

## آليات الربط في لحام المونة والبرصمة للأسلاك المصفورة

أسعد توما عمران  
الكلية التقنية – بغداد

محمد هيلان ســــر  
الكلية التقنية – بغداد

فاضل عباس هاشم  
كلية الهندسة  
جامعة ذي قار

## المستخلص

تم لحام حبال الشد الفولاذية المغلونة والمصفورة ( Stranded steel ropes ) قطر السلك فيها 10.3 ملم ، بواسطة لحام المونة والبرصمة . كذلك اسلاك النحاس المصفورة ( Stranded copper cables ) بنفس الطريقتين من اللحام باستخدام وصلة لحام تناكبية – تداخلية ( Socket – Butt Joint ) ، ذات مواصفة تداخلية بفراغ شعري ( Capillary gab ) بحدود ( 50 – 100 مايكرون ) وفراغ تناكبي بحدود ( 2 ) ملم . في تلك الوصلات تمت المحافظة على أفضل الظروف وتكرارية عالية وصولاً الى وصلة لحام متكررة خالية من العيوب . أسلاك اللحام المستخدمة في لحام المونة ، هي سبائك حشو ( Filler metal Alloy ) من النحاس – فسفور بنسبة وزنية من الفسفور بحدود 7.5% ، بينما سبائك الحشو في البرصمة متكونة من القصدير – الرصاص الايوتكتيكية . درست آليات الربط للوصلات الاربعة ، حيث اتضح تشابه تلك الآليات من حيث تكون طور الربط I ( Bonding phase I ) على خط اللحام ( Interface ) ، والطور المتبقي II ( Intermediate phase ) . هنالك تباين في تلك الآليات من حيث حركة سبيكة الحشو وتداخلها في وصلة اللحام وتأثيرها في متانة الربط .

## Bonding Mechanisms in Brazing and Soldering of Stranded Cables

## Abstract

Galvanized steel stranded ropes ( 10.3 mm diameter ) were welded by brazing and soldering , also stranded copper cables ( 9.5 mm diameter ) using Socket – Butt joint with capillary gap between 50 – 100 um , and 2 mm butt gap . Welding was completed by torch technique with commercial fluxes . The filler – metal alloy are copper – phosphors for brazing and tin-lead eutectic for soldering . The bonding mechanisms are generally the same . Bonding phase I will be created at the interface , while the intermediate phase II is the remainder . Mechanisms are different in spreading , wetting and bonding strength .

## 1. المقدمة

1.1. آليات الربط في لحام وصلات المونة والبرصمة الاعتيادية ( ذات مقطع لحام متعامد ) من الممكن أن تختلف تبعاً لنوع الحشو المستخدم ( FMA ) ، أو باختلاف جانبي وصلات اللحام . ولكن بشكل عام فإن الآلية ضمن الشكل ( 1 ) [1] .

ولتحليل الشكل (1) : يمكننا القول أن الطور 1 يكون عادة متماثل ولكنه قد يختلف إذا كان معدن الاساس غير متشابه ، كأن يكون من السيراميك في أحد جانبيه ، اما الآخر مثلا يكون من المعادن . فإن الطور 2 قد يختلف من مكان الى آخر [2] . أما الطور 1 والذي يمثل طور الربط ( Bonding phase ) فإنه يكون أساس نظرية اليه الربط فنجدته مختلف دائما تبعاً لنوع الحشو وكذلك لتشابه واختلاف طرفي وصلة اللحام .

1.2. بما ان وصلة اللحام المستخدمة في هذا البحث غير متعامدة ( أسلاك مدورة ) وهي أسلاك مضفورة وفيها تكون حركة المعدن المنصهر خلال تلك الاسلاك خاضعة لحالة غير ثابتة من ناحية المسافة بين تلك الاسلاك ( gaps different ) . مما يخلق حالة غير متماثلة بالنسبة لحركة سائل الحشو بواسطة الخاصية الشعرية ( Capillary Action ) . حيث يكون السائل أسرع بالقرب من الاسلاك ( المسافة الاضيق ) منه في المنطقة الوسطية [3] كما في الشكل (2) .

الشكل (2) يبين ان المناطق الاوسع يكون فيها كمية الحشو اكبر مما عليه في المناطق الاضيق وهذا يعني ان المسافة تكون اكبر مما يعني ان الخاصية الشعرية سوف تكون مختلفة وهذا ما يميز هذه الوصلة عن الوصلات ذات القطع المتعامد . مما يؤثر في العمليات الاساسية في لحام المونة والبرصمة ومنها التغلغل ( Spreading ) وبالتالي سوف يؤثر ذلك على عمليات التبلل Wetting وكذلك يؤثر على عملية اكتمال حصول طور الربط ( Bonding phase ) لذلك قد نجد مناطق غير مكتملة في المناطق الاضيق [ 4 ، 5 ] .

## 1.3 . تعريف آلية الربط

هنالك نوعان او تعريفاً لآلية الربط في لحام المونة والبرصمة : **الاول**: يشير الى الخطوات التي يتم فيها ربط جانبي وصلة اللحام . تلك الخطوات تتضمن تحول سبيكة الحشو الى سائل ثم تفاعله مع جانبي وصلة اللحام وصولاً الى الرابطة [5] .

**الثاني**: يشير الى ما يحصل عند الخط الفاصل بين سبيكة الحشو المتجمدة وكلا الجانبين . ويصل ذلك الى معرفة طور الربط وأكثر من ذلك الى كيفية حصوله على مستوى تبادل الذرات او الايونات [6] . وفي هذا البحث تم دراسة آلية الربط من النوع الاول لسهولة العمل بتلك الآلية وكذلك لتمهيد العمل لبحوث أخرى في هذا المجال .

