2675 , 2000.

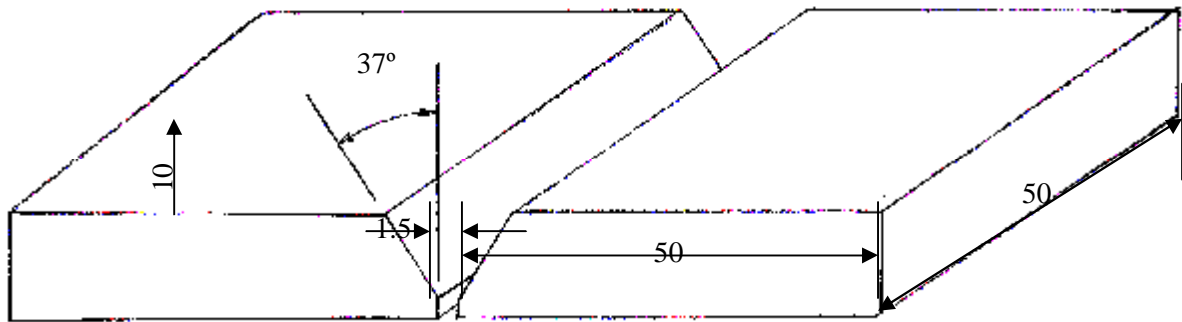
[10] Granjon, H. "Fundamental of Welding Metallurgy", Naveen, Shshdara , Delhi , Second Edition, 1998.

الجدول (1). التركيب الكيميائي للفولاذ منخفض الكربون والنحاس .

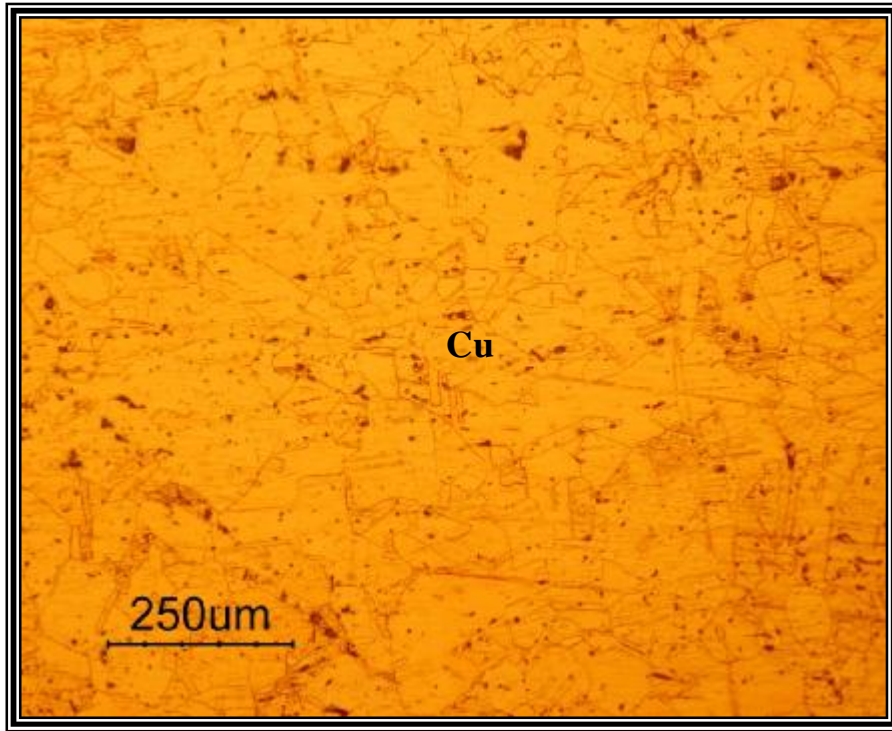
| ELEMENT                   |          | C      | Mn    | P | S | Si    | Cr | Ni | O2            | Cu   | Fe  |
|---------------------------|----------|--------|-------|---|---|-------|----|----|---------------|------|-----|
| Low carbon steel          |          |        |       |   |   |       | 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

الجدول (2) . التركيب الكيميائي لأسلاك اللحام .

