دراسة بعض العوامل المؤثرة على لحام المونة لربط الفولاذ مقاوم الصدأ (AISI 316L) مع الفولاذ منخفض الكاربون (CK15)

د.منى خضير عباس
أستاذ مساعد

حسين موسى حبيب
مدرس مساعد

تاريخ الاستلام:2007/1/8
تاريخ القبول:2007/8/2

الخلاصة

تم لحام صفائح متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (AISI 316L) وكذلك صفائح غير متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (AISI316L) والفولاذ منخفض الكربون (CK15) (DIN1654) بطريقة لحام المونة باستعمال سبائك مونة غير فعالة ذات اساس نحاس في افران ذات اجواء غازية خاملة وذلك بوضع العينات في حاوية خاصة (Retort) ملئت بغاز الاركون اثناء فترة اللحام وبمعدل جريان (1-2 لتر / دقيقة) داخل فرن صندوقي . تم استعمال ثلاثة انواع من سبائك المونة (AWSRB Cu Zn-D) ,(AWSRB CuZn-C), (DINL-Ag20Cd مع تغيير مدة اللحام (5 , 10) دقائق عند درجة حرارة مناسبة لكل سبيكة مونة. تم اجراء الاختبارات الميكانيكية والميتالورجية المختلفة والتي شملت اختبار مقاومة القص المنفرد (Single shear) واختبار مقاومة القص المزدوج (Double shear) واختبار قص الشد (Tensile shear) بالاضافة الى اجراء فحص البنية المجهرية وحيود الاشعة السينية لكل من الوصلات المتشابهة والوصلات غير المتشابهة .

اظهرت الوصلات التناكبية المنفردة والمزدوجة من المعادن المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) مقاومة قص اعلى مما في حالة الوصلات غير المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكربون وعند نفس ظروف اللحام المستعملة . حققت سبيكة المونة (RBCuZn-D) اعلى مقاومة قص للوصلات التناكبية المنفردة والمزدوجة وقص الشد في حالة الوصلات المتشابهة وغير المتشابهة مقارنة مع الوصلات بأستعمال سبائك المونة الاخرى وعند مدة لحام (5 ، 10) دقائق .

Abstract

Similar Plates of stainless steel (AISI 316L) and dissimilar plates of stainless steel (AISI 316L) and low carbon steel (Ck15) are welded by brazing using copper base non- active filler metal alloys in furnaces with inert gas atmospheres The specimens were inserted in special container called (Retort) filled by inert gas(argon) during brazing process with flow rate (1-2 litter / min). Three types of filler metal alloys DINL- Ag20Cd , AWSRB CuZn-C , AWS RB Cu Zn – D were used with changing the brazing time (5 , 10) min at given temperature suitable for each filler metal alloy . Many or various mechanical and metallurgical tests were carried out including single shear test, double shear test and tensile shear test, in addition to the microstructure and x-ray diffraction inspection for each similar and dissimilar welds. It was shown that single and double butt joints of the

https://doi.org/10.30684/ etj.26.4.13
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758

similar metals of stainless steel (316L) showed higher shear strength than that of dissimilar weld of stainless steel (316L) and Low carbon steel(CK15) . The brazed joints by filler metal alloy (RBCu Zn-D) showed the best shear strength for similar and dissimilar metal of stainless steel (316L)and low c brazing time arbon steel (Ck15) in comparison with joints brazed by other filler metal alloys at (5, 10) min .

المقدمة

يعرف لحام المونة بأنه عمليـة يـتم فيها نفاذية معدن المونة الذي قد يكون معدناً نقياً أو سبيكة بعـد انصـهاره وبوسـاطة خاصية التجـاذب الشـعري (Capillary Attraction) إلى الحيز أو السماح (Joint Clearance) الموجـود بـين معدني الأساس[2,1] . يعد اللحام بالمونـة من طرائق اللحام المهمة لأنه لحام يتم بدون صهر معدني الأساس وعندما تكون درجـة انصهار سبيكة المونة أعلى من ($450C^{\circ}$) تسمى عملية اللحام بالمونـة (Brazing) أما اذا تم اللحام عند درجة حرارة اقل مـن هذه الدرجة فتسمى اللحام بالسمكرة (اللحام اللين)(Soldering)[5,4,3] . أن الشرط الأساس لحصول عملية اللحام هـو قابليـة التبليل (Wetting) لمعـدني الأسـاس بوساطة سبيكة المونة[6] . يدخل في عملية اللحام بالمونة مواد مساعدة (Fluxes) أو أجواء حماية أو الاثنان معاً وذلـك لمنـع تكون الطبقات الأوكسيدية وللحصول علـى افضل عملية جريان لمعدن الحشو فضـلا عن عملية تبليل جيدة لمعدني الأساس[1] .

لقد تم ربـط الفـولاذ مقـاوم الصـدأ الاوستنايتي (316L) مع الفولاذ منخفض الكربون فضلاً عن ربط مواد متشابهة مـن الفولاذ مقاوم للصدأ , ويعد اللحام بالمونـة من افضل الطرائق لربط الفـولاذ المقـاوم للصدأ مع الفولاذ الكـاربوني لأن طرائـق اللحام الاخرى تؤثر في منطقة اللحام حيث أن بعض طرائق اللحام تتجاوز فيها درجـه حرارة أعاده التبلور (Recrystallization Temperature) للمعـادن المقاومـة للحرارة وهذا يضعف المنطقـة المتـأثرة بالحرارة (HAZ) ويجعلها حساسة نحـو الكسر الهش بينما في اللحام بالمونة تكـون درجة حرارة اللحام المستعملة اقـل مـن درجة حرارة إعادة التبلور لهـذه المعـادن وبذلك لا تؤثر في مقاومة الملحومـة [7] . تم تطويرالعديد من سبائك معـادن المونـة والحصول على وصـلات لحـام ملائمـة لمعظم التطبيقات ولها المقدرة على تحمـل درجات الحرارة العالية كالمقاومة العاليـة للأكسدة مـع المحافظـة علـى مقاومتهـا الميكانيكية والكيمياوية . وكذلك تم تطويرها للأستعمال مع السـبائك الفائقـة المقاومـة للحرارة (Superalloys) المهمة فـي تطبيقات محركات الدفع النفاث وأستخدامات الفضاء وكذلك الكثير مـن الأسـتخدامات الطبية والصناعية وفي المفاعلات النوويـة والمبـادلات الحراريـة. وقـد أسـتخدم الباحثـان **Lugscheider , Cosack** عام (1988)[8] ثلاث سبائك مونة ذات أساس نيكل (BNi) وذلك للحام الفـولاذ

مقاوم الصدأ (AISI 321) . حيث أن سبائك المونة النيكلية مرغوبة وذلك بسبب عناصر التسبيك التي تحتويها والطريقة البسيطة للإنتاج. وأكد الباحثان **Feldbauer و Stephenl** عام(2004) [9] على ان المفتاح لنجاح عملية اللحام بالمونة هو في تحضير وتهئية السطح وان وجود أي ملوثات يمنع جريان معدن حشو المونة بالشكل الصحيح هذا فضلاً عن ان الملوثات تمنع نشاط الخاصية الشعرية التي هي أساس عملية اللحام بالمونة.

ويهدف البحث الحالي الى تقييم خواص الوصلة الملحومة بالمونة (Brazing) من ناحية الخواص الميكانيكية والميتالورجية وذلك من خلال اجراء الفحوصات المختبرية والتي تتضمن مقاومة القص المنفرد ومقاومة القص المزدوج وفحص مقاومة قص الشد والفحص بحيود الاشعة السينية لمعرفة الاطوار والمركبات المتكونة في الوصلة.

2- الأجراءات العملية Experimental Works

2-1 معادن الأساس Base Metals

استخدم في هذا البحث صفائح من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي نوع (AISI 316L) والفولاذ منخفض الكاربون (Ck15) حسب المواصفة (DIN1654) كمعادن اساس لوصلات اللحام ويوضح **الجدولان (1) و(2)** التركيب الكيمياوي للفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكاربون (Ck15) على التعاقب . واجري التحليل الكيمياوي باستعمال جهاز التحليل الطيفي للمعادن(Spectro Anolgtical Instruments Boschstrobe 10,D-4190KLEVE) الماني الصنع.

