معالجة حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي اليدوي في وسط من غاز الآرغون وتأثيره في الخواص الميكانيكية والبنية البلورية للوصلات اللحامية

الدكتور المهندس عصام موسى[1]

الملخص

يتضمن هذا البحث طريقة معالجة حدود الدرزات اللحامية في مناطق التحول بين المعدن الأساس والدرزات اللحامية، وذلك من خلال إعادة صهر حدود هذه الدرزات باستخدام القوس الكهربائي اليدوي بإلكترود غير مستهلك(غير منصهر) من معدن التنغستين وفي وسط من غاز الآرغون ودون سلك لحام مساعد.

درست الخواص الميكانيكية والبنية البلورية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية المعالجة بهذه الطريقة حيث كانت هذه الوصلات معدة من الفولاذ الكربوني منخفض نسب الكربون، إذ لوحظ أن قيم الخواص الميكانيكية(حد المتانة، الاستطالة النسبية، عمل الصدم، القساوة) للمناطق المعالجة من الوصلات اللحامية تبقى ضمن الحدود المطلوبة في المواصفات العالمية الناظمة لذلك، كما تبين أن كلاً من معدن الدرزة اللحامية ومعدن منطقة التأثر الحراري في الوصلة اللحامية المعالجة يعيدان تبلورهما بعد معالجة حدود الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون مع نمو للبلورات في بعض الحالات وتنعيم(أي صغر) لهذه البلورات في حالات أخرى، وذلك تبعاً لكل من قيم عناصر نظام اللحام بالقوس الكهربائي ومقدار تدفق الغاز في واحدة الزمن.

[1] أستاذ مساعد- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

تبين أن أفضل أنظمة المعالجة بالتقانة موضوع البحث تكمن في الاختيار الدقيق لكل من قيم تدفق غاز الآرغون والمسافة بين رأس فوهة التغذية بهذا الغاز وسـطح الوصـلة المـراد معالجتها، إضافة إلى قيم الطاقة الطولية في نظام اللحام المستخدم.

أظهر تطبيق تقانة اللحام آنفة الذكر على حدود الدرزات اللحامية أن كلاً من عمق الـصهر وعرض حوض الصهر للمنطقة المعالجة من حدود الدرزة يتناسبان طرداً مع شـدة التيـار الكهربائي المار في القوس المشتعل وتوتر هذا الأخير، ويتناسبان عكساً مع سرعة اللحام.

مقدمة:

أظهرت كثير من البحوث[2، 8، 12، 13، 16] أن تصدع الوصلات اللحامية، عند تعرضها لحمولات ديناميكية، يبدأ في مناطق التحول من الدرزات اللحامية إلى المعدن الأساس، وهذا ما أكده استثمار الإنشاءات اللحامية التي تخضع بعض أجزائها لقوى صدم أو حمولات ديناميكية مختلفة.

وقد تبين من خلال التجارب العديدة التي أجريت في مجال اختبارات التعب[12،13] أن كلاً من شكل الدرزة اللحامية وأبعادها(ولاسيما مقدار التقوية reinforcement للدرزة اللحامية) تؤثر في حد الصمود للوصلات اللحامية المختلفة (سواء كانت هذه الوصلات تناكبية أو تراكبية أو متعامدة أو غيرها)، إذ بين البحث[12] أن مضاعفة تقوية الدرزة اللحامية من 3 mm إلى 6 mm يؤدي إلى انخفاض قيم حد الصمود للوصلات اللحامية التناكبية قرابة 30%(أي أن قيم حد الصمود انخفضت من القيمة $110\ N/mm^2$ إلى القيمة $80\ N/mm^2$)، وذلك عند اختبار عينات معدة من وصلة تناكبية من بعض أنواع الفولاذ الكربوني منخفض نسب الكربون وكانت قاعدة الاختبار لجميع العينات المختبرة على التعب $5x10^6$ دورة تحميل، بينما بين البحث[13] أن إجراء تحول انسيابي(ميكانيكياً) على حدود الدرزات في الوصلات اللحامية التناكبية لنوع آخر من الفولاذ منخفض نسب الكربون أيضاً أدى إلى ارتفاع قيم حد الصمود لهذه الوصلات التناكبية بمقدار الضعف "أي ارتفعت قيم حد الصمود لهذه الوصلات من (N/mm^2 140) إلى قيم وصلت إلى($280\ N/mm^2$)" – الشكل(1). وكما نلاحظ من هذا الشكل أنه كلما ازدادت قيم زاوية التحول بين الدرزة والمعدن الأساس(نتيجة التشغيل الميكانيكي) ارتفعت قيم حد الصمود للوصلات التناكبية المعالجة بهذه الطريقة.

تعددت الطرائق الميكانيكية للتخفيف من التحول المفاجئ بين مقطع الدرزة اللحامية والمعدن الأساس، واستخدمت طرائق التجليخ والتطريق والمعالجة بالدرفلة لإجراء التحول الانسيابي بين الدرزة اللحامية والمعدن الأساس، ومن ثَم خفض مستوى تركيز

الإجهادات في منطقة التحول آنفة الذكر[8،9،10،11]، ولكن هذه الطرائق الميكانيكية لا تساعد في التخلص من جميع الأمكنة التي تتمركز فيها الإجهادات، إذ إن هناك بعض الأمكنة التي يصعب الوصول إليها في الوصلات اللحامية ومعالجتها ميكانيكياً.

وبناء على ما سبق ذكره درستْ في هذا البحث معالجة حدود الدرزات اللحامية فـي الوصلات التناكبية المعدة من الفولاذ الكربوني منخفض نسب الكربون، وذلـك مـن خلال استخدام طريقة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي باستخدام إلكترود غير مستهلك (غير منصهر) من معدن التنجستين، بحيث يشتعل هذا القوس في وسـط مـن غـاز الآرغون ودون استخدام أي سلك معدني(كمعدن مضاف).

وقد ركز في هذا البحث على مجموعة العوامل التي تؤدي إلى إجراء عمليـة اللحـام بهذا الأسلوب بأقل كلفة اقتصادية ممكنة من جهة وتحسين الخواص الميكانيكية لمعدن منطقة اللحام ومناطق التأثر الحراري لهذه الوصلات من جهة أخرى.