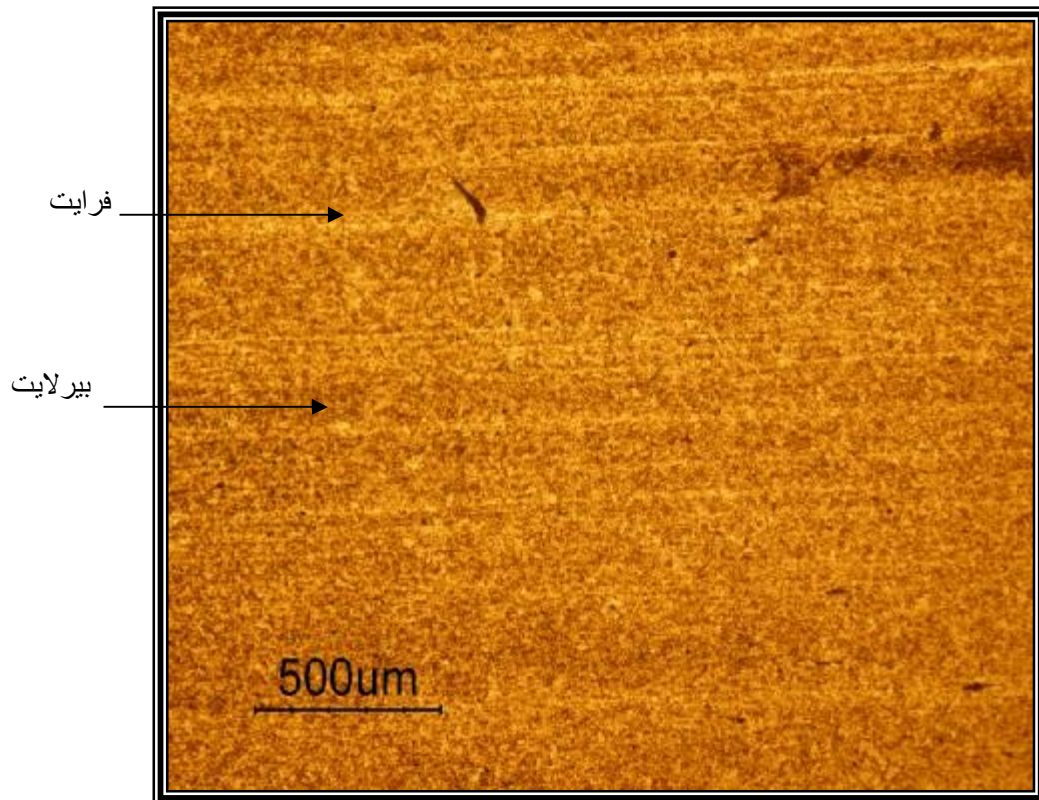
| ELECTRODE TYPE | Si | Mn  | Cu | Fe | Sn | P   |
|----------------|----|-----|----|----|----|-----|
| EL-CuSi        | 3  | 1.5 | 93 | 2  | -  | -   |
| EL-CuSn8       | -  | 0.5 | 91 | -  | 8  | 0.1 |



الشكل (1). تهيئة وصلة اللحام .

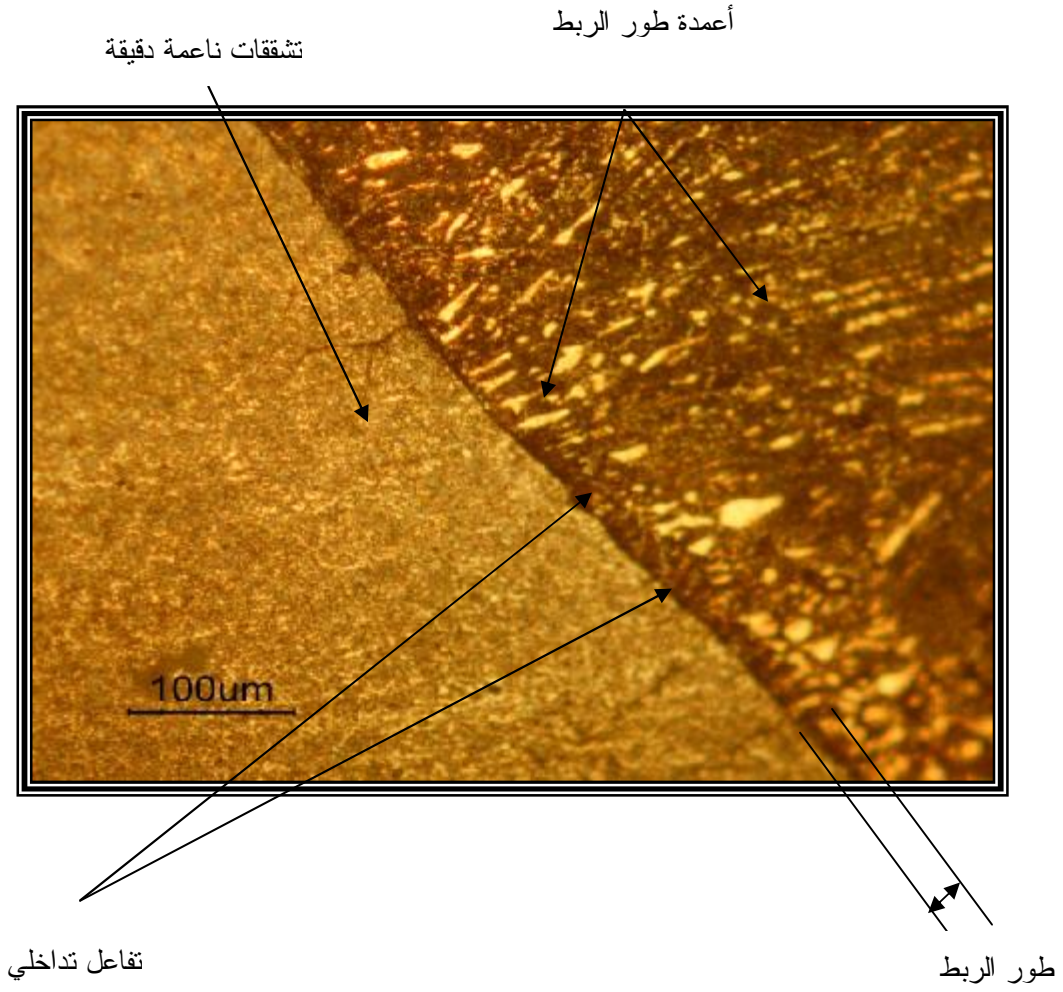


(a)