2-2 معادن الحشو بالمونة Brazing Filler Metals

تم استعمال ثلاثة أنواع من سبائك معادن الحشو هي (DINL – Ag**20**Cd) و (AWS RB Cu Zn-C) و (AWS RB Cu Zn-D). وهي ذات اساس نحاس قسم منها استخدمت بهيئة اسلاك رفيعة والاخرى كانت على هيئة شرائح (Foils) **والجدول (3)** يوضح التركيب الكيمياوي الاسمي وبعض الخواص لسبائك المونة المستخدمة [11,10]. ان وضع سبيكة المونة (معدن الحشو) له تاثير كبير على نوعية وجودة الوصلة الملحومة بالمونة ووضعها وتثبيتها بالشكل الصحيح الجيد قبل اللحام[1] .

وفي حالة استعمال الشريحة(Foil) فتوضع بين أوعند الحد الفاصل بين القطعتين المراد لحامهما وبسمك معين يمثل سماح الوصلة بنفس الوقت . وقبل وضع الشريحة (Foil) يتم أجراء عملية تنعيم لسطح الشريحة باستخدام أوراق تنعيم كاربيد السليكون (180) ثم الغمر بالكحول يتبعها الغمر بالاستيون ثم التنظيف بالماء المقطر والتجفيف لتصبح شرائح المونة مهيأة لعمليات اللحام . اما في حالة استخدام المونة بهيئة قضيب (Rod) فتستعمل معها اسلاك نحاسية (Copper spacers wire) تمثل سماح الوصلة (Joint Clearance).

2- 3 استخدام مساعدات صهر Fluxes Applying

تم وضع مساعدات الصهر عند المنطقة البينية للقطع المراد لحامها بحيث يغطي سطوحها بشكل كامل ويتم ذلك قبل إدخال العينات إلى الفرن . وعادة تكون مساعدات الصهر على شكل مساحيق أو عجينة أو سائل حيث أن المسحوق يخلط مع الكحول أو الماء لتشكيل العجينة والاختيار يعتمد على متطلبات العمل وطريقة وخطوات عملية اللحام بالمونة وفي هذا البحث تم خلط المسحوق مع الماء لتشكيل العجينة المستخدمة في لحام المونة وتكون ناتج مساعدات الصهر بعد الانتهاء من عملية اللحام بهيئة مواد زجاجية . ويتكون مساعد الصهر من مواد عديدة ويعد البورايت (Borax) وحامض البوريك (Boric Acid) من أهم مكوناته

علما أن مساعد الصهر يفقد فعاليته عند درجات الحرارة العالية ولفترات زمنية طويلة لذلك يستعان بأجواء الحماية في مثل هذه الظروف.

2- 4 تهيئة عينات اللحام

تم تقطيع عينات من الفولاذ مقاوم الصدأ (AISI 316L) والفولاذ المنخفض الكاربون ثم اجريت عليها عمليات تنظيف لأزالة الشحوم والدهون المتبقية وذلك بغمر العينات وكذلك سبائك المونة (معادن الحشو) في الكحول ثم الغمر في الأسيتون ثم التنظيف بالماء المقطر والتجفيف وبذلك تصبح العينات وسبائك المونة مهيأة لعمليات اللحام .بعد ذلك أجري عليها عمليات تنعيم للسطح المراد لحامه بأوراق تنعيم من كاربيد السليكون (100,180).

2-5 تثبيت العينات

بعد تثبيت معدن الحشو أو المونة بالشكل الصحيح قبل اللحام مابين الاجزاء المراد لحامها يتم تجميع العينات بوساطة مثبتات (Fixtures) صنعت لهذا الغرض من الكرافايت (صفيحتين من الكرافايت) بسمك 3 ملم لمسك العينات مع بعضها واستخدمت براغي (Screw M4) لربط المثبتات مع صامولة (Mt M4) . وقبل أدخال العينات مع المثبتات إلى الفرن يتم تقليل شد البراغي مع الصامولة قليلا بحيث يمكن التحكم به باليد قدر المستطاع.

2- 6 لحام المونة باستخدام الحاوية Brazing by Retort

بعد عمليات التنظيف والتحضير للعينات يتم ربط العينات المتشابهة والعينات غير المتشابهة مع بعضها البعض باستخدام سبائك معادن الحشو (المونة) الثلاثة , يتم ادخال العينات المجمعة بوساطة المثبتات إلى داخل الحاوية(Retort) التي تغلق بأحكام بوساطة شفة لولبية (Screw Flange) لمنع دخول الهواء وصنعت هذه الحاوية من الفولاذ مقاوم الصدأ (AISI 316L) وكما موضح في **الشكل (1a)** , اما **الشكل (1b)** فيبين رسم تخطيطي للحاوية المستعملة في لحام المونة.

ثم توضع الحاوية داخل الفرن الصندوقي (Holding furnace) لغرض التسخين إلى درجات حرارة عالية ولتحديد درجة الحرارة الفعلية داخل الحاوية تم أدخال مزدوج حراري نوع (K) وبدقة C° (± 5) وتم ربطه مع مسيطر حراري رقمي يتحسس درجات الحرارة لغاية(C° 1200) حيث يبدأ تشغيل الفرن وعند وصول درجة الحرارة إلى C° 300) يبدء بضخ غاز الآركون إلى داخل الحاوية (Retort) وذلك لتفادي حصول عملية الأكسدة في الأجزاء المراد لحامها وفي وصلة اللحام . وعند الوصول إلى درجة حرارة اللحام لكل سبيكة مونة مستخدمة يتم التثبيت لفترة زمنية (5 , 10) دقائق ثم يطفأ الفرن وتبقى العينات الملحومة داخل الفرن مع الاستمرار بضخ غاز الآركون إلى داخل الحاوية حتى وصول الفرن إلى درجة حرارة (C° 300) . بعد أتمام عملية اللحام تغمر الأجزاء الملحومة مباشرةً في الماء الساخن وذلك لأزالة بقايا المواد المساعدة إذ أن بقاءها يؤدي إلى احتمالية تعرض الملحومة للتآكل ولاسيما بوجود الرطوبة.

2-7 فحوصات لحام المونة Brazing Tests

2-7-1 فحص البنية المجهرية Micro Structure Inspection

يتم هذا الفحص بعد تحضير وتهيئة العينات لعملية الفحص المجهري عبر المقطع العرضي للوصلة عن طريق تقطيع وصلة اللحام التناكبية الأحادية المنفردة (Single – Butt Joint) ثم تم إسنادها (Mounting)على البارد لتسهيل العمليات اللاحقة من تنعيم وصقل حيث إن عملية التنعيم الرطب بالماء(Grinding Wet) تمت باستعمال أوراق كاربيد السليكون وبدرجات نعومة مختلفة (100-1200) ثم بعد ذلك تمت عملية الصقل (Polishing) باستخدام

قماش الصقل ومحلول الالومينا بحجم حبيبي (0.3µm) . ولإظهار البنية المجهرية الخاصة بالنحاس وسبائكه تم استخدام محلول إظهار مكون من [10g (NH4)2 S2O8 ,90ml water] [11] ثم تم تصوير البنية المجهرية باستخدام مجهر الأبحاث العام (Universal Research Microscope MeF_2) بوساطة كاميرا رقمية مربوطة معه نوع(Takashi) .

2-7-2 فحص القص Shear Test

1-2-7-2 اختبار مقاومة القص للوصلات اللحامية الأحادية (المنفردة)

The Single Brazed Shear (SBS)Test

تم لحام وصلات لحام بالمونة لمادتين متشابهتين من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) وغير متشابهتين من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون نوع (Ck15) وبسمك(10) ملم وذلك لغرض اختبار القص المنفرد (Single Shear Test) بالأعتماد على المواصفة القياسية الأمريكية(AWS) [12] . وكانت إبعاد العينات المستخدمة للفحص من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون هي (15x10x10mm) , (45x35x10mm) على التعاقب حيث تم ربط هذه العينات مع بعضها بالمونة باستخدام سبائك المونة (معادن الحشو) الثلاثة بهيئة قضيب (Rod) وشرائح (Foil) وبفترات تثبيت مختلفة هي(5 , 10) دقائق وذلك للمقارنة بينها وتحديد سبيكة المونة الأفضل من حيث الخواص الميكانيكية.