ان ما يمنع دراسة وصلات اللحام الحالية وصولاً الى دراسة الآلية في النوع الثاني يعود الى ان الوصلة مكونة من عدد من الاسلاك وهذه الاسلاك ذات مقطع دائري مما يصعب احصاء ودراسة الحد الفاصل بين سبيكة الحشو وتلك الاسلاك .

## 2. الجانب العلمي : Experimental Work

### 2.1 المواد الاولية

النحاس المستخدم يعتبر نقي 99.5% اما الفولاذ فأن تركيبه الكيميائي كما في الجدول 1 ، اما اسلاك المونة المستخدمة فأنها كما في الجدول 2 . اما اسلاك البرصمة فأنها من سبيكة تجارية 60% قصدير + 40% رصاص .

### 2.2 وصلة اللحام

وصلة اللحام المستخدمة والممثلة بالشكل (3) التي تعتبر تداخلية ( Socket Joint ) اما مقطع تلك الوصلة فأنها ممثلة بالشكل (4) والتي يمكن من خلال تلك الاشكال دراسة آليات الربط المختلفة لوصلات نحاسية او حديدية . مساعدات الصهر المستخدم في لحام المونة نوع DIN-8511-1-SH2 فعاله في درجة حرارة بحدود 700 – 1100<sup>0</sup>م . اما مساعدات الصهر في لحام البرصمة فأنها متضمنة مع السلك .

### 2.3 الفحص المجهري Microstructural Testing

بعد اجراء عملية اللحام يتم تقطيع العينات كما في الاشكال 1 و 2 . ثم تجرى عمليات التنعيم باستخدام ورق تنعيم من كاربيد السليكون ودرجات ( 200 , 400 , 600 , 800 , 1000 , 1200 ) باستخدام الماء كسائل تبريد وكذلك لازالة الحبيبات المتساقطة من جراء عملية التنعيم ، بعدها يتم استبدال ورق التنعيم بقماش خاص لاستخدام مسحوق الالومينا المعلق بحجم حبيبات بحدود ( 3 – 1 ) مايكروناتام عملية التنعيم وتهيئتها لعملية الاظهار . في عملية الاظهار يتم اولا غسل العينات بالكحول وبالماء ثم تجفف بالهواء الساخن ، ثانيا ثم غمر العينة بالمحلول المناسب لعملية الاظهار ، في هذا البحث تم استخدام محلول من ثالث كلوريد الحديدك ( 5gFeCl<sub>3</sub>, 100 ml ethanol + 5 – 30 ml HCl ) حيث يتم غمر العينات بالمحلول ولفترة مناسبة بحدود 10 – 15 ثانية . ثم بعد ذلك يتم غمر العينة بالكحول والماء وتجفف وتكون جاهزة للفحص تحت الميكروسكوب الضوئي .

## 3. مناقشة النتائج : Result and discussion

### 3.1 حبال الشد الحديدية المغلونة المصفورة .

#### أ. لحام البرصمة Soldering

من خلال الاشكال ( 5 , 6 ) اتضح لنا تأثير الفراغ الشعري ( Capillary gaps ) الممثل بالفراغ ( 0.05mm ) والذي من الممكن تغطيته في لحام البرصمة مع وجود طبقة الطلاء ( الزنك ) بينما عندما يصل الفراغ الى أقل من 0.05 mm فإنه من الصعوبة تغطيته بتلك الطريقة مما يشكل تكوين فراغات قد تصل الى ما يسمى نقص في سبيكة الحشو ( Lack of filler ) والذي يشبه تواجد التشققات بتأثيره على متانة وصلة اللحام . وهذا يحدث في مناطق وصلة اللحام التي تقترب فيها الاسلاك .

اما الشكل (7) فإنه يوضح وصلة لحام ذات فراغ ( 0.15 ملم ) وفيها طور الربط مختلف من حيث الهيئة حيث الطرف العلوي يكون على شكل خط فاصل اما الطرف السفلي فإنه متعرج ويحتوي على تشققات . وهذا بين اثر زيادة مسافة الفراغ الشعري تؤدي الى تحسن وصلة اللحام بالت موجات ولكن تهبط متانة الوصلة بتشكيل بعض التشققات والدليل على ذلك واضح من الشكل ( 8 ) حيث تبين وصلة اللحام النظامية العالية الدقة فيها الطور 1 والطور 2 واضحان وخاليان من العيوب الذي يبينه الشكل (9) .

## ب. لحام المونة Brazing

يبين هذا النوع من اللحام لتلك الاسلاك وصلات ربط أفضل من اللحام بالبرصمة كما يتضح ذلك من خلال المقارنة بين الشكل (5) والشكل (10) حيث ان الشكل (10) يكون خالي من العيوب الناجمة من وجود طبقة الزنك كما في الشكل (10) وذلك يعود الى ان لحام المونة فيه درجة حرارة اللحام عالية اكثر من  $900^{\circ}\text{C}$ . النقطة الثانية وجود بعض العيوب في المناطق ذات الفراغ الشعري صغير وكبير كما في الشكل (11) و (13) حيث قد ينحصر الزنك المتبخر لارتفاع درجة حرارة اللحام مما لا يسمح بتفاعله مع الطور 1 لسرعة عملية اللحام وهذا يقلل من متانة طور الربط . الشكل (12) كلما زادت مسافة الفراغ الشعري فأن منطقة الطلاء سوف تكسر احيانا وتتفاعل مع الطور 1 و احيانا يبقى منها القليل كما هو واضح ، حيث يتضح ذلك من خلال الشكل (14) .