الدراسة التجريبية:

تم في هذا البحث لحام وصلات تناكبية من الفولاذ منخفض نسب الكربـون(St.37)، بحيث كانت سماكات هذه الوصلات مساويةً(20 mm, 12 mm, 6.0 mm)، وقد أظهر التحليل الكيميائي لهذا الفولاذ أن نسبة الكربون فيه تتراوح بـين(0.14 – 0.18 % C)، وأن نسبة أي من الكبريت أو الفوسفور لا تتجاوز(0.03%) نـسبة المنغنيـز(0.5) % ونسبة السيليسيوم (0.36)% ويبين الجدول(1) الخواص الميكانيكية لعينات معدة مـن المعدن الأساس للصفائح الفولاذية موضوع البحث. وكان الهدف من دراسة هذا النوع من الفولاذ يكمن في أنه يستخدم في الإنشاءات الفولاذية المختلفة(جسور، هنغـارات، مصافي النفط، أبراج كهربائية وأبراج البث والتقوية للهاتف النقال وغيرها) ويتمتـع باستطالة نسبية عالية القيم(تزيد على 30.0 %)، ويتراوح حد الإجهاد الأعظم فيه بـين ($360\text{-}520 N/mm^2$) عند اختباره على الشد (الشكل3). ولهذا يستخدم هذا الفولاذ فـي الوصلات اللحامية للأجزاء الوسطى والعليا من الإنشاءات آنفـة الـذكر نظـراً لأن

مطال اهتزازه كبير عند تعرض الإنشاء لحمولات ديناميكية مختلفة (نقل، عواصـف، هزات أرضية وغيرها)، ويتمتع هذا الفولاذ بقابلية جيدة للحـام بـالقوس الكهربـائي اليدوي واللحام نصف الآلي والآلي. وقد درستِ التغيرات التي يمكن أن تحـدث فـي بنية الوصلة اللحامية وخواصها الميكانيكية بعد معالجة حدود الدرزات اللحامية بالتقانة المطروحة في هذا البحث لما للدورات الحرارية الناتجة عن القوس الكهربـائي فـي وسط من غاز الآرغون من تأثير في كل من الخاصتين آنفتي الـذكر (وهمـا البنيـة البلورية والخواص الميكانيكية) ولو أن هذه المعالجة تؤدي إلى إحداث تحول انـسيابي بين الدرزة اللحامية ومعدن الأساس، ومن ثَم ازدياد مقاومة هذه الوصلات للأحمـال الديناميكية المختلفة.

الجدول(1): نتائج اختبار الشد لعينات معدة من صفائح الفولاذ(St.37) موضوع البحث ذات السماكات 6 و 12 و 20 مم

رمز العينة	أبعاد المقطع العرضي (t x h) (mm)	الطول الأولي (L_o) (mm)	مقدار الاستطالة (δL) (mm)	الاستطالة النسبية (ε) (%)	الحمل الأعظم (Fu) (Kg_f)	الإجهاد الأعظم (σ_u) N / mm^2
Q1	6.0 x 20.0	62.0	20.5	33.07	5400.0	441.45
Q2	6.0 x 20.0	62.0	21.0	33.87	5260.0	429.97
Q3	6.0 x 20.0	62.0	20.5	33.07	5250.0	429.19
S1	12.0 x 20.0	88.0	28.0	31.82	10750.0	439.39
S2	12.0 x 20.0	88.0	29.0	32.96	10850.0	443.51
S3	12.0 x 20.0	88.0	29.0	32.96	11000.0	449.63
T1	20.0 x 20.0	113.0	35.0	30.97	17900.0	439.00
T2	20.0 x 20.0	113.0	34.5	30.53	17850.0	437.77
T3	20.0 x 20.0	113.0	34.0	30.09	18000.0	441.45

تمت شنفرة حافات الوصلات ذات السماكات (20 mm, 12 mm, 6 mm) قبل لحامها على شكل حرف (Y) – الشكل (2)، وتمت عملية الشنفرة وفقاً للمواصفات العالميـة الناظمة لذلك، وتم لحام الشوط الأول من كل وصـلة بـالقوس الكهربـائي اليـدوي وباستخدام إلكترودات من النوع (E6013) أقطارها 3.2m، في حين تم لحـام بـاقي الأشواط باستخدام إلكترودات من النوع نفسه أقطارها 4.0mm. وقد حضرتْ سـت وصلات لحامية(وصلتان من كل سماكة من السماكات آنفـة الـذكر– الـشكل5)، إذْ أُعِدتْ هذه الوصلات الست ولُحِمتْ وفقاً لتقانات اللحام المعروفة فـي هـذا المجـال

وباستخدام أنظمة اللحام المعروفة[15، 16، 17، 18]. أُنجِزَتْ ثلاث وصلات لحامية مـن السماكات الثلاث دون معالجة حدود درزاتها اللحامية، أما الوصلات الثلاث الأخـرى فقد عولجت مناطق التحول بين الدرزات اللحامية والمعدن الأساس بالقوس الكهربائي اليدوي في وسط من غاز الآرغون وباستخدام إلكترود من معدن التنغـستين (الـشكل 4). واختبرت عناصر أنظمة المعالجة بالقوس الكهربائي اليدوي لكل وصلة على حدة، بحيث تنوعت في كل نظام معالجة قيم كل من قطر إلكترود التنغستين وشـدة التيـار الكهربائي وسرعة اللحام والطاقة الطولية، إضافة إلى حجم غاز الآرغون المتدفق في واحدة الزمن إلى منطقة اللحام. وقد درس تأثير كل عامل من هذه العوامل في كيفيـة تشكل منطقة المعدن المعاد صهره وأبعاد هذه المنطقة وخواصها الميكانيكية وبنيتهـا البلورية. بعد ذلك رقمتْ الوصلات اللحامية التي لم تعالج حدود الدرزات اللحامية فيها بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون بالأرقام(1 و2 و3)، أما الوصلات التي عولجت حدود الدرزات فيها بالتقانة آنفة الذكر فَرقمتْ بالأرقام(4 و5 و6).

أُعِدتْ عينات الاختبار الآتية من كل وصلة من الوصلات اللحامية الست :

1- عينة اختبار على الشد ذات مقطع دائري من معدن الدرزة اللحامية لكـل وصـلة لحامية.

2- ست عينات اختبار على الصدم(نموذج تشاربي) من كل وصلة لحاميـة بحيـث توضع الثلم في منتصف الدرزة اللحامية لكل عينة اختبار.

3- عينة اختبار قساوة من كل وصلة لحامية إذْ صـقِلَتِ الـسطوح الجانبيـة للعينـة وخُرشَتْ بالمحلول المناسب بهدف إظهار المناطق المختلفة للوصلة اللحامية وقيـاس القساوة في ثلاث نقاط من كل منطقة.

4- عينة لدراسة البنية البلورية من كل وصلة لحامية، إذْ صقِلَتِ الـسطوح الجانبيـة للعينة وخُرشَتْ بالمحلول المناسب بهدف دراسة البنية البلورية لكل منطقة من مناطق

الوصلة اللحامية(الدرزة اللحامية، خط الصهر، منطقة التأثر الحراري، المعدن الأساس).

نتائج الاختبارات والمناقشة:

يبين الجدول(2) نتائج الشد للعينات الست المعدة من معدن الدرزة اللحامية لكل وصلة، إذ توضح هذه النتائج أن قيم الإجهاد الأعظم لمعدن الدرزة اللحامية (سواء قبل معالجة حدود الدرزة أو بعدها) هي أعلى من قيم مثيلاتها للمعدن الأساس،أما قيم الاستطالة النسبية لمعدن الدرزة فهي أقل من قيم تلك للمعدن الأساس، ولكنها تبقى أعلى من الحدود الدنيا المطلوبة لمثل هذه الأنواع من الفولاذ موضوع البحث[3، 4، 5]. ويبين الشكل(7) العينات المعدة من الدرزات اللحامية للوصلات 1 و 2 و 3 فقط قبل اختبارها على الشد وبعده.