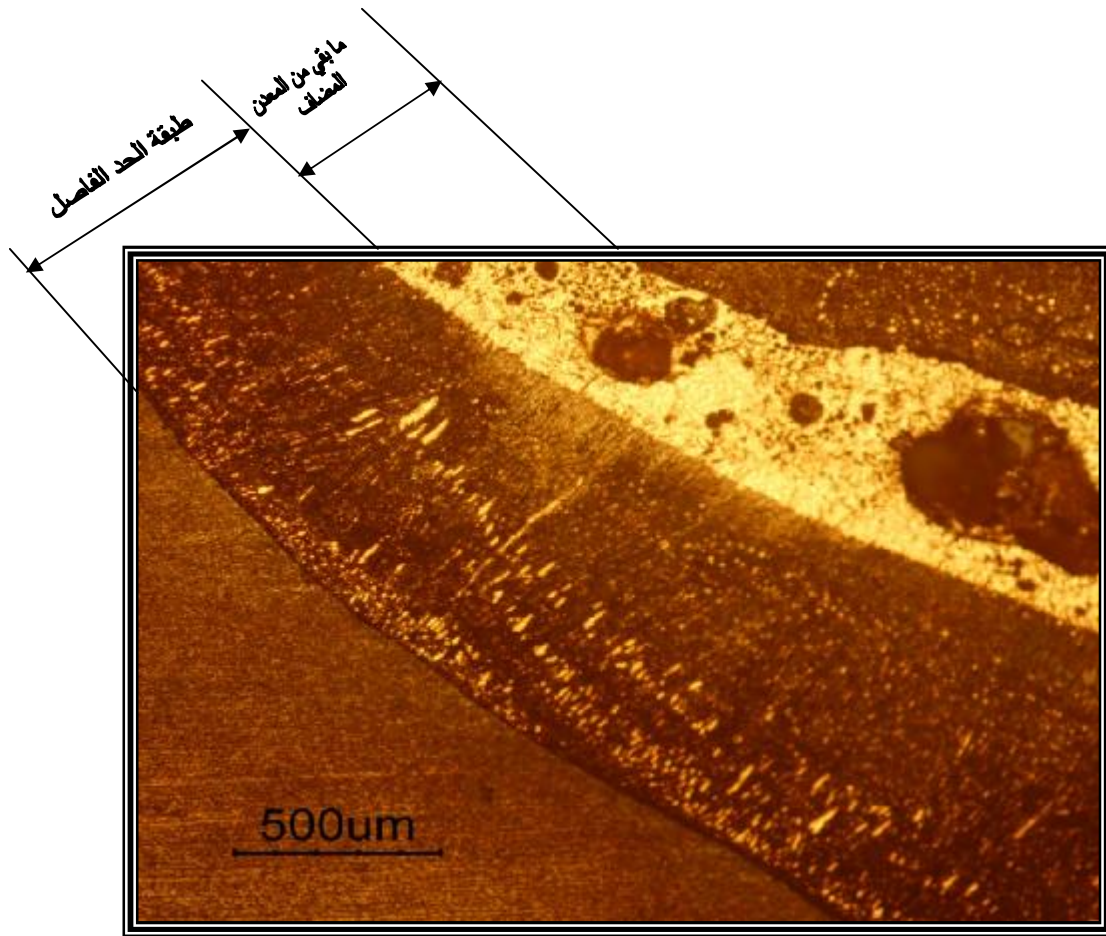


(b)

الشكل (2). البنية المجهرية للمعدن الأساس ، (a) نحاس 100X ، (b) فولاذ 50X.