وتم إسناد عينات اختبار القص للوصلات الأحادية في قالب خاص صنع خصيصاً لهذا الغرض كما في **الشكل (2)** يوضح نماذج من العينات الملحومة حيث تم وضع وتثبيت الوصلة اللحامية الأحادية مع القالب في جهاز الانضغاط نوع (Maruto Testing compression Machine) صنع ياباني، يسلط ضغط من (2.5– 50 طن) وذلك للحصول على قيمة اكبر حمل يحصل عنده الكسر أو الفشل . وتحسب مقاومة القص (أجهاد القص) من قسمة حمل الكسر على مساحة اللحام (مساحة التلامس بين القطعتين) وهي مساحة سطح واحد بين القطعتين.

2-7-2-2 اختبار مقاومة القص للوصلات اللحامية المزدوجة

The Double Brazed Shear (DBS) Test

إن هذا الاختبار هو طريقة مهمة في فحص قوة القص بالأعتماد على المواصفة القياسية الأمريكية (AWS)[12] . وذلك باستخدام ثلاث عينات بالإبعاد (15 x 15 x 10 mm) من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكاربون كما في **الشكل (3)** . حيث تم اولاً ربط ثلاث قطع متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ نوع (316L) ثم ربط قطعتين من الفولاذ مقاوم الصدأ وبينها في الوسط قطعة من الفولاذ المنخفض الكربون . وتمت هذه الاختبارات باستخدام سبائك المونة (معادن الحشو) الثلاثة مع مدة تثبيت (5 , 10) دقائق وذلك للمقارنة بينها وتحديد سبيكة المونة الأفضل من حيث الخواص الميكانيكية . وأسندت عينات اختبار القص الى وصلات اللحام المزدوجة في قالب خاص صنع خصيصاً لهذا الغرض.

حيث تم وضع وتثبيت أجزاء الوصلة اللحامية المزدوجة مع القالب في جهاز الانضغاط نوع (Maruto Testing compression Machine) وذلك للحصول على قيمة اكبر حمل يحصل عنده الكسر أو الفشل . وكان استخدام سبيكة المونة بهيئة شرائح تم وضعها بين القطعة العليا والوسطى وبين السفلى والوسطى. وتحسب مقاومة القص (أجهاد القص) من قسمة حمل الكسر على مساحة اللحام (مساحة التلامس بين القطعتين) وهي

مجموع مساحة السطحين المتلامسين بين القطع الثلاث.

3-2-7-2 فحص قص الشد Tensile Shear Test

في هذا الفحص استخدم نوعان من الصفائح ايضاً احدهما من الفولاذ مقاوم الصدأ نوع (316L) والأخر من الفولاذ المنخفض الكاربون وكان الاثنان بسمك (2mm) وتم استخدام سبائك المونة (معادن الحشو) الثلاثة للمقارنة بينهما مع فترة تثبيت (5 , 10) دقائق وذلك لتحديد سبيكة المونة الأفضل عن طريق تعيين الخواص الميكانيكية لها ومنها مقاومة او اجهاد قص الشد . وصممت نماذج الفحص الموضحة في **الشكل (4)** لدراسة مقاومة القص في حالة الشد بالاعتماد على النموذج القياسي طبقا للمواصفة (JIS) [13] وكانت مسافة التراكب(Overlap) 12-15 mm)

3- النتائج والمناقشة and Discussion

Results

3-1 اللحام باستخدام سبيكة المونة (L-Ag20Cd)

تم اجراء لحام المونة لعينات متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) وعينات مختلفة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ الواطى الكاربون(Ck15DIN1654) باستخدام سبيكة المونة-DINL (Ag20Cd) عند درجة حرارة لحام 780C° وفترات تثبيت اللحام (5 و10) دقائق وباستخدام مسافات خلوص مختلفة(Joint Clearance) . حيث تم ملاحظة ان هذه السبيكة تبلل معدني الاساس بشكل ممتاز عند مدة (5) دقائق وبشكل جيد عند مدة (10) دقائق وتعمل تغطية جيدة لمعدني الاساس هذا فضلا عن ان قسماً من النحاس ينتشر الى داخل المعدن الاساس ويكون مركبات وسطية (Intermediate compounds) وان وجود الكادميوم بنسبة (15%) يعمل على زيادة قابلية الترطيب والسيولة (Fluidity).

3-1-1 لحام المونة عند درجة حرارة 780C° ومدة 5 min

من خلال الفحوصات المجهرية لمنطقة اللحام (Braze Metal) والمنطقة البينية (Interface) والمعدن الاساس(Base Metal). حيث يلاحظ ان منطقة اللحام تمتلك بنية مجهرية من شجيرات من طورغني بالنحاس في ارضية من الايوتكتك (Copper- Rich Dendrites in a matrix of Silver-Copper-Zinc-Cadmium Eutectic) ويلاحظ كذلك تكون مركبات وسطية طولية (Columnar Intermediate Compound) في المنطقة الفاصلة بين سبيكة المونة والمعدن الاساس عمودي في اتجاهه على خط اللحام (Welding Seam) وان تكون هذه المركبات الوسطية الطولية يعود الى انتشار عناصر من سبيكة المونة داخل المعدن الاساس كما موضح في **الشكل (5).**

3-1-2 لحام المونة عند درجة حرارة 780C° ومدة 10min

يلاحظ ان بزيادة المدة الزمنية الى (10min) يؤدي الى تبخر الكادميوم (الذي يزيد من قابلية الترطيب والجريان لسبيكة المونة) من سبيكة (DINL-Ag20Cd) وبالتالي انخفاض عمق طبقة الانتشار في المنطقة الفاصلة بين سبيكة المونة والفولاذ مقاوم الصدأ بالمقارنة عند اللحام خلال مدة 5min هذا فضلا عن ان زيادة مدة اللحام يرافقه زيادة في حجم الحبيبات والتركيب الشجيري من الطور الغني بالنحاس كما موضح في **الشكل(6).**

3-2 اللحام باستخدام سبيكة المونة " AWS "RB CuZn-C

تم اجراء لحام المونة لعينات متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ باستخدام سبيكة المونة المذكورة اعلاه عند درجة حرارة لحام (955C°)

وبفترات زمنية(5, 10) min . ومن خلال نتائج الفحوصات المجهرية لوصلة اللحام المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ تبين ان سبيكة المونة تبلل الوصلة المتشابهة وتشكل مركبات وسطية في مناطق عدة . ومن خلال الفحوصات المجهرية لوصلة اللحام تبين ان منطقة اللحام تمتلك بنية مجهرية من حبيبات من طور بيتا-براص(β-Brass Grains) في ارضية من الفا براص (α-Brass) وان طور بيتا براص يتكون من التفاعل البريتكتيكي (Peritectic Reaction) من طور الفا مع منصهر السبيكة (α-Phase and the melt).بينما طور الفا براص هو محلول جامد متجانس من النحاس والخارصين ذوتركيب بلوري من نوع (FCC). كما اثبتتها نتائج الفحص بحيود الاشعة السينية.

3 -2-1 لحام المونة عند درجة حرارة 955C° ومدة 5 min

من خلال الفحص المجهري يلاحظ ان سبيكة المونة (RB CuZN-C) قد رطبت سطح الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون حيث يلاحظ ظهور المركب الوسطي الطولي في المنطقة الفاصلة بين سبيكة المونة والمعدن الاساس وكذلك ظهور حبيبات من طور بيتا – براص (β -Brass) في ارضية من الفا-براص(α-Brass) في منطقة اللحام كما في **الشكل (7).**

3-2-2 لحام المونة عند درجة حرارة 955C° ومدة زمنية 10 min

من خلال الفحوصات المجهرية **(شكل 8)** يلاحظ انه بزيادة مدة اللحام الى 10 min تؤدي الى زيادة حجم الحبيبات لطور بيتا-براص مع زيادة في نمو المركب الوسطي باتجاه الفولاذ مقاوم الصدأ.