الجدول(2) : نتائج اختبار الشد لعينات معدة من معدن الدرزات اللحامية للوصلات(1 و 2 و 3) قبل معالجة حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من الآرغون وللوصلات(4 و 5 و 6) بعد المعالجة

رمز العينة	قطر العينة (d_o) (mm)	الطول الأولي (L_o) (mm)	مقدار الاستطالة (δL) (mm)	الاستطالة النسبية (ε) (%)	الحمل الأعظم(Fu) (Kg_f)	الإجهاد الأعظم (σ_u) N / mm^2
A1	5.0	25.0	6.9	27.6	1050.0	524.87
A2	10.0	50.0	13.1	26.2	4300.0	537.36
A3	10.0	50.0	12.6	25.2	4250.0	531.12
A4	5.0	25.0	6.4	25.6	980.0	489.88
A5	10.0	50.0	12.8	25.6	3850.0	481.13
A6	10.0	50.0	12.5	25.0	3820.0	477.38

يبين الجدول(3) نتائج اختبار الصدم للعينات المعدة من الوصلات اللحامية الست، حيث توضح هذه النتائج أن وسطي قيم عمل الصدم لمعدن الدرزة قبل المعالجة أعلى من قيم مثيله للمعدن نفسه بعد المعالجة ولكن جميع القيم الواردة في الجدول(3) أعلى من الحدود الدنيا المطلوبة في المواصفات الناظمة لذلك[3،4،5]، إذ تبلغ الحدود الدنيا لعمل الصدم في مثل هذه الحالات(35Joule). ويبين الشكل(8) عينات الاختبار على الصدم المعدة من الوصلتين رقم(3 و6) فقط ذوات السماكة(20 mm).

يبين الجدول(4) قيم القساوة لمناطق مختلفة من كل وصلة من الوصـلات اللحاميـة الثلاث(1 و2 و3) حيث يلاحظ أن قيم القساوة لكل من معدن الدرزة اللحامية ومناطق التأثر الحراري أعلى من قيم مثيلاتها للمعدن الأساس، ولكن هذه القيم تبقى أقل كثيراً من الحدود القصوى المسموح بها في المواصـفات العالميـة [3،4]، إذ تبـين هـذه المواصفات أن الحدود القصوى المسموح بها للمناطق المختلفة من الوصلات اللحامية المعدة من الفولاذ منخفض الكربون هي(248 HV).

الجدول (3): نتائج اختبار الصدم لعينات كان الثلم (V) في منتصف الدرزة اللحامية للوصلات (1 و 2 و 3) قبل معالجة حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من الآرغون وللوصلات (4 و5 و6) بعد المعالجة

القيمة الوسطى (Joule)	قيم عمل الصدم(Joule)(Impact Values)						رقم الوصلة وأبعاد عينة الاختبار(mm)
----	U6	U5	U4	U3	U2	U1	1
60.76	56.40	63.71	61.15	57.88	65.81	59.60	(5.0 x 10.0 x 55.0)
----	V6	V5	V4	V3	V2	V1	2
73.75	68.25	74.56	72.58	77.46	71.00	78.64	(10.0 x 10.0 x 55.0)
----	W6	W5	W4	W3	W2	W1	3
75.85	72.84	59.78	74.60	86.94	79.53	81.40	(10.0 x 10.0 x 55.0)
----	E6	E5	E4	E3	E2	E1	4
50.44	52.40	50.63	43.61	47.23	56.35	52.41	(5.0 x 10.0 x 55.0)
----	F6	F5	F4	F3	F2	F1	5
58.71	65.65	61.89	54.82	58.56	59.46	51.86	(10.0 x 10.0 x 55.0)
----	H6	H5	H4	H3	H2	H1	6
62.38	68.54	70.12	62.09	60.81	53.21	59.52	(10.0 x 10.0 x 55.0)

الجدول (4): نتائج اختبار القساوة لمناطق مختلفة من عينات معدة من الوصلات اللحامية للفولاذ موضوع البحث قبل معالجة حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من الآرغون.

رقم العينة (Spec. (No.	مكان القياس (Zone of measureme (nt	قيم القساوة لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية Macro - Hardness (HV)															
		المعدن الأساس (P.M.)			منطقة التأثر الحراري (HAZ)			معدن اللحام (W.M.)			منطقة التأثر الحراري (HAZ)			المعدن الأساس (P.M.)		
		نقطة 1	نقطة 2	نقطة 3	نقطة 4	نقطة 5	نقطة 6	نقطة 7	نقطة 8	نقطة 9	نقطة 10	نقطة 11	نقطة 12	نقطة 13	نقطة 14	نقطة 15
A1	الجانب الأعلى (Cap Side)	137	140	132	156	165	162	152	149	152	160	161	154	139	135	132
	جانب الجذر (Root Side)	132	138	137	161	182	164	164	163	161	163	158	155	144	142	140
A2	الجانب الأعلى (Cap Side)	138	141	140	152	160	163	154	151	143	160	166	156	136	131	130
	جانب الجذر (Root Side)	137	138	145	140	153	154	155	157	157	171	157	148	142	134	138
A3	الجانب الأعلى (Cap Side)	139	138	135	156	164	169	160	153	163	168	174	167	140	135	132

أما الجدول(5) فيبين قيم القساوة لمناطق مختلفة من كل وصلة من الوصلات اللحامية (4 و5 و6) والتي عولجتْ فيها حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون، حيث يلاحظ أن قيم القساوة لكل من معدن الدرزة اللحامية ومناطق التأثر الحراري أعلى من قيم مثيلاتها للمعدن الأساس من جهة، وأعلى (بقليل) في بعض النقاط من قيم مثيلاتها لكل من معدن الدرزة اللحامية ومنطقة التأثر الحراري للوصلات التي لم تعالج حدود الدرزات فيها من جهة أخرى، ولكن جميع هذه القيم تبقى أيضاً أقل كثيراً من الحدود القصوى المسموح بها في المواصفات العالمية وهي القيمة (248HV) آنفة الذكر. ويبين الشكل(6) عينات الاختبار على القساوة المعدة من الوصلات ذوات الأرقام 1 و2 و3 والوصلة ذات الرقم 6

الجدول(5): نتائج اختبار القساوة لمناطق مختلفة من عينات معدة مـن الوصـلات اللحامية للفولاذ موضوع البحث بعد معالجة حـدود الـدرزات اللحاميـة بـالقوس الكهربائي في وسط من الآرغون.