## 2. 3 أسلاك النحاس المصفورة

### أ. لحام البرصمة : Soldering

من خلال الشكل (15) و (16) يتضح تكامل وصلة اللحام بتكوين طور الربط 1 و 2 وبالمقارنة مع الشكل (5) و (6) يتضح لنا ما يلي :

أولاً . لا توجد مشاكل في المناطق ذات الفراغ الصغير والكبير حيث الالفة العالية ما بين سبيكة الحشو والنحاس على عكس ذلك مع الفولاذ المغلون .

ثانياً . الشكل (5 و 6) يبينان ان الطور 2 مختلف تماما عن الطور 2 في الاشكال (7 و 8 و 9) السابقة ، حيث بين الشكل (9) تواجد الايوتكتك بشكل واضح بينما الاشكال (15 و 16) تبين ابتعاد الطور 2 عن الايوتكتك (مع تواجده) وهذا ناجم عن الالفة ما بين النحاس وسبيكة الحشو وكذلك تباين الفراغ الشعري وعدم ثباته في تلك الوصلات .

الشكل (17) يبين حصول تموجات اللحام كما في الشكل (7) ولكن خلوها من التشققات وهذا أيضا ناجم عن الالفة بين الحشو والنحاس على خلاف ذلك بين الحشو والفولاذ المغلون . مما يعطي متانة أعلى في حالة لحام البرصمة لاسلاك النحاس المصفورة عنه من اسلاك الحديد المصفورة . لذلك هذا النوع من اللحام لم يظهر عيوب الفجوات كما حصل في لحام اسلاك الفولاذ في الشكل (6) .

### ب. لحام المونة : Brazing

الاشكال (18 و 19) تبين زيادة عرض الطور 1 وغياب الطور 2 ( الايوتكتك ما بين النحاس والفسفور) بالمقارنة مع الاشكال (12 و 13) وهذا يعود بالتأكيد للالفة العالية بين الحشو (نحاس - فسفور) والاسلاك النحاسية حيث انها من نفس المعدن وبالتالي تعطي متانة عالية في اللحام . كذلك خلو وصلات اللحام من العيوب وتكون التموجات الضرورية للحام كما في الشكل (20) ولمختلف الفراغات الشعرية . مما يعطي آلية ربط يكون فيها الطور 1 عريض وغياب للطور 2 وخلوها من العيوب وهذا النوع من اللحام اعطى افضل حالات الربط باستخدام مشعل اللحام الاعتيادي والذي يعتبر من طرق اللحام المسببة للتلوث بالمقارنة مع اللحام بالافران الفراغية ولكن يستخدم اللحام الاول لكونه ملائم في لحام تلك الاسلاك النحاسية والفولاذية في حقول العمل وعدم امكانية اجراء اللحام في افران او تحت ظروف اجواء خاملة .

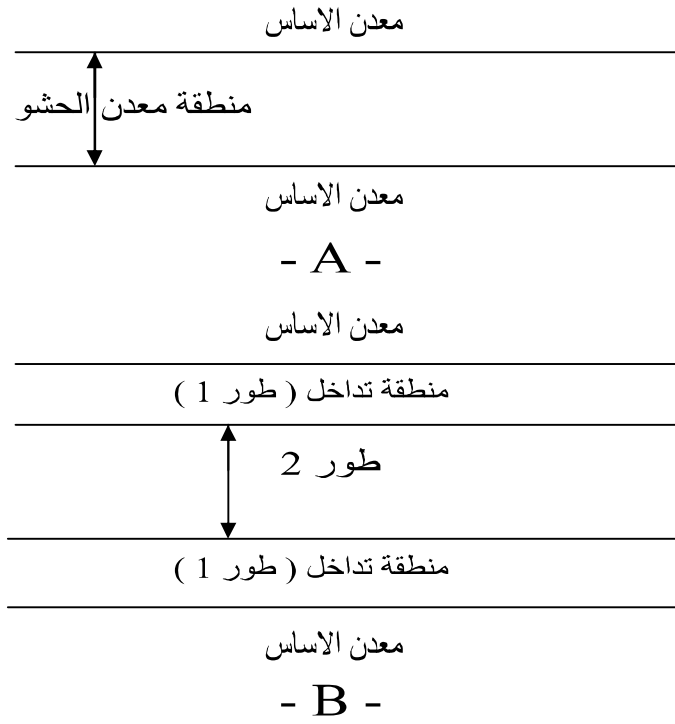
#### 4. الاستنتاجات Conclusion

آليات الربط للحالات الاربعة متشابهة من حيث المبدأ . والتي تتضمن تكون طور الربط 1 ، والطور المتبقي 2 . ولكن هنالك اختلافات وهي كالتالي :