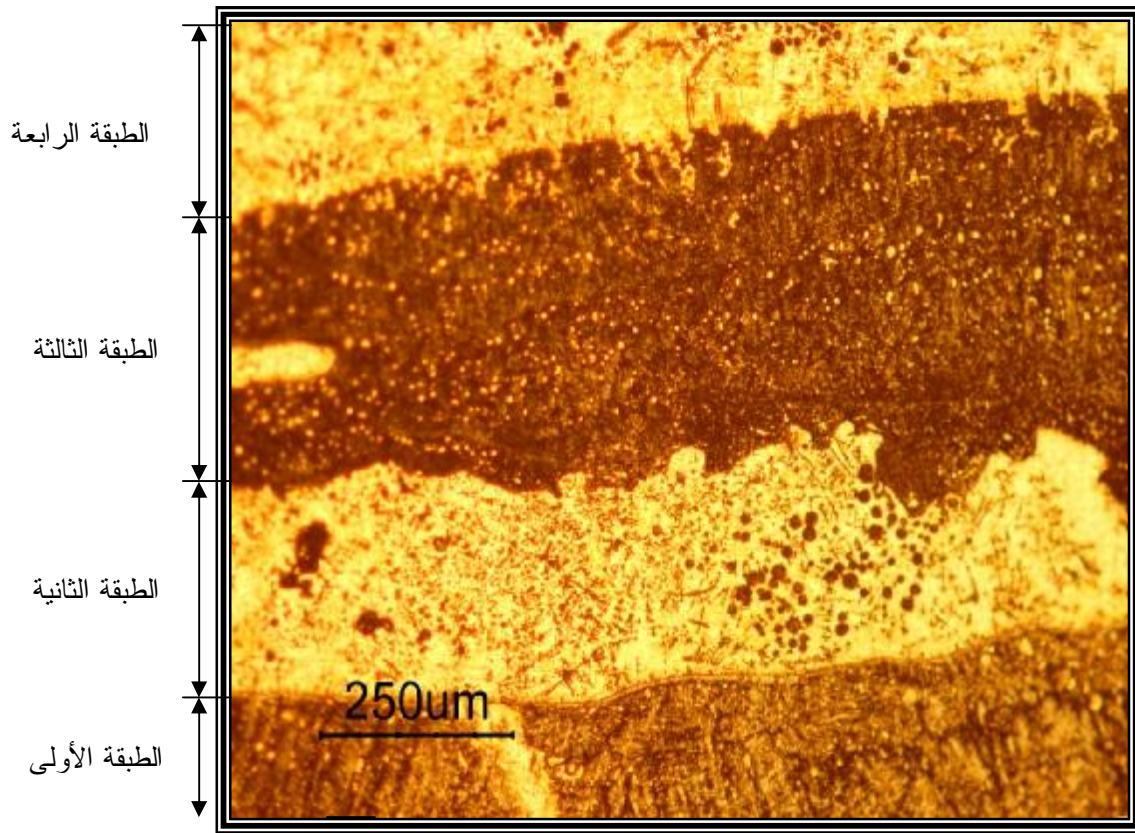


الشكل (3) . الحد الفاصل للفولاذ - المعدن المضاف نوع ECuSi200X.

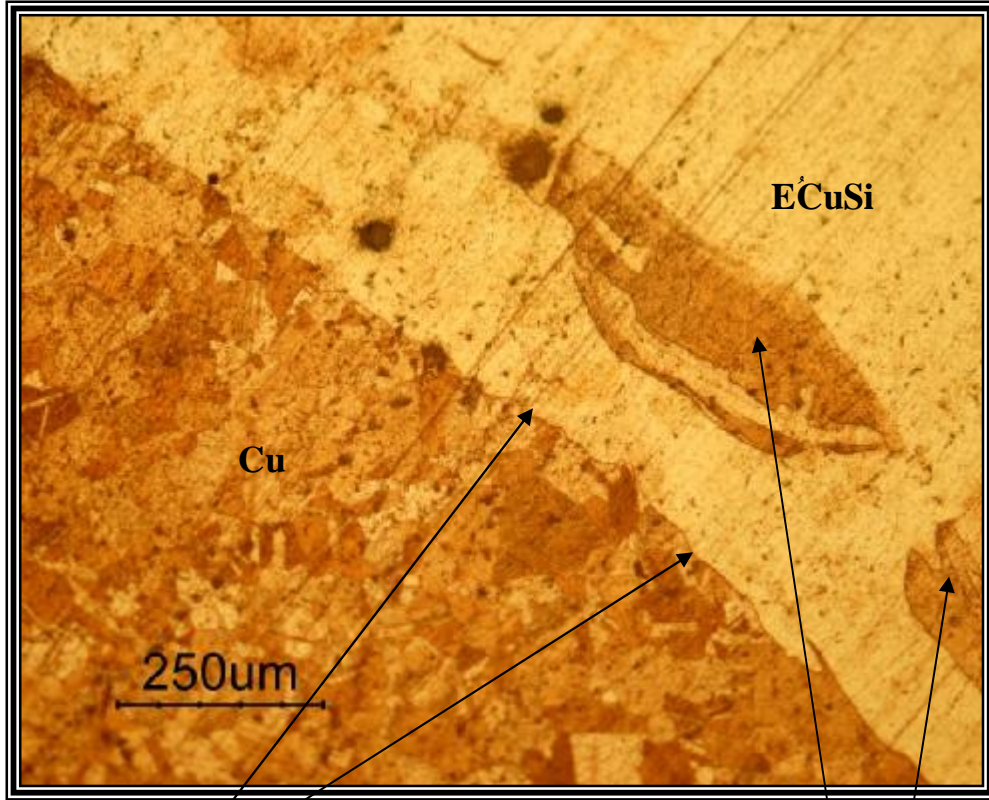


الشكل (4) . تعدد الطبقات بعد الحد الفاصل باستخدام المعدن المضاف نوع ECuSi بعد لحامه مع الفولاذ 50x.