رمز العينة			A4		A5		A6	
مكان القياس (Zone of measurement)			Cap Side	Root Side	Cap Side	Root Side	Cap Side	Root Side
Macro – Hardness(HV)	P.M.	1	145	138	133	136	135	132
		2	142	146	131	141	134	139
		3	139	130	137	144	137	136
	HAZ – 1(Cap) HAZ(Root)	4	181	170	175	175	173	165
		5	162	162	158	161	176	161
		6	179	159	154	163	157	162
	WM - 1	7	183	---	150	---	154	---
		8	195	---	163	---	161	---
		9	181	---	151	---	158	---
	WM - 2	10	161	159	162	146	160	159
		11	180	151	155	152	151	156
		12	185	157	146	163	150	158
	W.M -1	13	193	---	152	---	167	---
		14	178	---	163	---	153	---
		15	163	---	170	---	148	---
	HAZ – 1(Cap) HAZ(Root)	16	180	163	181	153	164	161
		17	177	154	172	170	159	170
		18	164	156	163	161	156	158
	P.M.	19	140	143	135	135	145	143
		20	138	149	142	137	134	137
		21	135	141	134	139	136	138

يبين الشكل(9) البنية البلورية لبعض المناطق في الوصلات اللحامية ذات الأرقام 3 و 6، إذ يلاحظ أن البنية البلورية لأية منطقة من مناطق الوصلة اللحامية ذات السماكة (20mm) تتألف من عنصري البنية المعروفين لهذه الأنواع من الفولاذ منخفض نسب الكربون وهما(الفريت والبرليت) مع اختلاف بسيط جداً في نسبة مشاركة كل منهما في البنية البلورية للمنطقة المدروسة من الوصلة اللحامية مقارنة مع مثيلتها للمعدن الأساس، وذلك نظراً لتأثير الدورات الحرارية لعملية اللحام بالصهر من جهة ولمشاركة معدن إلكترود اللحام في بنية هذه المناطق من جهة أخرى.

لوحظ أن كلاً من معدن الدرزة اللحامية ومعدن منطقة التأثر الحراري يعيدان تبلورهما بعد معالجة حدود الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون مع نمو للبلورات في بعض الحالات وتنعيم (أي صغر) لهذه البلورات في حالات أخرى، وذلك تبعاً لشدة التيار الكهربائي وسرعة اللحام(أي تبعاً لقيم الطاقة الطولية المستخدمة في المعالجة) ولحجم الغاز المتدفق في واحدة الزمن أيضاً. ولهذا كان لا بد من دراسة تأثير كل من الحماية الغازية وتدفق الغاز وقيم عناصر نظام اللحام الأساسية(شدة التيار، سرعة اللحام، الطاقة الطولية) في شكل منطقة التحول بين الدرزة اللحامية والمعدن الأساس وأبعاد هذه المنطقة من جهة، وتأثير هذا النوع من تقانة المعالجة بلحام الصهر في كل من البنية البلورية والخواص الميكانيكية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية المعدة من الفولاذ منخفض الكربون(موضوع البحث).

1 – دراسة تأثير الحماية الغازية وتدفق الغاز في شكل منطقة التحول بين الدرزة اللحامية والمعدن الأساس

يعد تحديد التدفق المثالي للغاز ذا أهمية كبيرة، ذلك لأنه يجب عند اختيار المقطع العرضي لفوهة تصريف الغاز أن يؤخذ بالحسبان أن سرعة تدفق هذا الغاز يجب أن لا تزيد على القيم الحرجة المحددة تجريبيا في هذا المجال، ويجب أن لا تقل عن حدود معينة أيضاً. فإذا زادت سرعة تدفق الغاز عن القيم الحرجة فإن حركة التيار

الغازي تصبح حركة دوامية، ويمكن في هذه الحالة أن تخترق حماية المعدن المنصهر من قبل الهواء الجوي، ومن ثَم يدخل الهواء إلى داخل التيار الغازي المتدفق ويتفاعل مع الحوض المنصهر مما يؤدي إلى تشكل فقاعات غازية في الطبقـات العليـا مـن المعدن المعاد صهره[16-15]. وعندما يكون تدفق الغاز غير كافٍ، ومن ثَم لا توجـد حماية غازية كافية يمكن أن تتشكل في المعدن المعاد صهره مجموعة كبيرة أيضاً من الفجوات الغازية، ويكون السبب الرئيس في تشكل هذه الفجـوات هـو الهيـدروجين الجزيئي الناتج عن وجود الرطوبة في الآرغون المستخدم أو في الهواء المحيط الـذي يمكن أن يصل إلى حوض الصهر. ويمكن في بعض الحالات التي تتحول حركة تدفق الغاز فيها إلى حركة دوامية أن ينفذ الهواء الجوي إلـى حـوض الـصهر ويتفاعـل الأكسجين الموجود فيه مع المعدن المنصهر مما يؤدي إلى تـشكل قـشور أكـسيدية يصعب تحطيمها بالقوس الكهربائي، ولكن يمكن لهذه القشور الأكـسيدية أن تنجـرف بتأثير هذا القوس مع المعدن المنصهر وباتجاه معاكس لاتجاه القوس، وهذا يؤدي فـي نهاية المطاف إلى تشكل فجوات خارجية على سطح المنطقة المعالجة. كمـا تـؤدي زيادة المسافة بين فوهة الغاز وسطح المشغول إلى انخفاض التأثير الفعـال للحمايـة الغازية، ومن ثَم إلى احتمال تشكل العيوب في هذا المعدن. يتم عادة تحديد الحد الأدنى لتدفق الغاز من خلال مراقبة الجودة للمعدن المعاد صهره على حدود الدرزة اللحامية الأساسية وانخفاض عدد الفجوات الغازية المتشكلة وحجمها.

تبين بعض البحوث[12، 13] أن التدفق الأعظم المسموح به لغاز الآرغون المـستخدم للحماية عند إعادة صهر حافات الدرزات اللحامية يمكن حـسابه باسـتخدام المعادلـة التجريبية الآتية:

$$Q = 3600 . r . V \qquad (1)$$

حيث: Q - التدفق الأعظم المسموح به لغاز الآرغون مقدرا بـ [m^3 / h].

r - نصف قطر فوهة تصريف الغاز مقدرا بـ [m].

V- الكثافة الكيناماتيكية للغاز[m^2 / sec.]. وتساوي المقدار($1,34 \times 10^{-5}$ m^2 / sec]، وذلك عند درجة حرارة الغرفة وضغط 760 مم زئبقي. وقد تم في التجارب المجـراة في هذا البحث تقدير التدفق المثالي للغاز المستخدم فكان مـساويا(23 L / min.) مـن أجل قطر فوهة الغاز مساويا(1.6 cm)، وذلك كما يأتي:

[Q =[3600 x r. 10^{-2}(m)] x[$1,34 \times 10^{-5}$ x 1 / 1 / 60(m^2 / min.)
=[3600 x 0.8 x 10^{-2}] x[1.34×10^{-5} x 60] m^3 / min.
=[36 x 0.8] x[$1.34 \times 6 \times 10^{-4}$] 10^3 L / min. = 23.16 L / min.

وقد بينت التجارب العملية المجراة في هذا البحث أن القـيم الحدوديـة لتـدفق غـاز الآرغون المستخدم لحماية القوس الكهربائي المستخدم في حالتنا هـذه تتـراوح بـين (15– 20 L / min.) – الشكل(a , 10)، إذ تبين أن قيم التدفق الواقعـة ضـمن هـذا المجال تؤدي إلى الحصول على جودة عالية في معدن حافات الدرزات اللحامية المعاد صهرها باستخدام هذه التقانة. وقد تبين أيضاً أن المسافة المثالية بـين رأس الفوهـة وسطح المشغول تتراوح بين [4 – 8 mm]- الشكل(b , 10).