3-3 اللحام باستخدام سبيكة المونة AWS RB CuZn-D

ان هذه السبيكة تبلل المعدن الاساس بشكل جيد وتشكل اطواراً وسطية حيث تحتوي هذه السبيكة على 9-11% نيكل الذي يحسن من الخواص الميكانيكية والميتالورجية للوصلة الملحومة ويزيد من قابلية التبلل ولذلك سوف نقارن مع السبائك الاخرى لمعرفة تاثير النيكل في الوصلة الملحومة.

3-3-1 لحام المونة عند درجة حرارة 980C° ومدة زمنية 5 min

من خلال الفحص المجهري لوصلة اللحام يلاحظ تكون طورβ- براص في ارضية من طورα-براص مع وجود مركب وسطي مستمر عند المنطقة البينية بين سبيكة المونة والفولاذ مقاوم الصدأ كما موضح في **الشكل (9).**

3-3-2 لحام المونة عند درجة حرارة 980C ومدة 10 min

لوحظ من **الشكل (10)** انه مع زيادة مدة اللحام الى 10min يؤدي الى زيادة نمو المركب الوسطي وزيادة في حجم حبيبات طور β-براص بسبب النمو الحبيبي الحاصل اثناء زيادة المدة الزمنية.

4-1 نتائج اختبارات القص باستخدام سبيكة المونة (DIN L-Ag20Cd)

أوضحت نتائج اختبارات القص للوصلات اللحامية المنفردة (Single Butt Joints) والوصلات اللحامية المزدوجة (Double Butt Joints) ومقاومة قص الشد (Tensile Shear) للوصلات اللحامية المتشابهة من الفولاذ مقاوم ألصدا الاوستنايتي (AISI 316L) وغير المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكاربون (CK15) . ان اعلى مقاومة قص كانت بمدة تثبيت (5min) باستخدام سبيكة المونة (DINL-Ag20Cd). ولكن مع زيادة المدة الى (10min) فان مقاومة القص تنخفض والسبب يعود الى تطاير أبخرة اوكسيد الكادميوم عند اللحام بمدة زمنية طويلة نسبياً وذلك لان الكادميوم يمتلك ضغط بخار مرتفع [14] في حالة عينات اختبارالقص المنفرد(Single Shear) كان سماح الخلوص المستخدم من(0.05-0.18)mm

واظهرت النتائج ان اعلى مقاومة قص منفرد يمكن الحصول عليها عندما يكون سماح الوصلة (Gap) هو (0.12mm) للوصلات المتشابهة والوصلات غير المتشابهة علماً ان سماح الخلوص المستخدم كان عبارة عن اسلاكاً نحاسية ومعدن المونة كان بهيئة قضيب (Rod) وضع بجانب الوصلة. اما في حالة عينات اختبار القص المزدوج (Double Shear) كان سماح الخلوص المستخدم هو (0.08 mm) على هيئة شرائح (Foil) توضع بين القطعة العليا والوسطى من جهة وبين القطعة السفلى والوسطى من جهة اخرى . اما في حالة عينات اختبار قص الشد(Tensile Shear) كان سماح الخلوص المستخدم هو (0.1mm) على هيئة شرائح مع استخدام معدن المونة بهيئة قضيب وضع بجانب الوصلة. و يبين الجدول (4) نتائج مقاومة القص المنفرد والمزدوج وقص الشد للوصلات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي (316L) والوصلات غيرالمتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون (Ck15).

2-4 نتائج اختبارات القص باستخدام سبيكة المونة (AWS RB C u Zn-C)

اوضحت نتائج القص للوصلات اللحامية المنفردة (Single Butt Joints) والوصلات اللحامية المزدوجة (Double Butt Joints) ومقاومة قص الشد (Tensile Shear) للوصلات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدا الاوستنايتي (AISI316L) وغير المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكاربون (CK15). تبين من خلال النتائج انه اعلى مقاومة قص كانت عند مدة لحام 5 min باستخدام سبيكة المونة (AWS RB Cu Zn-C) وعند زيادة مدة اللحام الى 10 min يلاحظ انخفاض مقاومة القص للوصلات اللحامية المتشابهة وغير المتشابهة وذلك بسبب تبخر الخارصين بمدى محدد من سبيكة المونة (سبيكة البراص) المنصهرة خلال دورة اللحام للمونة (Brazing Cycle) لان الخارصين يمتلك ضغط بخارمرتفع [15]. في القص المنفرد كان سماح الخلوص المستخدم يتراوح من mm (0.05-0.18) في حالة الوصلات التناكبية المنفردة واتضح ان اعلى مقاومة قص منفرد في مدة 5 min كانت عند سماح الوصلة 0.1 mm في حالة الوصلات المتشابهة وغير المتشابهة علما ان سماح الخلوص المستخدم كان عبارة عن اسلاكاً نحاسية ومعدن المونة كان بهيئة قضيب وضع بجانب الوصلة.

ويبين **الجدول (5)** نتائج مقاومة القص المنفرد والمزدوج وقص الشد للوصلات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي (316L) والوصلات غيرالمتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون (CK15).

3-4 نتائج اختبارات القص باستخدام سبيكة المونة(RBCuZn-D)

أوضحت النتائج من خلال الوصلات اللحامية المنفردة والمزدوجة وقص الشد للوصلات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ وغير المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدا (316L) والفولاذ منخفض الكاربون CK15 حيث تبين ان اعلى مقاومة قص كانت في مدة 10 min اي ان مقاومة القص تزداد مع زيادة المدة الزمنية باستخدام سبيكة المونة RBCuZn-D وذلك لان هذه السبيكة تحتوي على النيكل بنسبة 9-11% نيكل الذي يعزز من قابلية الترطيب ويكون المركب الوسطي CrNi كما هو واضح في مخطط حيود الأشعة السينية (XRD)(**ملحق A**) الذي يزيد من مقاومة القص وكذلك تحتوي على (-0.04 0.25%Si) الذي يحد من تبخر الخارصين من سبيكة المونة المنصهرة خلال مدة اللحام وذلك عن طريق تكون طبقة من اوكسيده تحيط بالسبيكة المنصهرة [14]. وقد اكدت هذه النتائج الدراسة التي قام بها الباحث (Ali) عام (2005)[16] حيث قام بربط الفولاذ مقاوم الصدأ مع معدن التانتالم

(Ta) عند ظروف لحام متشابهة للدراسة الحالية. **والجدول (6)** يبين نتائج مقاومة القص المنفرد والمزدوج وقص الشد للوصلات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدا الاوستنايتي(316L) والوصلات غيرالمتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون (C K15) باستخدام سبيكة المونة RBCuZn-D . ويبين **الشكل (11)** نتائج اختبارات القص المنفرد والمزدوج والشد لسبائك المونة الثلاث ومدة (5 و 10) دقيقة.

5- الاستنتاجات :

1- امكانية سبائك المونة غير الفعالة ذات اساس نحاس (DINL-Ag20Cd, RBCuZn-D AWSRBCuZn-C ترطيب سطحي معدني الاساس الفولاذ المقاوم للصدأ والفولاذ منخفض الكاربون) بشكل جيد هذا فضلا عن تكوين مركبات وسطية عند المنطقة الفاصلة بين سبيكة المونة ومعدني الاساس وفي افران ذات اجواء غازية خاملة (غاز الاركون)

2 - يحقق معدن المونة(RBCuZn–D) اعلى مقاومة قص لوصلات لحام الفولاذ المقاوم للصدأ 316L ومقدارها عند القص النفرد (345 MPa) وعند القص المزدوج (338 MPa) وعند قص الشد (280 MPa) وعند فترة تثبيت(10 min).

3- استخدام لحام المونة لوصلات متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ (316L) ووصلات غير متشابهة من الفولاذ المقاوم للصدأ او الفولاذ المنخفض الكاربون(Ck15) مع سبائك المونة الثلاثة في فرن ذي اجواء غازية خاملة ينتج وصلات مونة ذات مواصفات ميكانيكية جيدة.

4- تحقق المواد المتشابهة نتائج مقاومة قص اعلى من المواد غير المتشابهة لجميع سبائك المونة الثلاثة وفي جميع ظروف اللحام المستعملة في البحث.