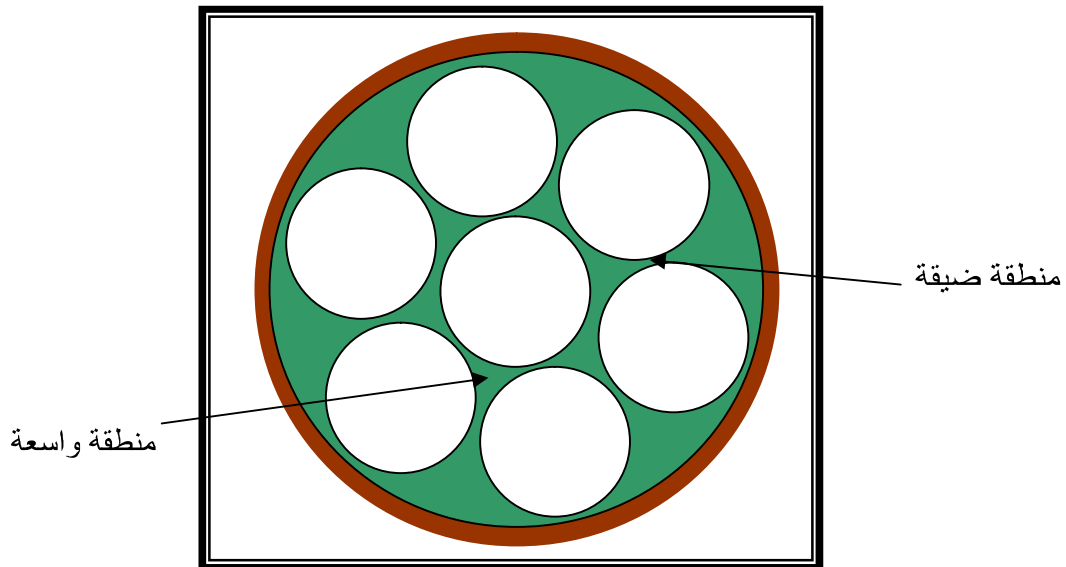
1. آلية الربط للاسلاك المصفورة الفولاذية والملحومة بطريقة المونة يكتنفها تبخر طلاء الزنك مما يساعد على تكون فجوات داخل الطور 2 . اما طور الربط فإنه موجود حتى في المناطق ذات المسافات التي هي أقل من 0.05 ملم .
2. آلية الربط لنفس الاسلاك السابقة والملحومة بطريقة البرصمة ، يكون فيها طور الربط غير مكتمل ، حيث لا نجده في المناطق ذات المسافات دون 0.05 ملم ، ويحتوي على مناطق متأكسدة وتحتوي على عيوب اللحام .
3. آلية الربط للاسلاك المصفورة النحاسية تتميز بتواجد طور الربط 1 في جميع مناطق الضفر وعدم وجود عيوب اللحام ( لعدم وجود طبقة الطلاء ) . وكذلك لوجود الالفة الكيميائية بين سبائك الحشو المستخدمة في هذا البحث والنحاس . مع ملاحظة قليل من التشققات في وسط المسافة الشعرية الكبيرة .

#### 5. المصادر

- [1] F.A. Hashim . " Microstructural and Bonding Mechanisms of Actively Brazed Advanced Ceramic / Ceramic systems ." PhD Thesis , U.O.T. , 2003 .
- [2] A.O.J. Al-Rubaii . " Properties and Mechanisms of Ceramic ( $Al_2 O_3$ ) / Metal (Cu) Bonding" . PhD. Thesis , U.O.B Babylon . 2007 .
- [3] C .J. Thwaites. " Capillary Jointing – Brazing and Soft-Soldering. " RSP. 1982.
- [4] Mel M. Schwartz . " Brazing " ASM International . 1987 .
- [5] Sindo Kou . " Welding Metallurgy " . J. Wiley . 2003 .
- [6] K. S. Bang , S. Liu , " Interfacial Reaction Between Alumina and Cu-Ti Filler Metal During Reactive Metal Brazing " , Weld. J. 73 , 3 , ( 1994 ) , 545 – 605 .



الشكل ( 1 ). مخطط توضيحي لآلية الربط بلحام المونة والبرصمة  
 A- قبل اللحام.  
 B- بعد اللحام.



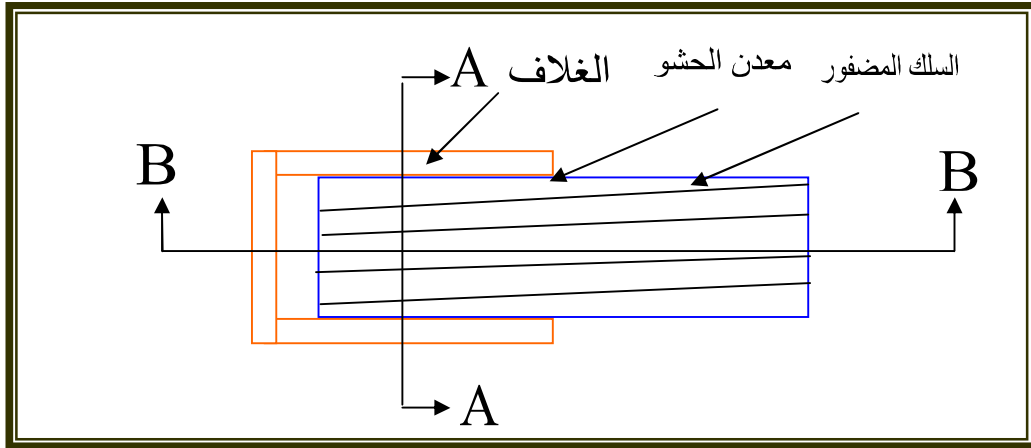
الشكل ( 2 ). يوضح اختلاف المسافات بين الاسلاك المظفورة .

الجدول (1). التركيب الكيميائي للفولاذ الكربوني.