2– دراسة تأثير عناصر نظام اللحام في شكل منطقة التحول بين الـدرزة اللحاميـة والمعدن الأساس وأبعادها

اِستُخْدِم في حالتنا هذه إلكترود من التنغستين محمي بغاز الآرغون يمـر فيـه تيـار مستمر ذو قطبية مباشرة ودون استعمال أي سلك لحام مساعد. وقد تبين مـن خـلال مجموعة من التجارب التي أجريت في هذا المجال أن ازدياد شدة التيـار الكهربـائي (من أجل قيم ثابتة لسرعة اللحام = 16 m / h) تؤدي إلى ازدياد كل من عمق الصهر (h) وعرض منطقة المعدن المصهور (b). ويبين الشكل (11) أن ازدياد قيم كل مـن عمق الصهر وعرض حوض الصهر يتناسب طرداً مع ازدياد شدة التيار، وهذا يعني ازدياد المقطع العرضي للمعدن المصهور ($F_{w.m}$) كما يبين الشكل نفسه، ولكن ازدياد قيم عرض الصهر تكون أكبر كثيراً من ازدياد عمقه، وهذا ما يبدو واضحاً من خلال قيم معامل شكل الصهر(وهو النسبة بين عرض الصهر b وعمقه h أي أن : $\psi =$

b/h)، مع العلم أن قيم هذا المعامل لم تتعد (2.0) في جميـع حـالات ازديـاد شـدة التيار،وتقع هذه القيمة ضمن قيم معامل شكل الصهر الواردة في المراجع المختـصة [18] $\psi = 1.5 - 5.0$. ويبين الشكل (12) تأثير سرعة اللحام في قيم كل مـن عمـق الصهر وعرض حوض الصهر عند المعالجة بالقوس الكهربائي في وسط مـن غـاز الآرغون، حيث تقع قيم هذه السرعة في المجال.($16 - 22$ m / h).

ويبين هذا الشكل أن ازدياد سرعة اللحام(من أجل قيم ثابتة لـشدة التيـار I = 180A) تؤدي إلى انخفاض قيم كل من عرض الصهر وعمقه ولكن بنسب متفاوتة مما يـؤدي إلى ازدياد بسيط في قيم معامل شكل الصهر في هذه الحالة أيـضاً، ويبقـى ضـمن الحدود الواردة آنفاً.

بينت التجارب العديدة على الشد والصدم والقساوة الماكروية(والتي ذُكِرتْ آنفـاً فـي هذا البحث). أن معالجة حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون لا تحدث تغيرات كبيرة في الخواص اليمكانيكية للمناطق المختلفة(منطقـة اللحام وخط الصهر ومنطقة التأثر الحراري) من الوصلة اللحامية المعدة من الفـولاذ منخفض نسبة الكربون، أي أن إعادة تسخين هذه المناطق إلى درجات حرارة عاليـة وتعرضها إلى دورات اللحام الحرارية لا يسبب وجود بلورات ذات بنيـة بينيتيـة أو مارتنسيتية والتي تتمتع بقصافة عالية مما يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في قيم كل مـن الاستطالة النسبية(عند الاختبار على الشد) وعمل الصدم وارتفاع كبير في قيم القساوة، فإذا أخذنا بالحسبان أن إعادة صهر منطقة التحول بين الـدرزة اللحاميـة والمعـدن الأساس يقلل كثيراً من قيم معامل تركيز الإجهادات في الوصلات اللحامية، ومن ثَـم يرفع من قيم حد الصمود لهذه الوصلات، فإن التركيز على أنظمة المعالجـة بالتقانـة آنفة الذكر يعد من الأمور البحثية المهمة والتي تتطلب الدقة الكبيرة في اختيار عناصر نظام اللحام وتدفق الغاز، إذ تبين أن الطاقة الطولية تتـراوح قيمهـا بـين($2800 - 4000$ Cal / cm) مهما تباينت قيم شدة التيار الكهربائي وسرعة اللحام ولكن ضـمن

الحدود التي ذُكِرتْ آنفاً في هذا البحث، فضلاً عن الأخذ بالحسبان تدفق الغاز ضمن الحدود المذكورة سابقاً أيضاً.

الاستنتاجات الممكنة من البحث :

1 - أثبتت كثير من البحوث أن تصدع الإنشاءات الفولاذية اللحامية، ولاسيما عند تعرضها لأحمال ديناميكية مختلفة، يحدث في مناطق التحول من الدرزات اللحامية إلى المعدن الأساس، وقد تصدى كثير من الباحثين لمعالجة هذه المسألة البحثية بطرائق التشغيل الميكانيكية المتعددة، إلا أن المعالجة بالقوس الكهربائي المحمي بغاز الآرغون تؤدي إلى إجراء تحول انسيابي بين الدرزة اللحامية ومعدن الأساس مما يخفض كثيراً من قيم معامل تركيز الإجهادات في منطقة التحول هذه، ومن ثَم يرفع قيم حد الصمود للوصلات اللحامية عند تعرضها لإجهادات تعبية أو ديناميكية أخرى.

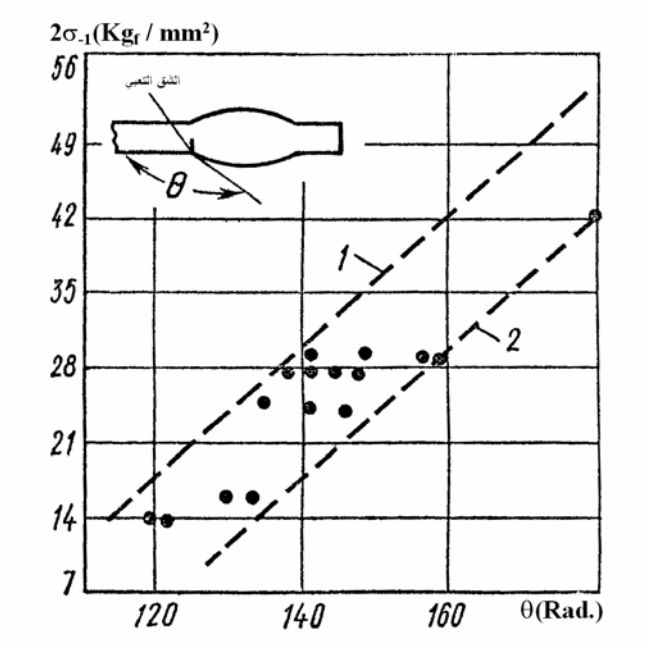
2 - بينت الاختبارات المختلفة (الاختبارات على الشد والصدم والقساوة) لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية المعالجة حدودها باستخدام تقانة اللحام آنفة الذكر أن قيم الخواص الميكانيكية لهذه المناطق(إجهاد الشد الأعظم، الاستطالة النسبية، عمل الصدم، القساوة) لا تتغير كثيراً وتبقى أعلى من الحدود الدنيا المطلوبة في المواصفات العالمية(وذلك فيما يتعلق بكل من قيم الإجهاد الأعظم والاستطالة النسبية وعمل الصدم) وأقل كثيراً من الحدود القصوى المسموح بها في المواصفات نفسها فيما يتعلق بقيم القساوة. وهذا يعني أن معدن المناطق المختلفة(منطقة اللحام، خط الصهر، منطقة التأثر الحراري) في الوصلة اللحامية المعالج حدود درزاتها مع المعدن الأساس بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون لا تفقد لدونتها نتيجة تعرضها للدورات الحرارية الناتجة عن استخدام تقانة المعالجة آنفة الذكر، ومن ثَم تحافظ الوصلة اللحامية على لدونتها ومتانتها ومقاومتها للأحمال الديناميكية المختلفة نتيجة انخفاض قيم معامل تركيز الإجهادات في مناطق التحول بين الدرزة ومعدن الأساس.