5- ان طريقة لحام المونة بالفرن (Retort Furnace) لمادتين غير متشابهتين من (316 L) و(CK15) اثبتت نجاحها حيث كانت قابلية التبليل والتغطية السطحية لمعادن المونة المستخدمة جيدة على معادن الاساس.

References

1- Melm . Schwartz , '' Brazing '' . ASM International Metals park , Ohio 44073 © 1987.

2- Stuart W. Gibson , Gerted '' Advance Welding'' Macmillan an press LTD 1997 .

3- ''Metals Hand Book'' , Volume 6 , Welding ,Brazing and Soldering , 9th Edition . ASM , 1983

4- AWS , '' Brazing Manual '' , 3ed Edition , American Welding Society , 1975 .

5- E. Lugschider , K. Klohn , '' Structure of Low _ phosphorus Alloyed Nickel _ Chromium _ Silicon Brazed Stainless Steel joints'' Welding Journal, Vol. 59 , No. 10 , 1980 , P283-s .

6- Braze Tec Gmbh , Roden Bacher Chausses 4 , D_ 6345 Hanau_ WoLfgang , ''principles of Brazing Technology'' Internet WWW. Braze Tec . de , 2005 .

7- F.M. Hosking , '' Sodium Compatibility of Refectory Metal Alloy _ Type 304L Stainless Steel Joints'' ,

Welding Journal , Vol. 64 , No. 7 .

8- E . Lugscheider and T . Cosack , ‘‘ High - Temperature Brazing of ST. with Low Phosphorus - Nickel - Based Filler Metal , Vol. 67 , No. 10 , 1988 .

9- Stephenl . Feldbauer , ‘‘ Modern Brazing of Stainless Steel’’ , Welding Journal ,(www.awsorgwi) , 2004 .

10- G. Sheward ‘‘ High Temperature Brazing in Controlled Atmospheres ’’ , I[st] Edition Pergamon , 1985 .

11- C. L. William , ‘‘ The physical Metallurgy of Steel ’’ , McGraw_ Hill ,1982 .

12- AWS Committee on Brazing and Soldering, " Soldering Manual , 2[nd] edition , Revised , AWS, Inc , USA , 1978 .

13- Japanese Industrial Standard (JIS),” Methods of Tension and Shear Tests for Brazed Joints”, UDC 621. 791.3.052-1988 .

14- J . F . Lancaster , ‘‘ Metallurgy of Welding , Brazing and Soldering ’’ , Third Edition , George Allen and Unwin , Bosten , Sydney , 1980 .

15 - I. Kawakatsu , ‘‘ Furnace Brazing of Steel ’’, Welding Journal , Vol. 56 , No 2 , 1977 .

16 - علي توفيق عبد الحسين,"لحـام المونة للتنتالوم مع الفـولاذ المقـاوم للصدأ باستخدام سبائك المونـة ذات أساس نحاس", قسم تقنيـات هندسـة اللحام فـي الكليـة التقنيـة/ بغـداد حزيران , 2005 .

جدول(1)يوضح التركيب الكيمياوي للفولاذ مقاوم الصدا(AISI(3 I6L

Elements wt%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Nominal Value	< 0.03	< 1.00	< 2.00	≤ 0.04	≤ 0.03	17.00	2.25	12.00
Actual Value	0.063	0.93	2.73	0.03	0.03	16.8	1.77	9.74

جدول (2) يوضح التركيب الكيمياوي للفولاذ منخفض الكاربون(Ck15)

Elements wt%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Nominal Value	0.14-0.22	0.15-0.35	0.5-0.8	≤0.035	≤0.035	0.2-0.4	0.8-1	≤0.3
Actual Value	0.144	0.17	0.38	0.03	0.013	0.55	0.87	0.059

جدول (3) يوضح التركيب الكيمياوي الاسمي وبعض الخواص لسبائك المونة المستخدمة [4].

Brazing Filler metal	Nominal composition wt-%	Melting range °C		Brazing temperature °C		properties
		Tsol	Tliqu			
Alloy1 (DIN) L-Ag 20Cd	20Ag,40Cu, 25Zn,15Cd	605	765	775	785	Tensile strength (DIN8525)N/mm² Tensile strength on { St37=350 St50=430
Alloy2 (AWS) RBCuZn-C	46-50 Cu, Zn rem,0.8-1.1Sn,Mn 0.01-0.5, pb 0.05,Al 0.01, Si 0.04 -0.15, 0.5 Other element	866	888	910	954	
Alloy3 (AWS) RBCuZn-D	46-50Cu,Zn rem ,Ni 9-11 P 0.25 ,pb 0.5, Al 0.01, Si 0.04 -0.25, 0.5 Othere element	921	935	938	982	Tensile strength of brazed joint (N/mm²)0.5mm gap=285, Hv=> 280

جدول (4) يبين نتائج مقاومة القص المنفرد والمزدوج وقص الشد للوصلات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي والوصلات غيرالمتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون

Brazing Conditions		Max. Shear Strength (MPa)			Joint Clearance(mm)		
		Single Shear	Double Shear	Tension Shear	Single	Double	Tension
Similar welds	780C°/5min	313	316	240	0.12	0.08	0.1
	780C°/10min	307	295	232	0.12	0.08	0.1
Dissimilar welds	780C°/5min	290	282	234	0.12	0.08	0.1
	780C°/10min	276	275	226	0.12	0.08	.0.1

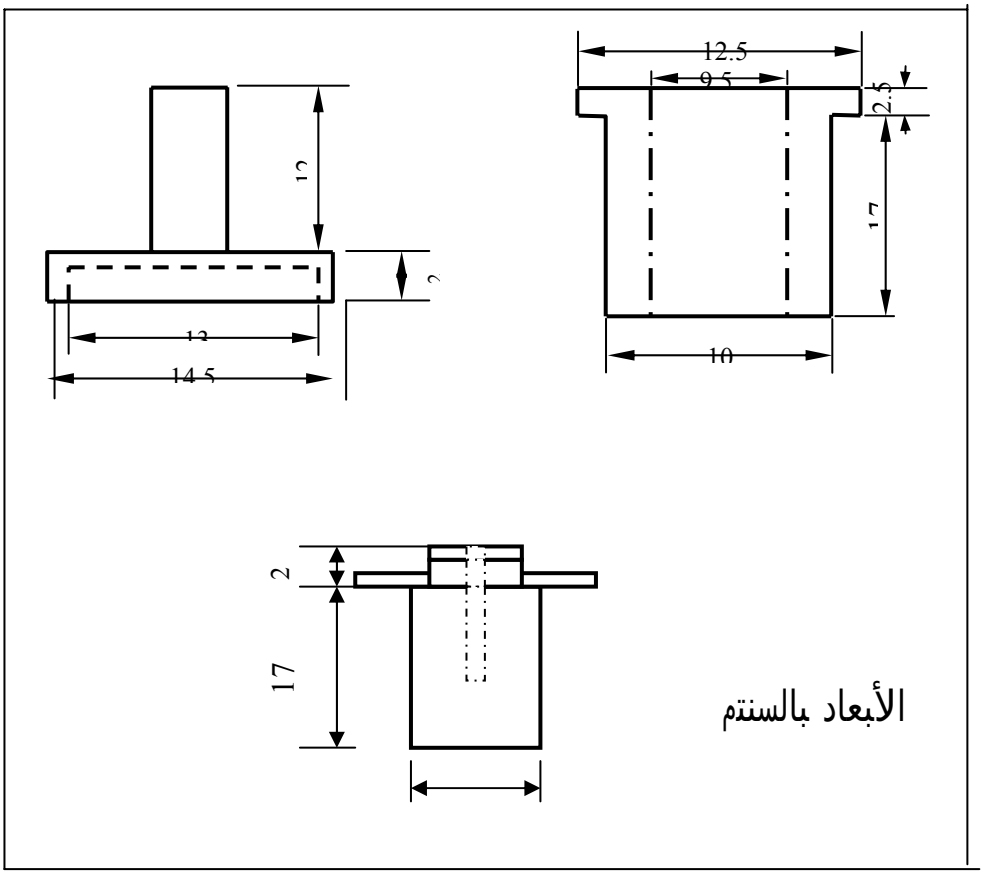
جدول (5) يبين نتائج مقاومة القص المنفرد والمزدوج وقص الشد للوصلات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي والوصلات غيرالمتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون.