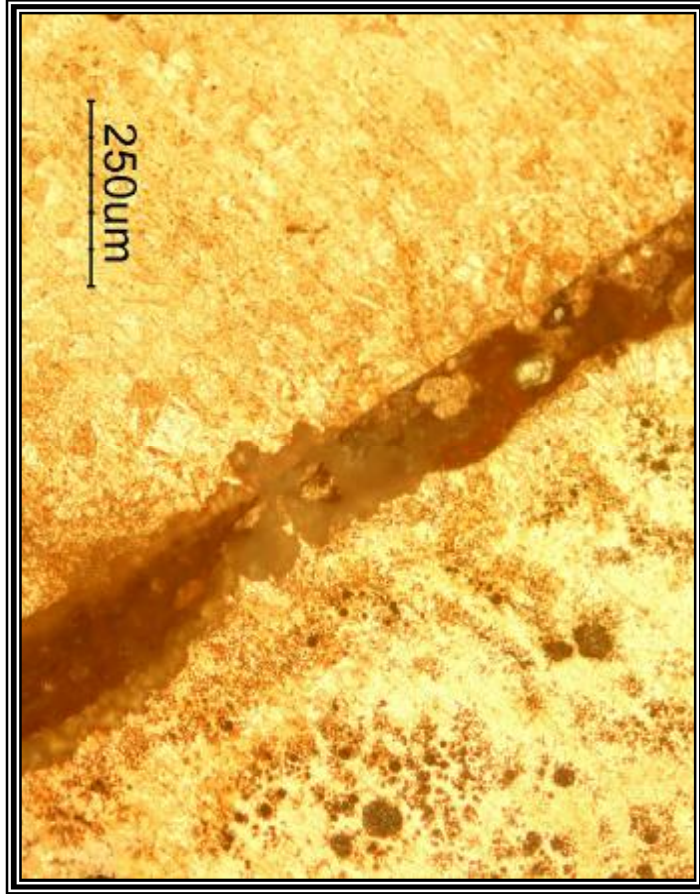
الشكل (5). يوضح الطبقات المتكونة بعد تفاعل المعدن المضاف نوع ECuSi من جانب الفولاذ ، 100X.



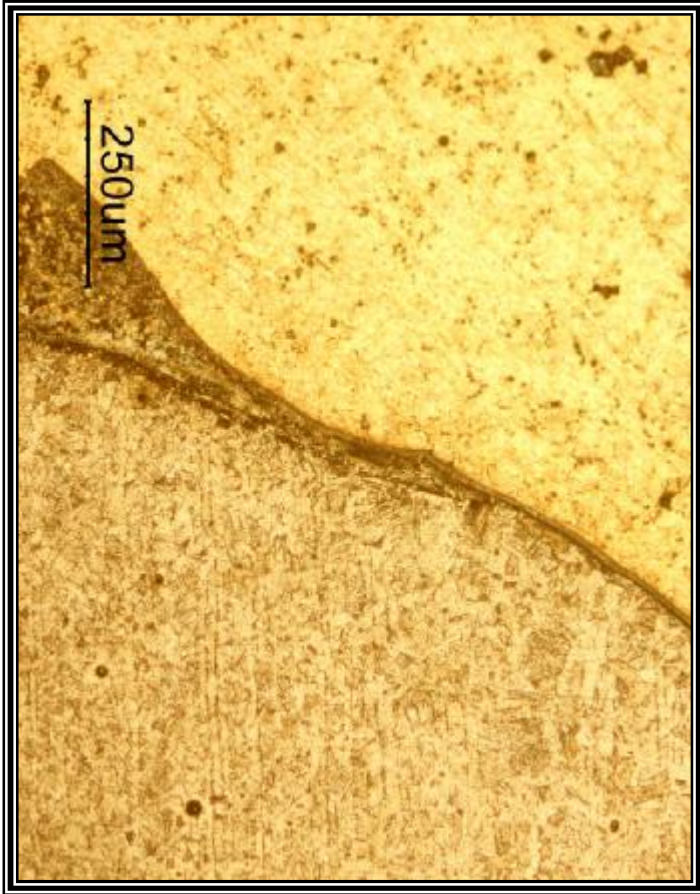
تعرج الحد الفاصل بين  
المعدن المضاف والمعدن  
الأساس (النحاس)

تداخل كامل بين المعدن  
المضاف والنحاس

الشكل (6) . الحد الفاصل بين المعدن المضاف نوع ECuSi مع النحاس وفيه يبين التداخل الكامل ، 100X.