3- لوحظ أن أفضل أنظمة المعالجة بالتقانة موضوع البحث يمكن تطبيقها دون حدوث عيوب في الوصلات اللحامية المعدة من الفولاذ منخفض نسب الكربون ورفع كفـاءة هذه الوصلات لمقاومة الأحمال المختلفة إذا تم اختيار قيم تدفق غاز الآرغـون بـين (15 – 20 L / min.) والمسافة بين رأس فوهة التغذية بهذا الغـاز وسـطح الوصـلة المراد معالجتها يتراوح بين (4– 8 mm)، وأن شدة التيار الكهربائي لا تتجاوز(180 A) وسرعة اللحام لا تتجاوز(20 m / h). وهذا يعني أن قيم الطاقة الطولية لا تتجاوز (4000 Cal /cm) في جميع الحالات كما أثبتت التجارب العديدة التي أجريت في هـذا المجال.

4- بينت التجارب أن أبعاد كل من عمق الصهر(h) وعـرض حـوض الـصهر(b) للمنطقة المعالجة تزداد طرداً بازدياد شدة التيار الكهربائي وعكـساً بازديـاد سـرعة اللحام بالقوس الكهربائي، ولكن بنسب متفاوتة لكل منهما، مما أدى إلى ازديـاد قـيم معامل شكل الصهر($\psi = b / h$) بشكل بسيط في جميع الحالات ولكن قيم هذا المعامل بقيت ضمن الحدود الواردة في المراجع المختلفة، وبما يخص حالة اللحـام بـالقوس الكهربائي(سواء اليدوي باستخدام قضبان مغطاة أو في وسط من الغازات الخاملـة أي أن :$\psi = 1.5 – 5.0$).

5- لوحظ أن كلاً من معدن الدرزة اللحامية ومعدن منطقة التأثر الحـراري يعيـدان تبلورهما بعد معالجة حدود الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي في وسـط مـن غـاز الآرغون مع نمو للبلورات في بعض الحالات وتنعيم (أي صغر) لهذه البلورات فـي حالات أخرى، وذلك تبعاً لشدة التيار الكهربائي وسرعة اللحام (أي تبعاً لقيم الطاقـة الطولية المستخدمة في المعالجة) ولحجم الغاز المتدفق في واحدة الزمن أيضاً، إلا أن إعادة التبلور هذه في المناطق المذكورة آنفاً من الوصلة اللحامية المعالجة لا تؤثر في متانة هذه الوصلة أو لدونتها قبل المعالجة(أي تبقى قيم الخواص الميكانيكية المختلفـة ضمن الحدود المطلوبة في المواصفات العالمية).

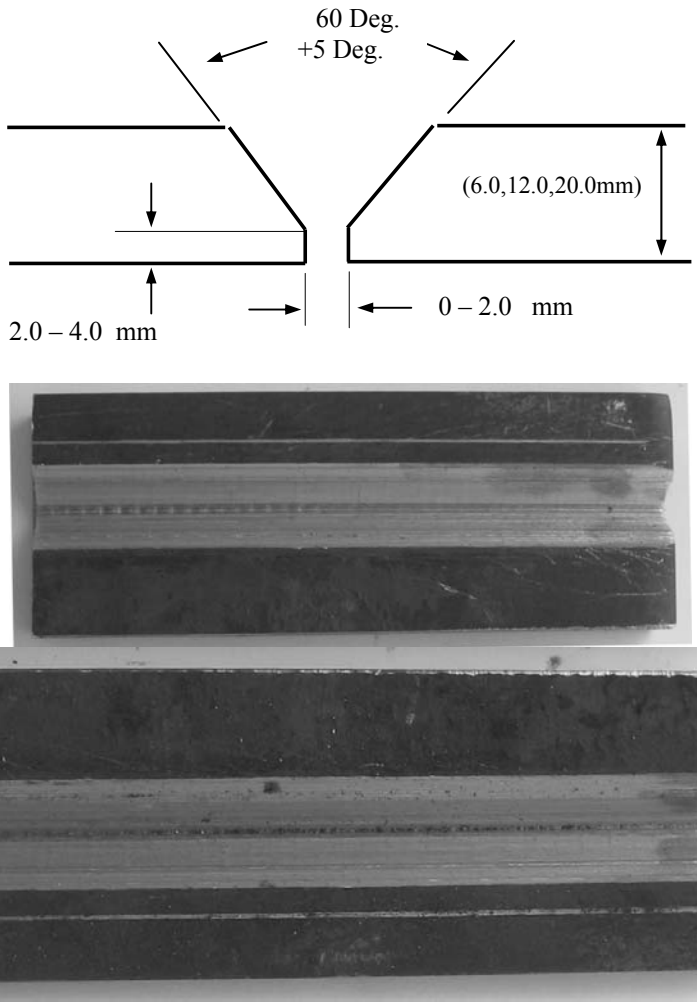
6- تمت دراسة إعادة صهر حدود الدرزات اللحامية المعدة من الفولاذ السبائكي منخفض نسب العناصر السبائكية، ولوحظ أن هناك اختلافاً واضحاً في قيم الخواص الميكانيكية(ولاسيما الارتفاع الحاد في قيم القساوة والانخفاض الكبير في قيم عمل الصدم) لكل من معدن الدرزة اللحامية ومعدن منطقة التأثر الحراري في الوصلتين اللحاميتين قبل معالجة حدود الدرزة وبعدها، وذلك نتيجة تعرض معدن هاتين المنطقتين بشكل مباشر لدورات اللحام الحرارية عند المعالجة بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون، مما يؤثر سلباً في الخواص الميكانيكية للوصلات اللحامية المعالجة بهذه الطريقة، ومن ثَم في استثمار هذه الوصلات، ولاسيما عند تعرضها لأحمال ديناميكية، ولم نستطع عرض جميع هذه النتائج دفعة واحدة في هذه الورقة العلمية، وتم تأجيل نشر نتائج اختبار وصلات لحام الفولاذ السبائكي ومناقشتها إلى الورقة العلمية القادمة.