Brazing Conditions		Max. Shear Strength (MPa)		
		Single Shear	Double Shear	Tension Shear
Similar welds	955C°/5min	326	311	256
	955C°/10min	288	291	248
Dissimilar welds	955C°/5min	310	298	245
	955C°/10min	276	279	237

جدول(6) يبين نتائج مقاومة القص المنفرد والمزدوج والشد للوصلات المتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ الاوستنايتي والوصلات غيرالمتشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ والفولاذ منخفض الكاربون

Brazing Conditions		Max. Shear Strength (MPa)		
		Single Shear	Double Shear	Tension Shear
Similar	980C°/5min	332	325	261

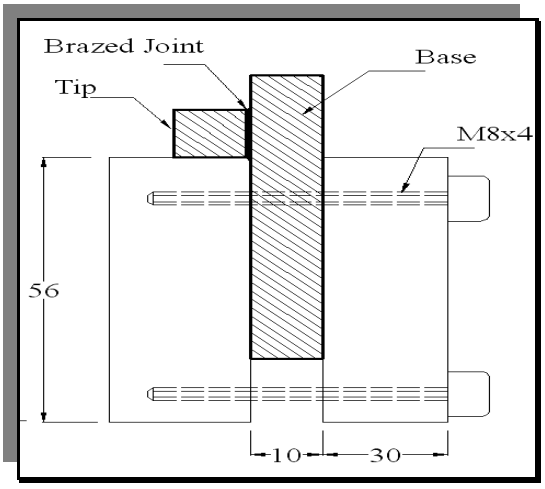
welds	**980C°/10min**	**345**	**338**	**280**
Dissimilar welds	**980C°/5min**	**318**	**310**	**251**
	980C°/10min	**336**	**331**	**268**



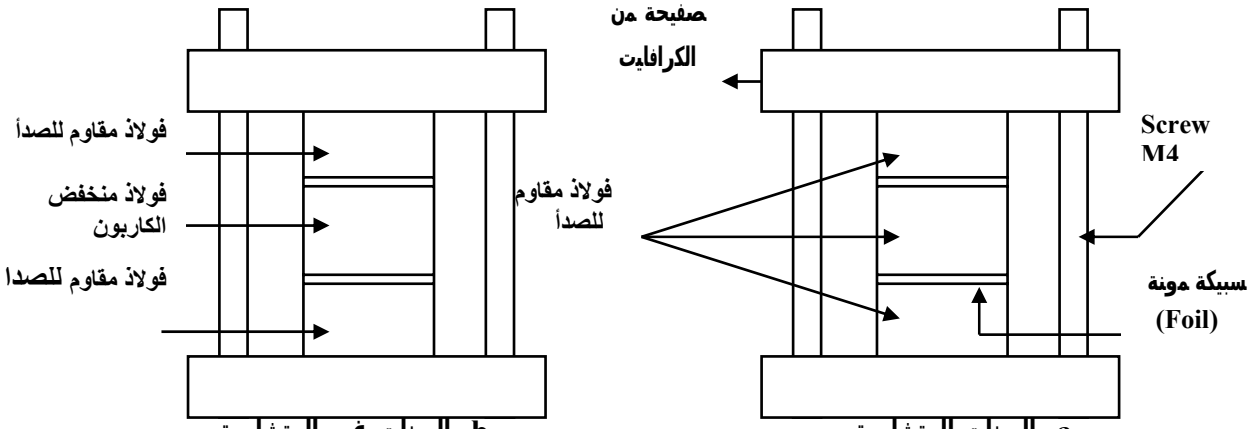
b

10

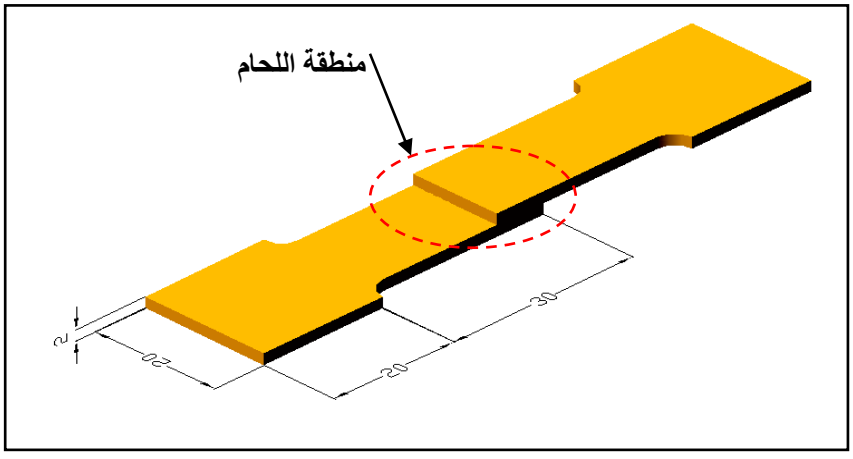
شكل(1) يبين رسم تخطيطي للحاوية المستخدمة في لحام المونة



شكل (2) يوضح كيفية تثبيت قطعتي اللحام وهي موضوعة في القالـب الخـاص باختبـار القص المنفرد (Single Shear) (الأبعاد بالملم) وفق المواصفة (AWS)

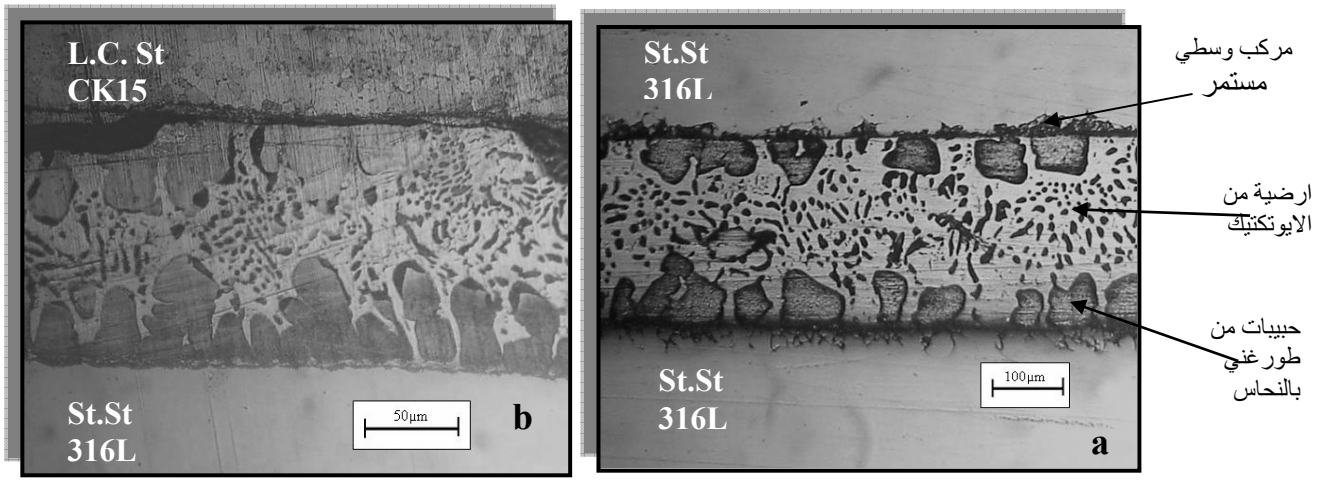


شكل(3) يوضح أداة تثبيت الوصلات اللحامية المزدوجة(للعينات المتشابهة وغير المتشابهة)