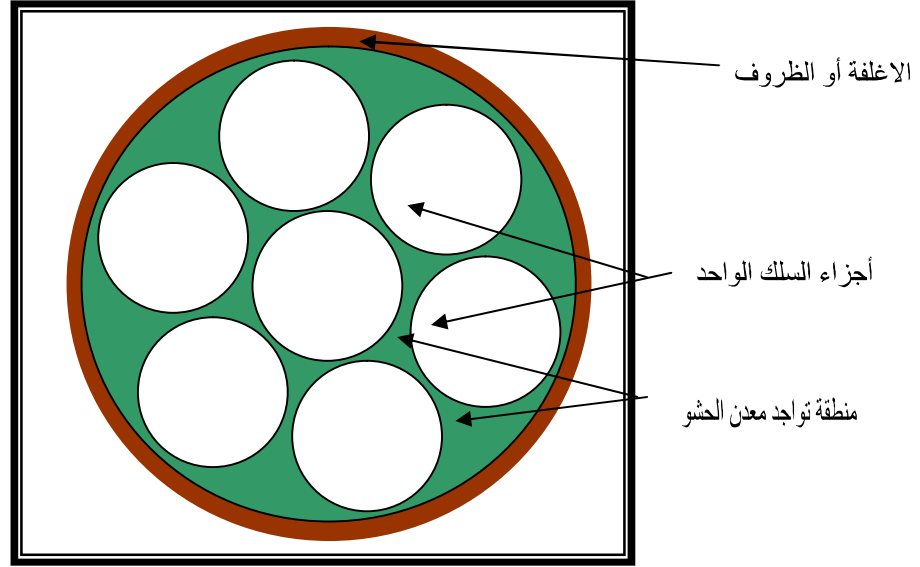
Material	C%	Mn%	Si%	P%	S%	Cu%	Fe%
Actual chemical composition	0.36	0.5-0.9	0.4	0.03	0.04	0.23	Rem.

الجدول (2). بعض مواصفات سبيكة الحشو المستخدمة في لحام المونة.

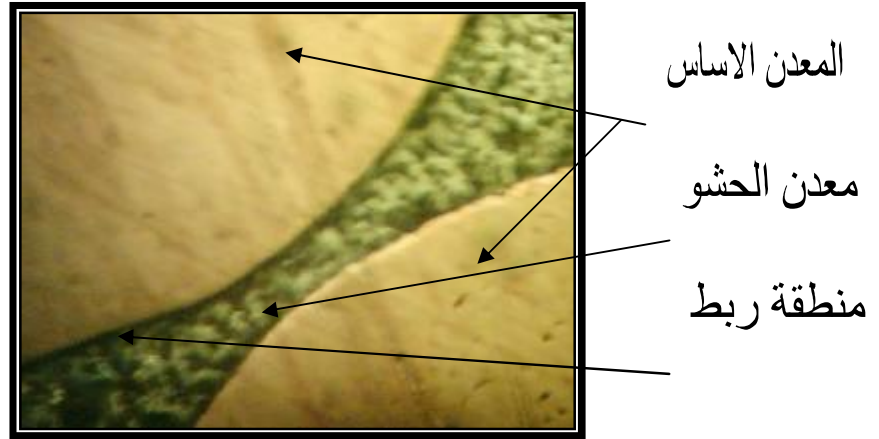
Alloy	Cu%	P%	Melting rang		AWS A5.8	DIN	Clearance mm
			Solidus °F\°C	Liquidus <sup>o</sup> F\°C			
1	92.5	7.5	1310\710	1475\802	BCuP-2	L-CuP7	.05-.17
2	94.5	5.5	1310\710	1650\900	BCuP-1	L-CuP6	.05-.12



الشكل (3). نموذج تصنيع لعينات اختبار الفحص المجهرى.

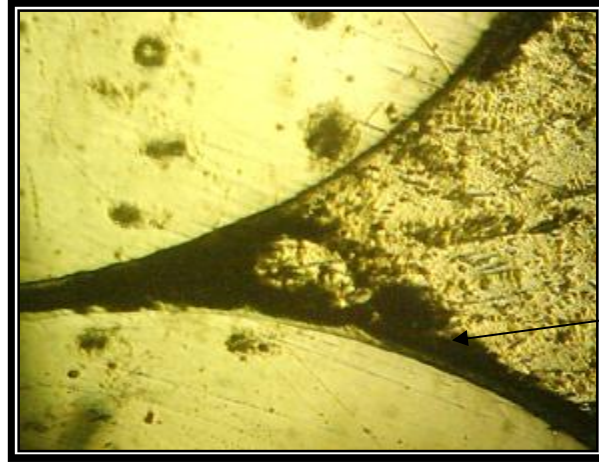


الشكل ( 4 ). المقطع A - A في الشكل (1).



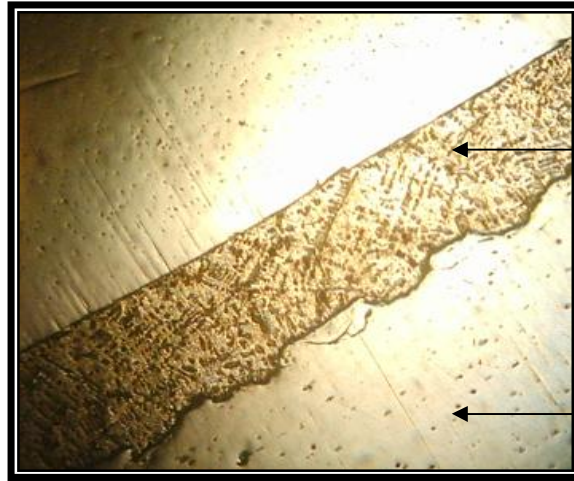
الشكل ( 5 ). مقطع عرضي لاسلاك الفولاذ والمحمومة بطريقة البرصمة باستخدام معدن حشو نوع ( 60 % قصدير - 40 % رصاص ) وبقوة تكبير X125.