الشكل(1) : تأثير مقدار التقوية للدرزة اللحامية(من خلال زاوية التحول θ بين الدرزة والمعدن الأساس) في قيم حد الصمود للوصلات اللحامية المعدة من الفولاذ منخفض الكربون :

1 – وصلات لحامية من الفولاذ منخفض الكربون تمت إزالة تقوية الدرزة اللحامية في هذه الوصلات

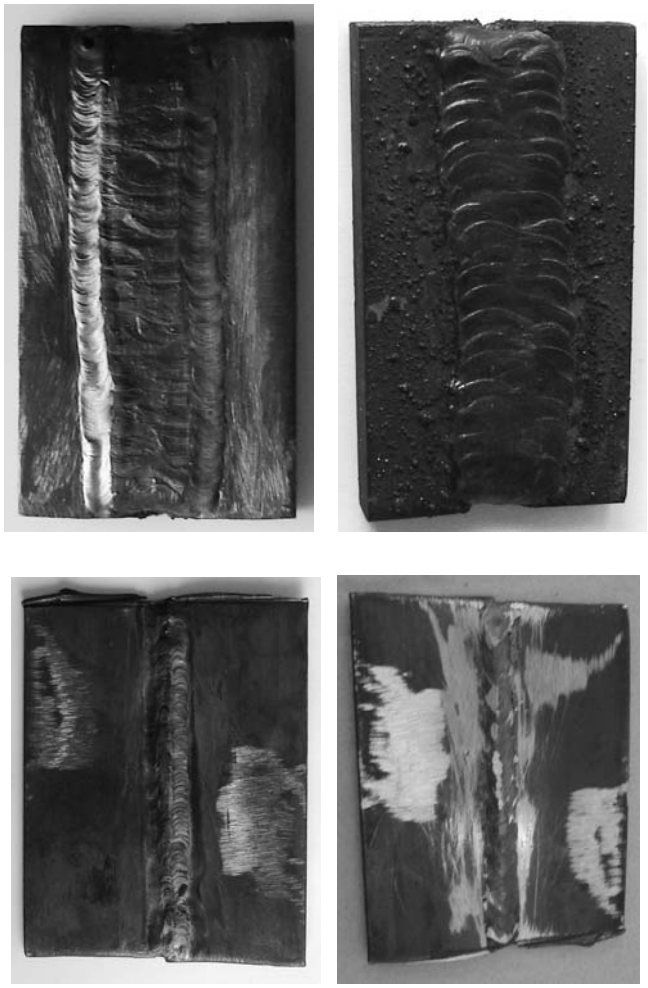
2 – وصلات لحامية للفولاذ نفسه بقيت تقوية الدرزات اللحامية على حالها في هذه الوصلات



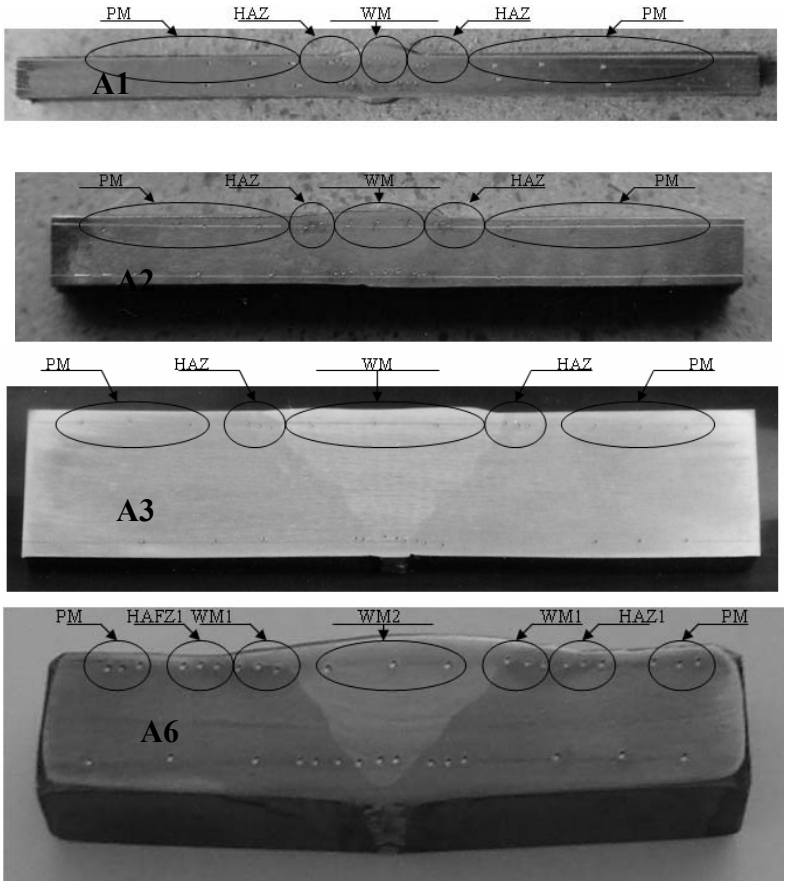
الشكل(2) : شنفرة حافات الوصلات ذات السماكات 12 و 20 مم وفقاً للمواصفات العالمية الناظمة لذلك.

الشكل(3) : عينات لختبار على الشد أعدت من الصفائح الفولاذية(St.37) ذات السماكات 6 و 12 و 20 مم

الشكل(4) : تقانة معالجة حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي اليدوي(إلكترود من التنغستين) في وسط من غاز الآرغون ودون استخدام سلك لحام(كمعدن مضاف).

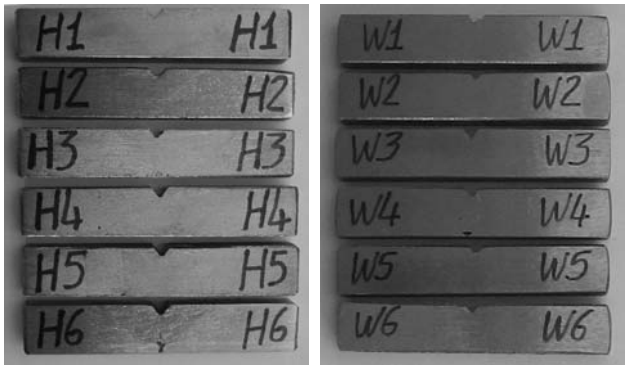


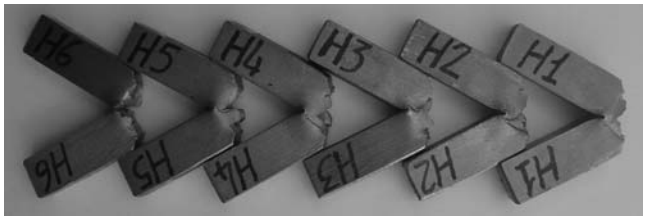
الشكل(5) : أجزاء من الوصلات اللحامية ذات السماكات(6 mm , 12 mm)التي تم لحامها بالقوس الكهربائي اليدوي ثم تمت معالجة حدود الدرزات بالقوس الكهربائي(إلكترود من التنغستين) في وسط من غاز الآرغون.