الأبعاد بالملم

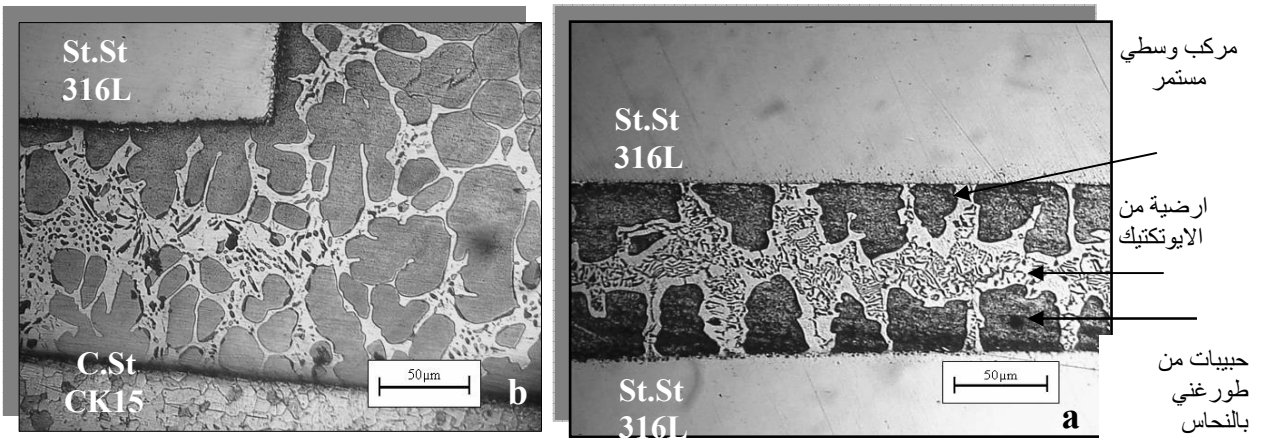
شكل (4) يوضح عينة أختبار مقاومة قص الشد (Tensile Shear)وفق المواصفة (JIS)



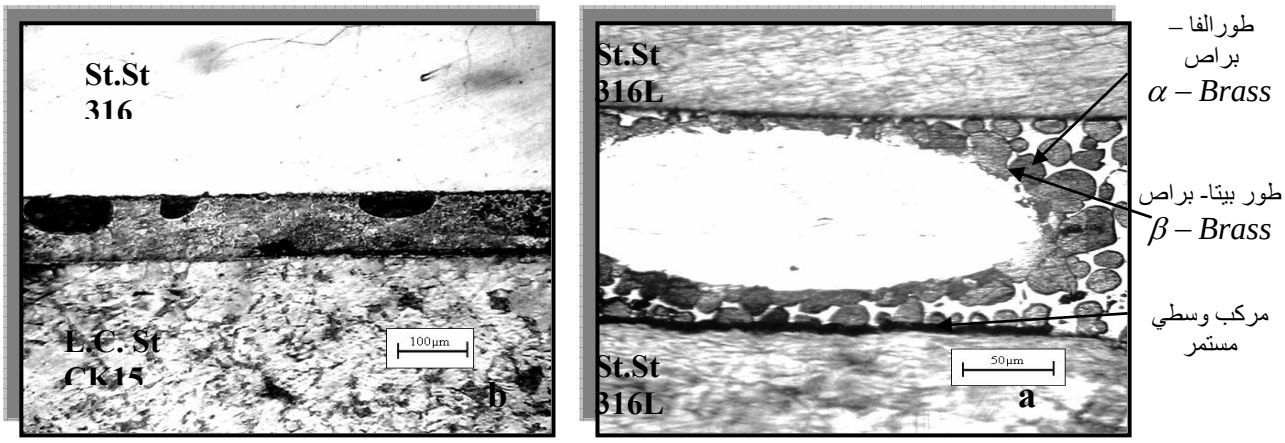
شكل(5) يبين البنية المجهرية لوصلة اللحام بالمونة عند درجـة حـرارة 780C° ومـدة تثبيـت مقدارها 5 min باستخدام سبيكة المونة (DINL-Ag20Cd)

a - وصلة لحام متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) وسماح الوصلة 0.18mm

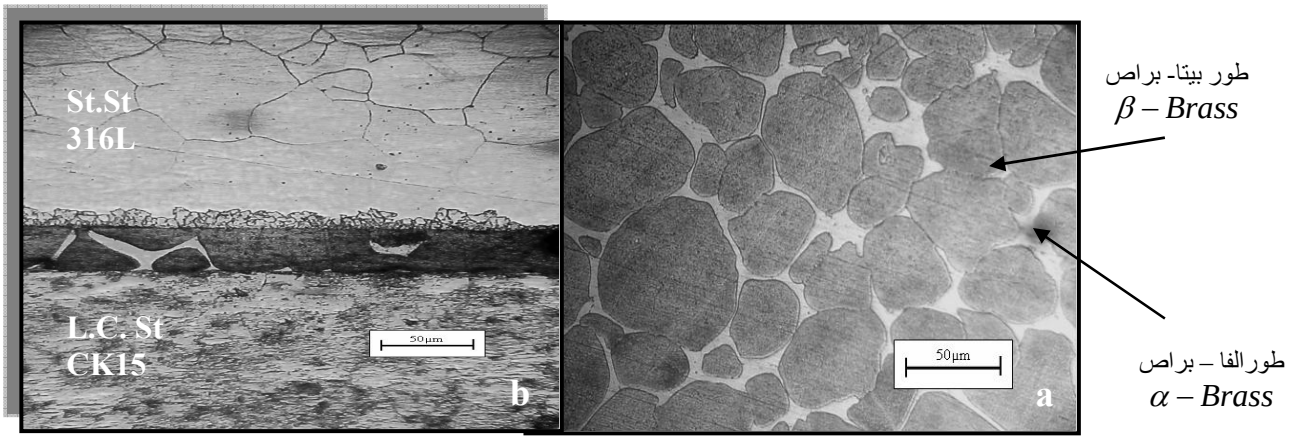
b- وصلة لحام غير متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكاربون (CK15)وسماح الوصلة 0.125mm (شرائح)



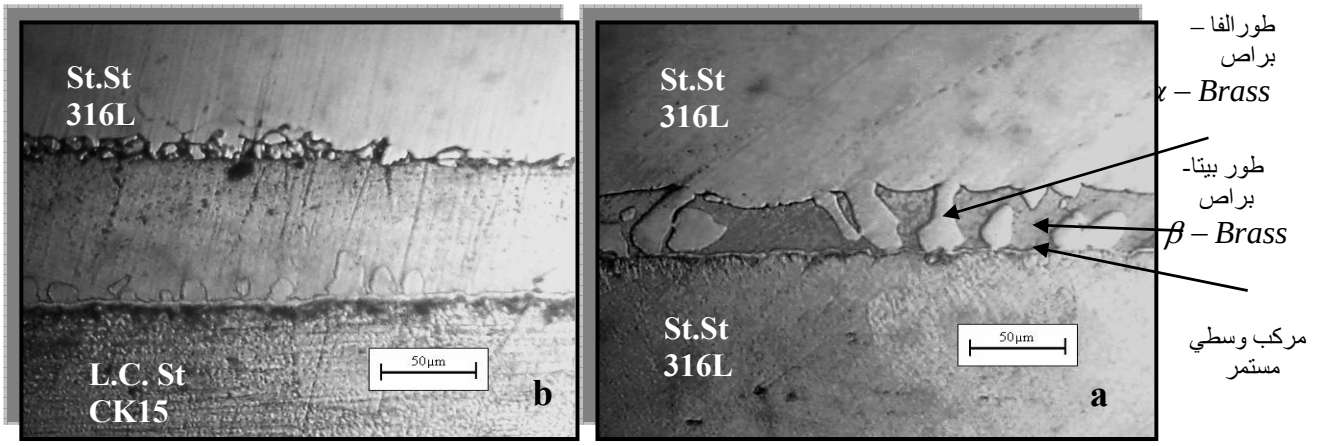
شكل (6) يبين البنية المجهرية لوصلة اللحام بالمونة عند درجة حرارة لحام مقدارها 780 C°
ومدة تثبيت مقدارها 10 min باستخدام سبيكة المونة (DINL-Ag20Cd)
a- وصلة لحام متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) و سماح الوصلة (0.12 mm).
b- وصلة لحام غير متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكربون (CK15) وسماح الوصلة 0.12mm



شكل(7) يبين البنية المجهرية لوصلة اللحام بالمونة عند درجة حرارة 955C° ومدة تثبيت مقدارها 5min باستخدام سبيكة المونة (RB CuZN-C)
a- وصلة لحام متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) و سماح الوصلة (0.12 mm).
b- وصلة لحام غير متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكربون (CK15) وسماح الوصلة 0.05 mm