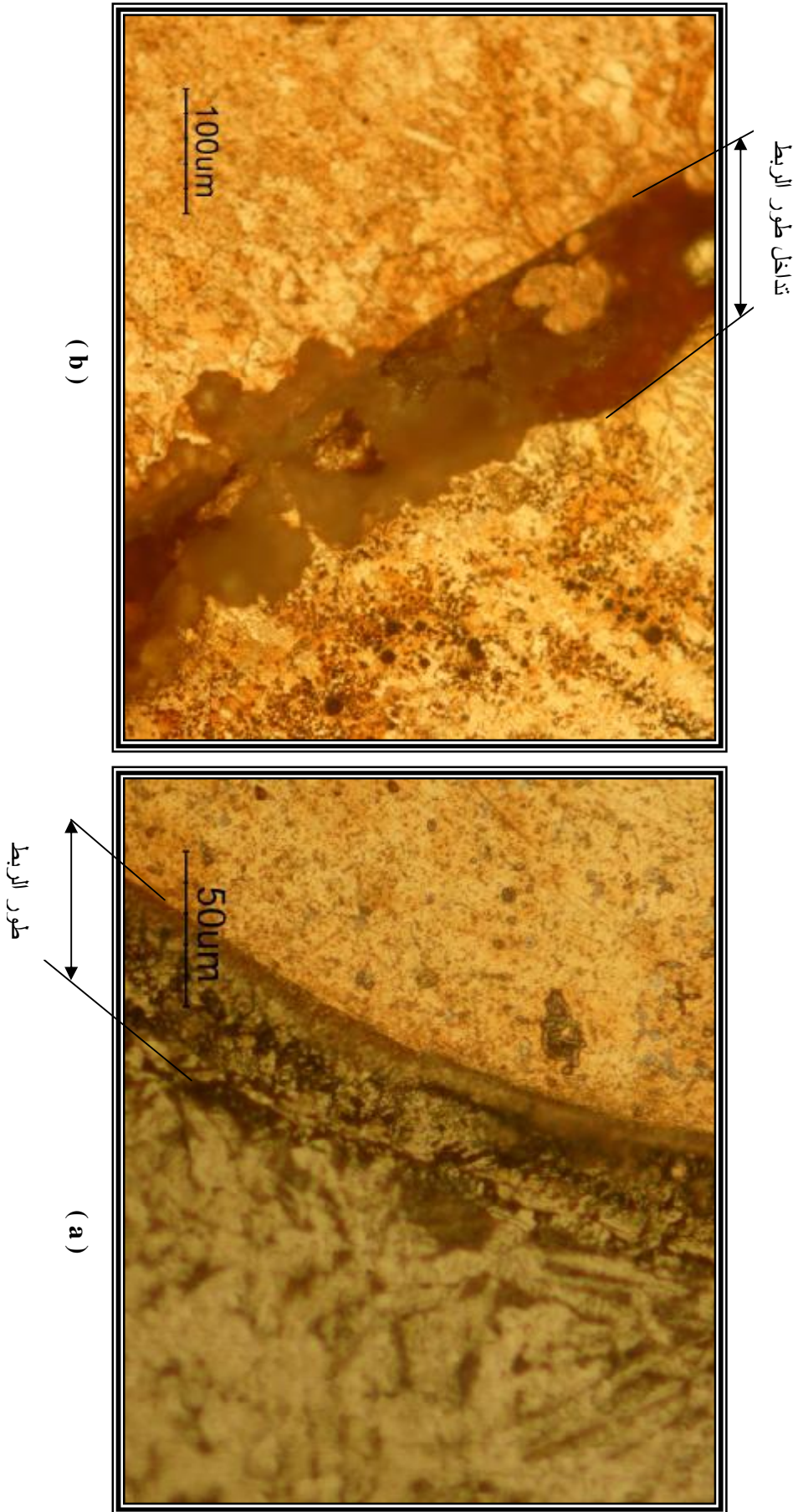


(b)