أكاسيد

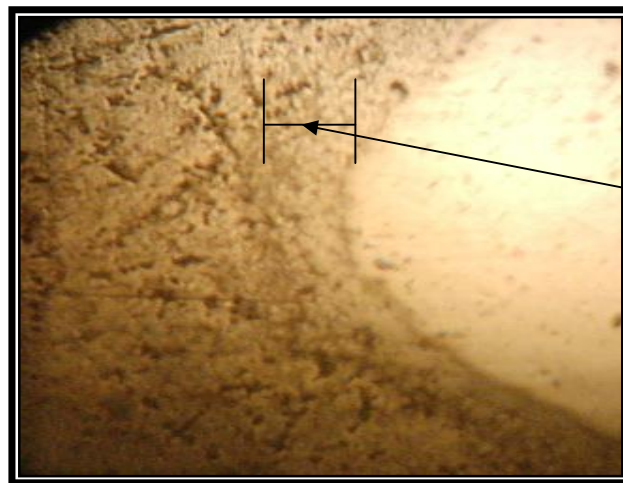
الشكل ( 6 ) . مقطع عرضي ، النقص الحاصل في انبساط Spreading معدن الحشو ( 60% قصدير – 40% رصاص ) لملحومات أسلاك الفولاذ بطريقة البرصمة ، قوة التكبير X125.



معدن حشو

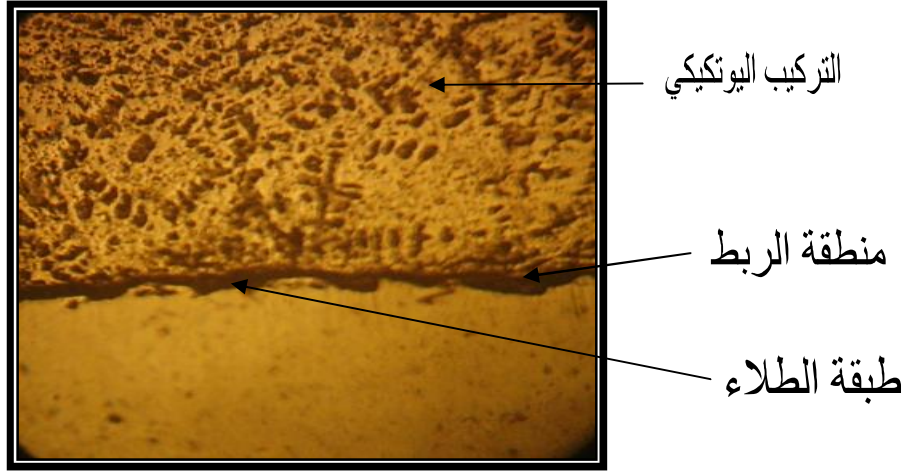
معدن الأساس

الشكل ( 7 ) . مقطع طولي، الشقوق الحاصلة عند لحام أسلاك الفولاذ بطريقة البرصمة وباستعمال معدن حشو ( 60% قصدير – 40% رصاص ) ، وبقوة تكبير X125 .



منطقة الربط

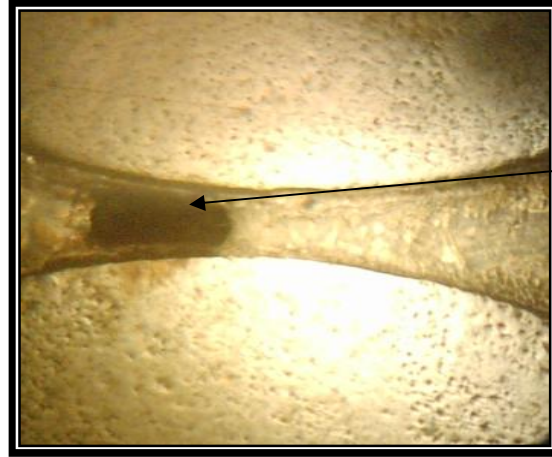
الشكل ( 8 ) . مقطع عرضي لمنطقة الربط لملحومات أسلاك الفولاذ بطريقة البرصمة باستخدام معدن حشو ( 60% قصدير – 40% رصاص ) وبقوة تكبير X250 .



الشكل (9) . مقطع طولي للتركيب اليوتكتيكي لمعدن الحشو (60% قصدير - 40% رصاص) المستخدم في لحام أسلاك الفولاذ , قوة التكبير X250 .

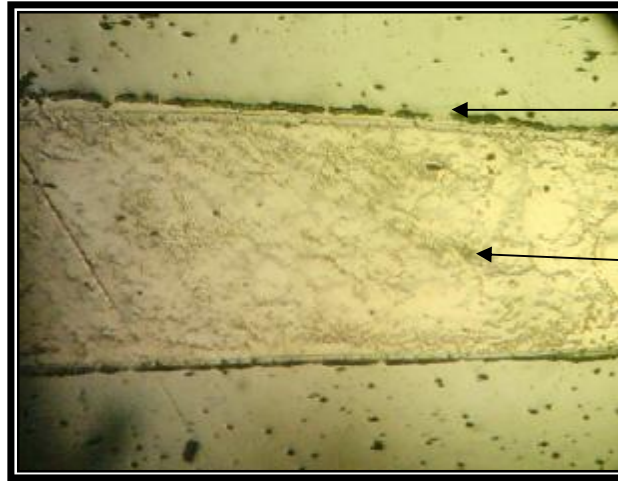


الشكل (10) . مقطع طولي نموذج أسلاك الفولاذ الملحومة بطريقة المونة بمعدن حشو BCuP<sub>1</sub> قوة التكبير X125 .



عيوب

الشكل (11) . مقطع عرضي العيوب الناتجة من انحصار بقايا مساعدات الصهر داخل منطقة اللحام لملحومات أسلاك الفولاذ بطريقة المونة بمعدن حشو  $BCuP_1$  قوة التكبير X125 .



طبقة الطلاء المتكسرة

معدن الحشو

الشكل (12) . مقطع طولي لتكسر طبقة الطلاء لملحومات أسلاك الفولاذ بطريقة المونة بمعدن حشو  $BCuP_2$  قوة التكبير X125 .