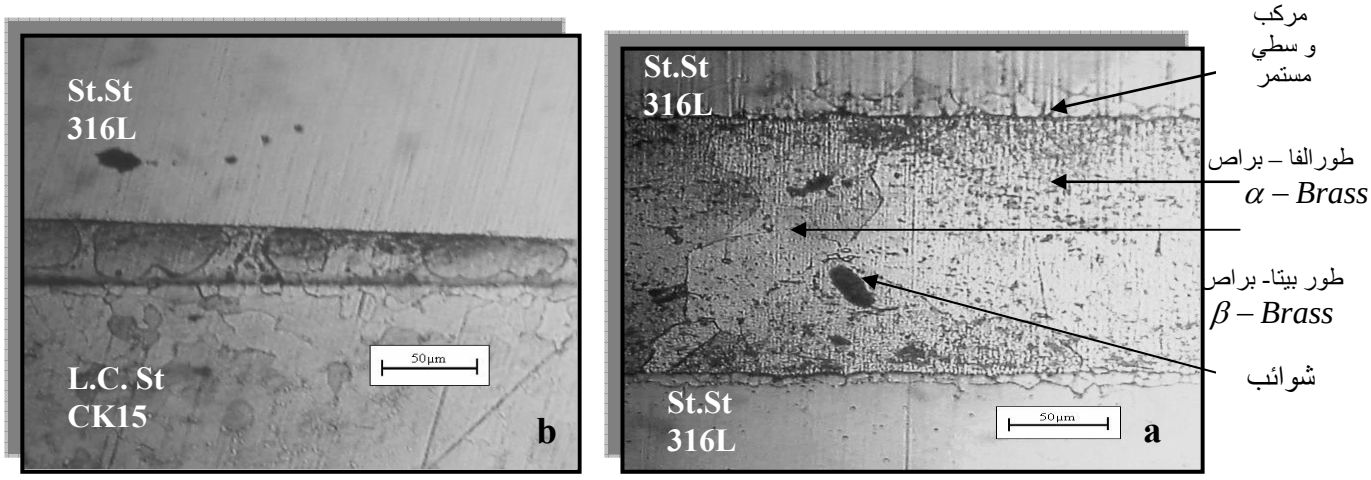
شكل(8) يبين البنية المجهرية لوصلة اللحام بالمونة عند درجة حرارة 955C° ومدة تثبيت مقـدارها 10 min باستخدام سبيكة المونة (RB CuZN-C)
a- وصلة لحام متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) و سماح الوصلة .0.12 mm
b- وصلة لحام غير متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكربون (CK15) وسماح الوصلة 0.05 mm



شكل(9) يبين البنية المجهرية لوصلة اللحام بالمونة عند درجة حرارة 980C° ومـدة تثبيـت مقـدارها 5min باستخدام سبيكة المونة (RBCuZn-D)

a- وصلة لحام متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) و سماح الوصلة .0.08 mm

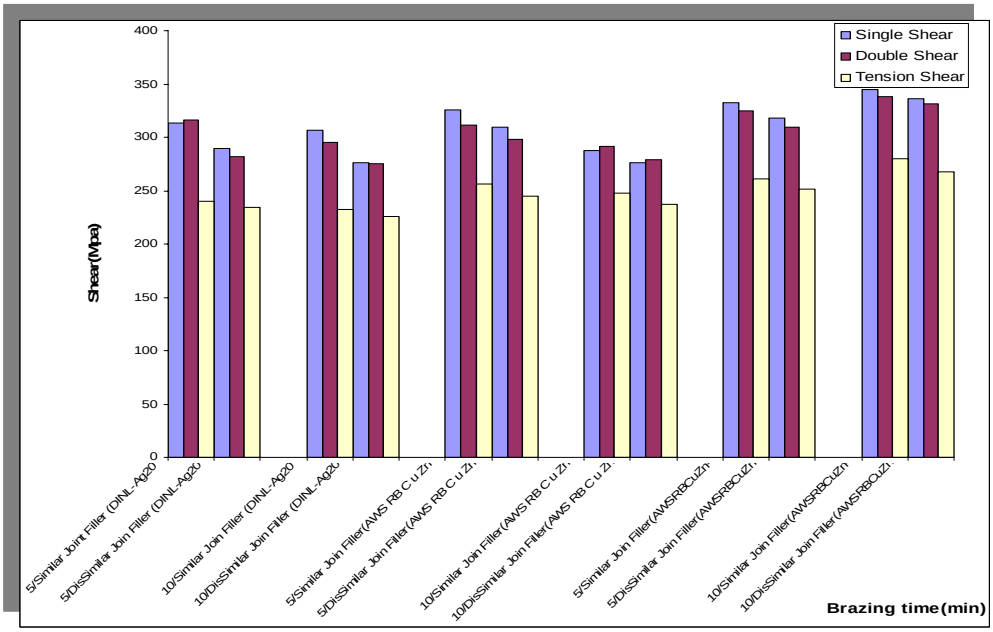
b- وصلة لحام غير متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكربـون (CK15) وسماح الوصلة 0.08 mm



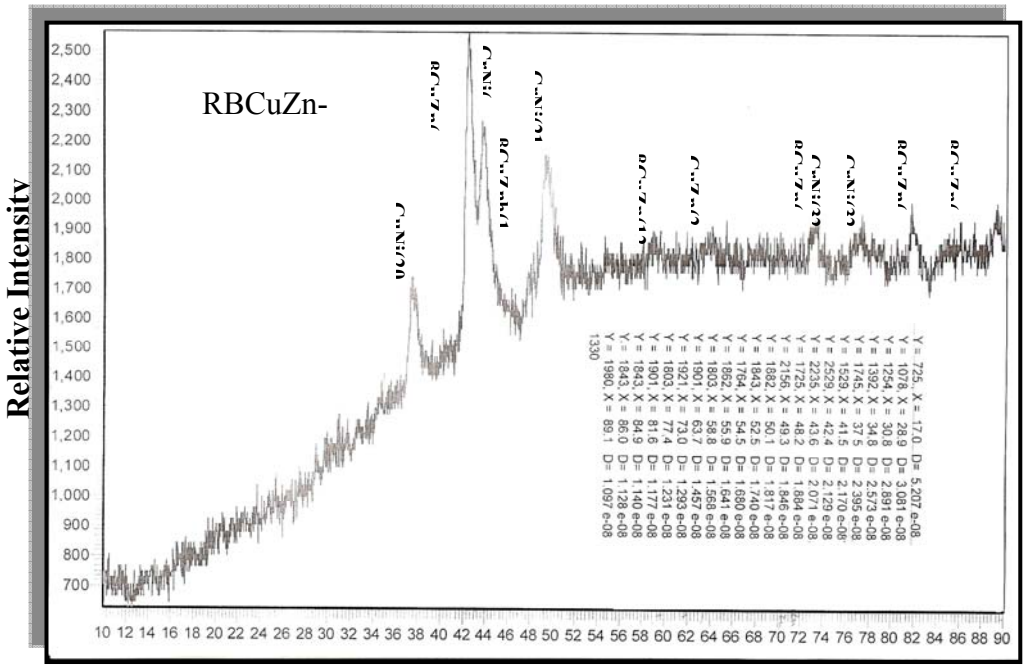
شكل(10) يبين البنية المجهرية لوصلة اللحام بالموتة عند درجة حرارة 980C° ومدة تثبيت مقدارها 10 min باستخدام سبيكة المونة (RBCuZn-D)

a- وصلة لحام متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) و سماح الوصلة .0.18 mm

b- وصلة لحام غير متشابهة من الفولاذ مقاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكربون (CK15) وسماح الوصلة 0.05 mm



شكل(11) يبين نتائج اختبارات القص المنفرد و المزدوج و الشد لسبائك المونة الثلاث ومدة 5 و 10 دقيقة



ملحق(A) مخطط حيود الاشعة السينية (XRD) لوصلة لحام غير متشابهة من الفولاذ مفاوم الصدأ (316L) والفولاذ منخفض الكاربون(CK15) بأستعمال سبيكة المونة (RBCuZn-D) عند درجةحرارة 980 C°