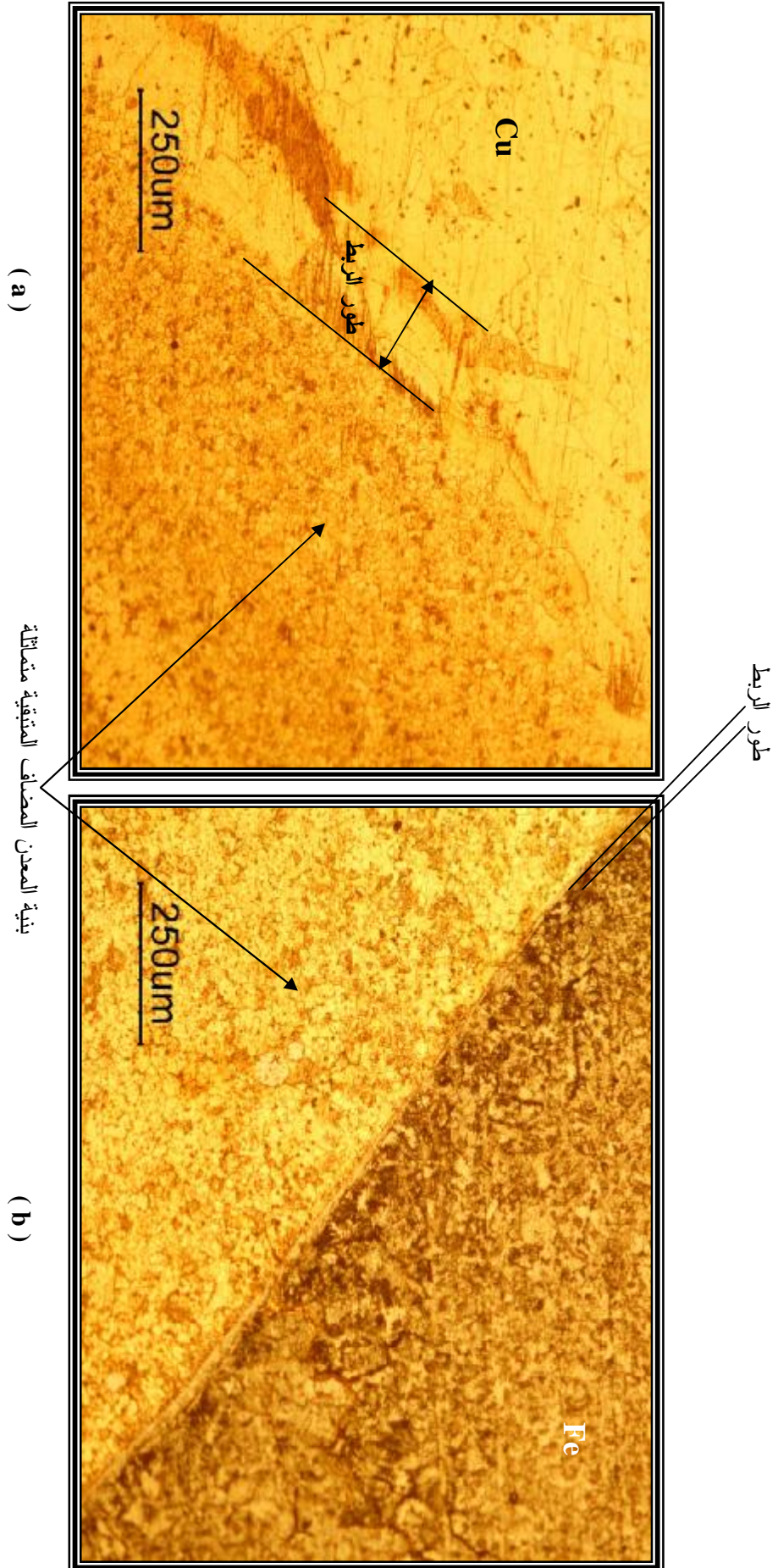


(a)

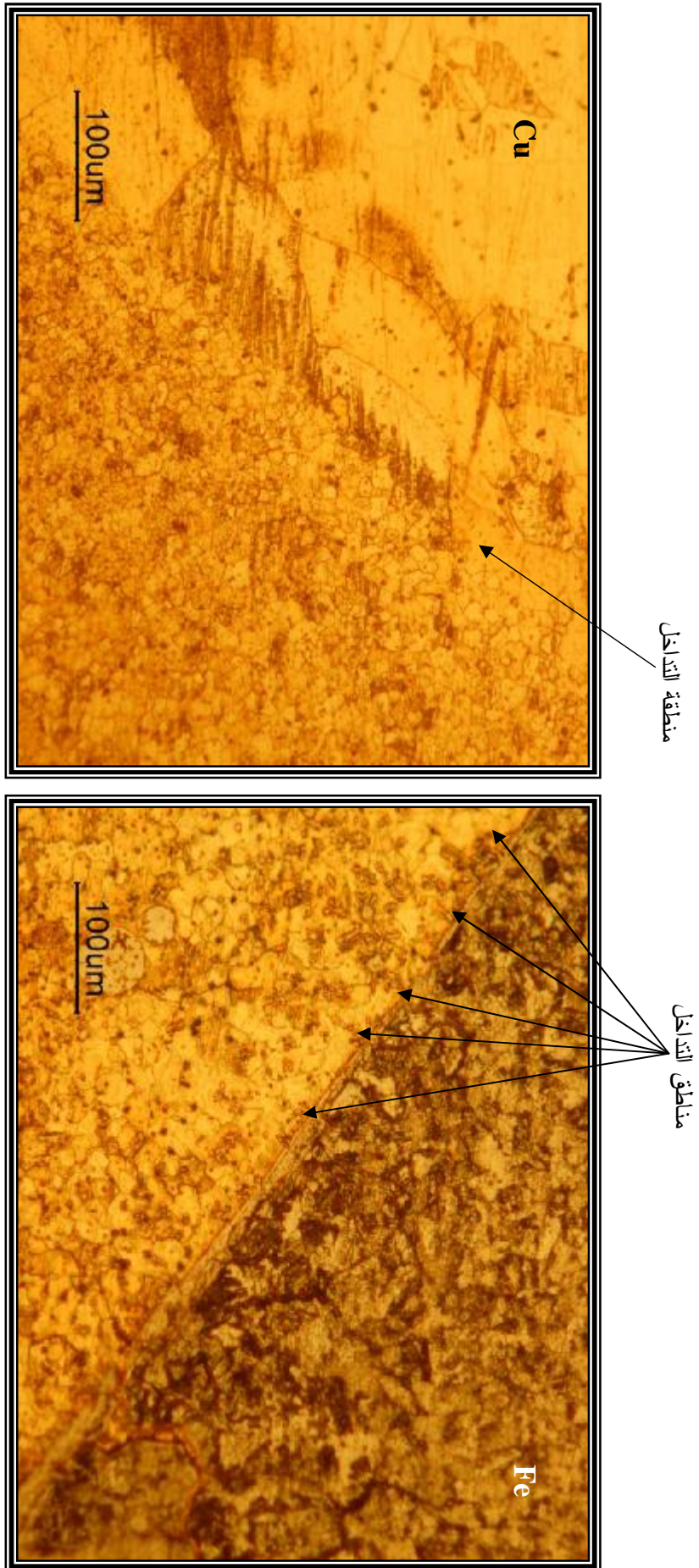
الشكل (7). مقارنة بين الحد الفاصل من جانب الفولاذ (a) والحد الفاصل من جانب التحاس (b) باستخدام معن مضاف نوع 100X, EcuSi.