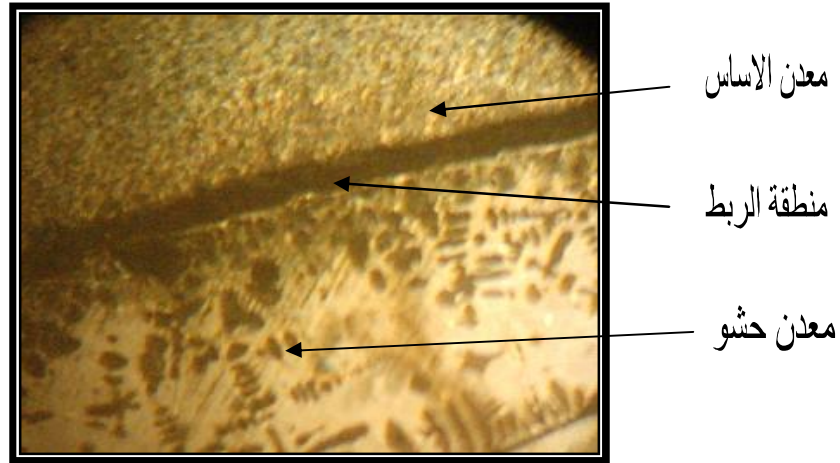


منطقة الربط

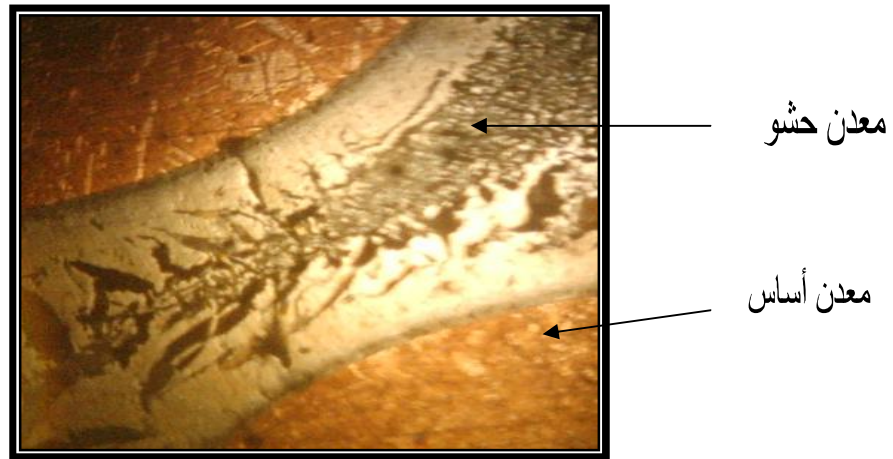
العيوب

الشكل (13) . مقطع عرضي نموذج أسلاك الفولاذ الملحومة بطريقة المونة وبمعدن حشو  $BCuP_1$  قوة التكبير X125 .

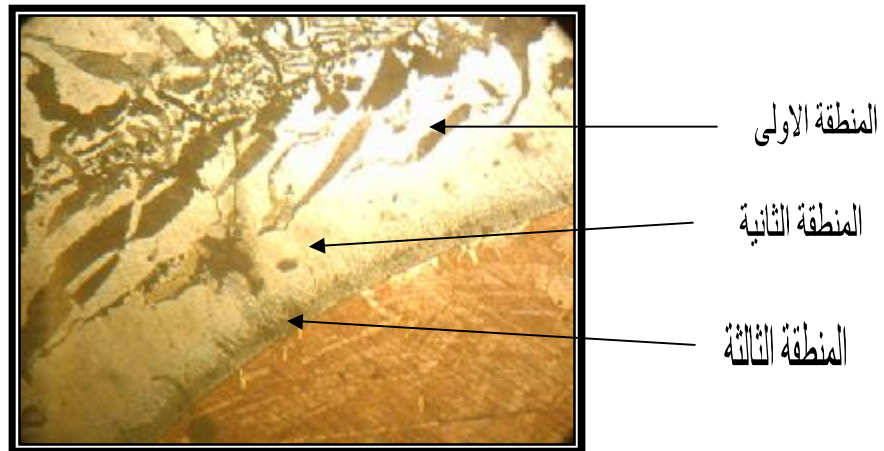




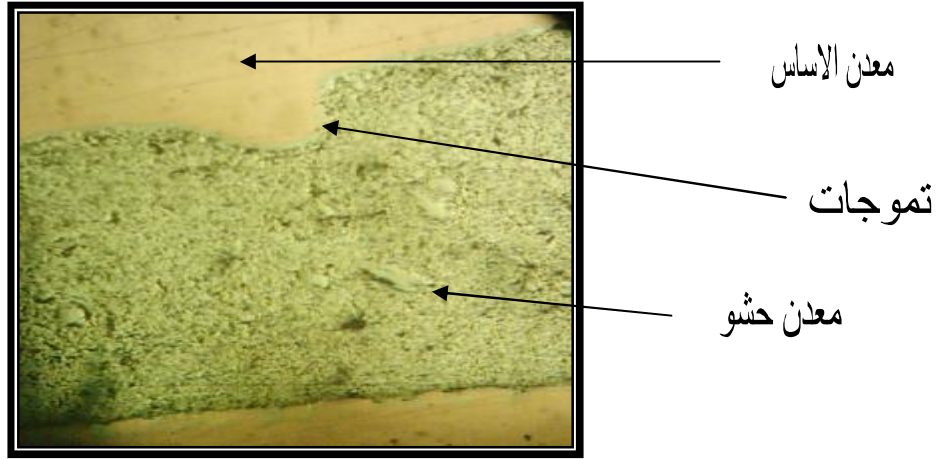
الشكل ( 14 ). مقطع طولي أنموذج أسلاك الفولاذ الملحومة بطريقة المونة باستخدام معن حشو نوع  $BCuP_2$  , قوة التكبير X250 .