الشكل (8). (a) الحد الفاصل من جانب الفولاذ وبين طور الربيط X500، (b) الحد الفاصل من جانب النحاس باستخدام معن مضاف نوع EucSi، 200X.



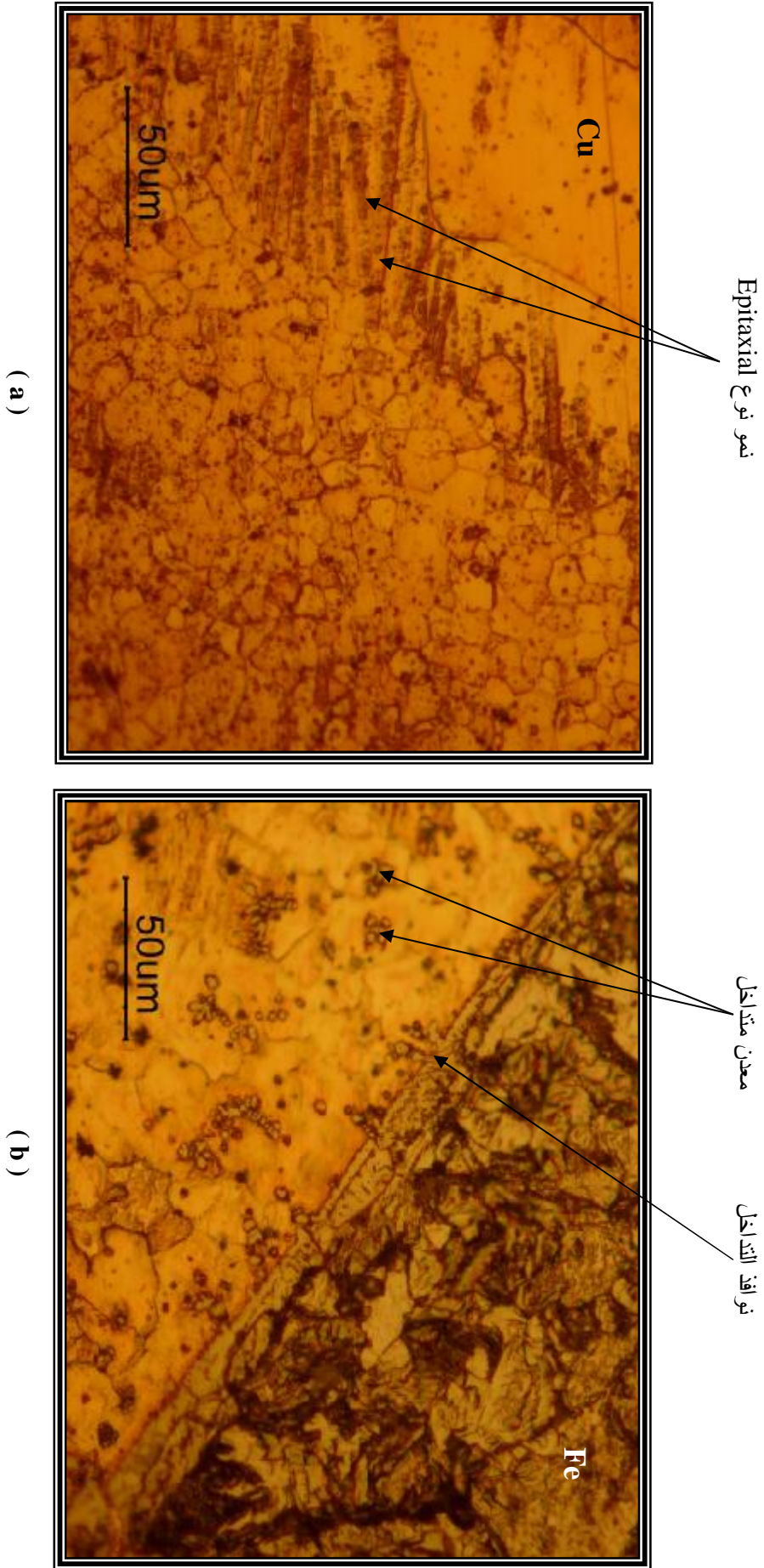
الشكل (9). (a) بيان الحد الفاصل وطور الربيط من جانب النحاس الذي يمثل بناء أو نمو Epitaxial و (b) طور الربيط نوع Nonepitaxial من جانب الفولاذ باستخدام معدن مضاف نوع  $ECuSn8$ ,  $100X$ .



(a)

(b)

الشكل (10). (a,b) يبين النمو نوع Epitaxial من جانب النحاس ويبين وجود توافق التداخل من جانب الفولاذ باستخدام معدن مضاف نوع ECuSn8. 200X.



الشكل (11). (a, b) البناء او النمو نوع Epitaxial من جانب النحاس وبين وجود النوافذ (Interference) من جانب الفولاذ باستخدام معدن مضاف نوع  $500X, ECuSn8$ .