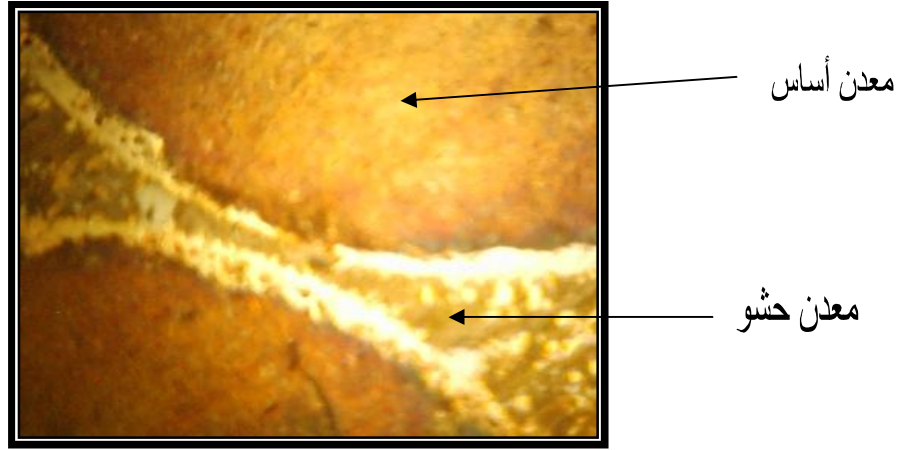
الشكل ( 15 ). مقطع عرضي للتركيب المجهرى لمعلومات أسلاك النحاس بطريقة البرصمة باستخدام معن حشو (60%قصدير- 40% رصاص) , قوة التكبير X125 .



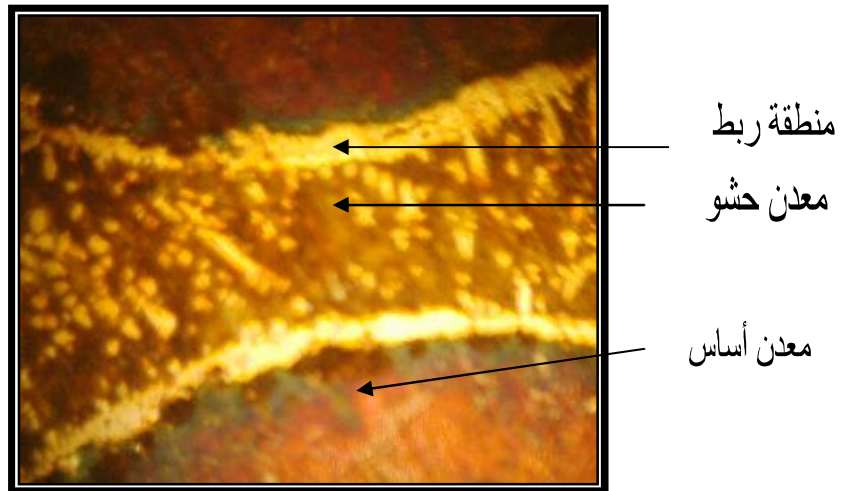
الشكل ( 16 ). مقطع عرضي للتركيب المجهرى لمنطقة الربط لمعلومات أسلاك النحاس بطريقة البرصمة بمعن حشو (60% رصاص- 40%قصدير), قوة التكبير X250 .



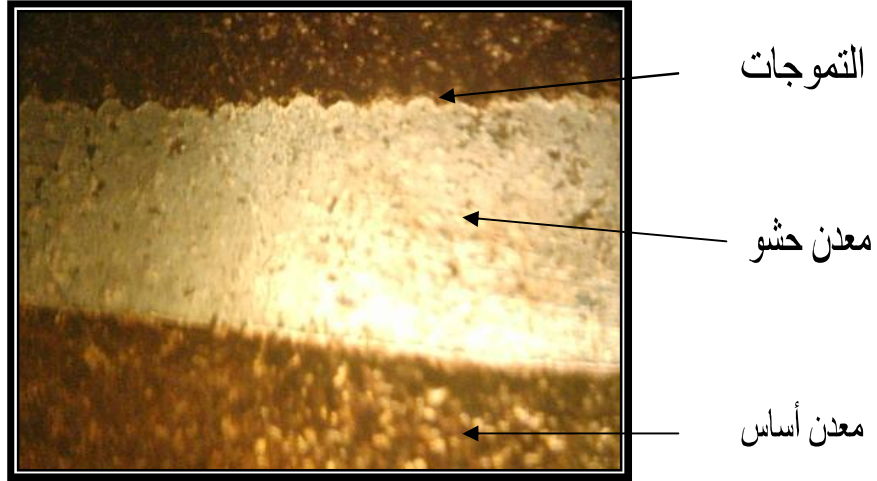
الشكل ( 17 ) . مقطع طولي للتموجات الحاصلة بين معادن الحشو (60%قصدير- 40%رصاص) ومعادن الأساس لمعلومات أسلاك النحاس، قوة التكبير X125 .



الشكل ( 18 ) . مقطع عرضي لأنموذج لمعلومات أسلاك النحاس بطريقة المونة بمعادن حشو  $BCuP_2$  قوة التكبير X125 .



الشكل ( 19 ) . مقطع عرضي لمنطقة الربط لمعلومات أسلاك النحاس بطريقة المونة باستخدام معادن حشو نوع  $BCuP_2$  قوة التكبير X250 .



الشكل ( 20 ) . مقطع طولي للبنية المجهرية لمعلومات أسلاك النحاس بطريقة المونة وباستخدام معدن حشو  $BCuP_1$  , قوة التكبير X125 .