الشكل(6) : ثلاث عينات لاختبار على القساوة تم إعدادها من الوصلات ذات السماكات) 20 , 12 ,6) mm قبل معالجة حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون، العينة الرابعة معدة من الوصلة ذات السماكة(20 mm) بعد معالجة حدود الدرزة اللحامية

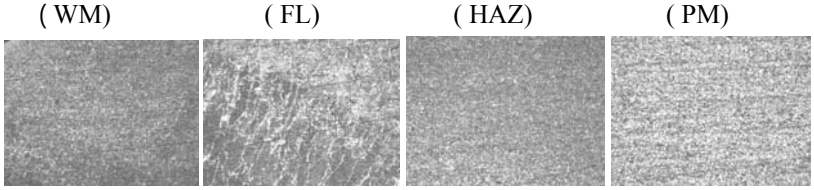
الشكل(7) : ثلاث عينات لاختبار على الشد تم إعدادها من معدن الدرزات اللحامية للوصلات ذات السماكات (6, 12 , 20 mm)قبل معالجة حدود الدرزات اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون.



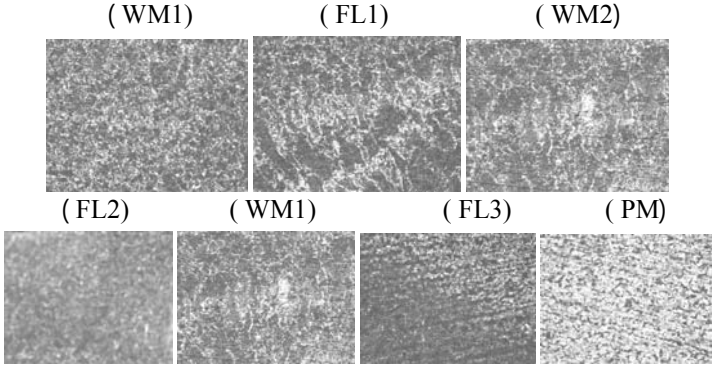


الشكل(8) : عينات لاختبار على الصدم(قبل الاختبار وبعده) معدة من الوصلات اللحامية ذات السماكة(20 mm)
مجموعة العينات(W) معدة من الوصلة اللحامية قبل معالجة حدود الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من الآرغون
مجموعة العينات(H) معدة من الوصلة اللحامية بعد معالجة حدود الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من الآرغون

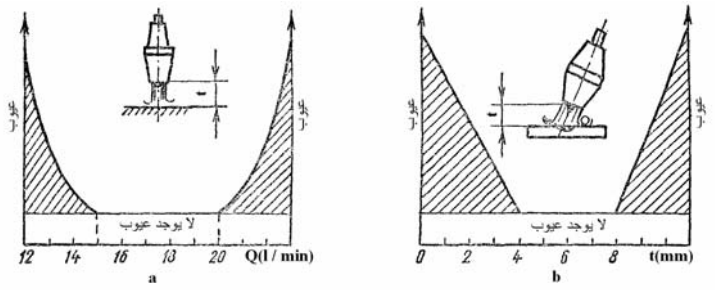
آ)



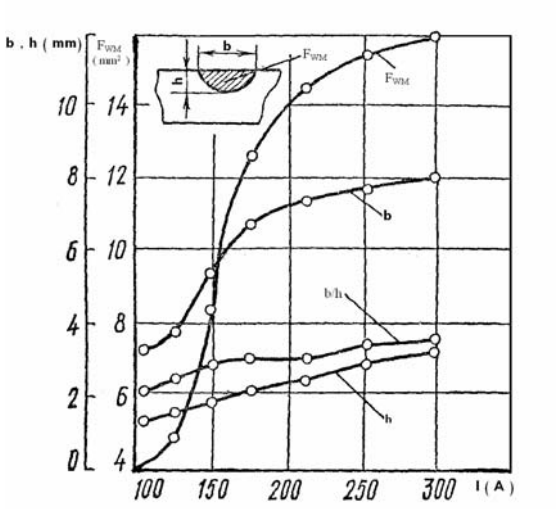
ب)



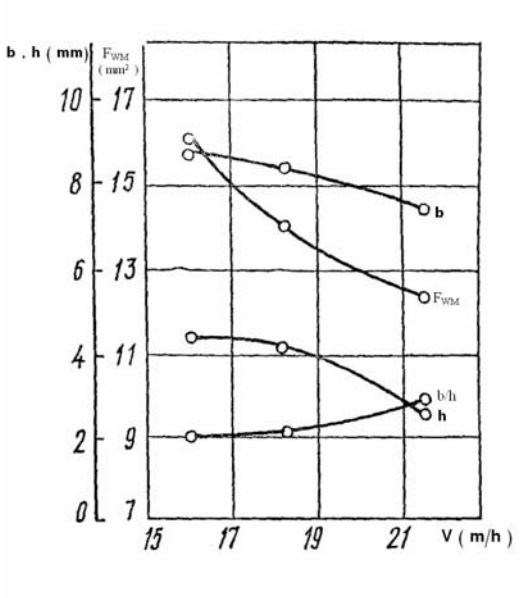
الشكل(9) : آ - البنية البلورية لمناطق مختلفة من الوصلة اللحامية رقم(3) قبل معالجة حدود الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون. ب - البنية البلورية لمناطق مختلفة من الوصلة اللحامية رقم(6) بعد معالجة حدود الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الآرغون.



الشكل(10) : تأثير كل من تدفق غاز الآرغون(a) والمسافة بين فوهة رأس اللحام وسطح القطعة المراد معالجتها(b) في جودة الوصلات اللحامية الناتجة



الشكل(11) : علاقة كل من أبعاد حوض الصهر ومقطعه العرضي ومعامل شكل الصهر بشدة التيار الكهربائي وذلك عند معالجة حافات الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي اليدوي في وسط من غاز الآرغون



الشكل(12) : علاقة كل من أبعاد حوض الصهر ومقطعه العرضي ومعامل شكل الصهر بسرعة اللحام وذلك عند معالجة حافات الدرزة اللحامية بالقوس الكهربائي اليدوي في وسط من غاز الآرغون

References

1) Liewellyn D.T., " Steels : Metallurgy and applications " – 2 Rev.ed. , London , 1994.
2) Harris D. , Priest,A. " Integrity of gas Cylenders ", Materials Technology ", NPL ,1985
3) " Standard for welding pipelines & Related facilities " API 1104 , 19-th ed., 1999.
4) ANSI / AWS , An American National Standard " Structural Welding Code " , D1.1-85 , 1985
5) ASME , " Structural Welding Code " , section IX , 2001.
6) Thomas F. , Peter D. " Fatigue Analysis of Bolted & Welded Joints " , Hamburg ,Germany ,2001
7) Hobbar A. " Fatigue design of welded joints & components ", The International Institute of Welding , 1996.
8) Haibach,E.: "Fatigue Strength of Welded Joints in View of a Local Strain Measurement " ,
Laboratorium für Betriebsfestigkeit(LBF), 1988.
9) Roylance D. " Fatigue " , Massachusetts Institute of Technology , 2001
10) Paris P.C. , Gomez M.P. , " A rational analytic theory of fatigue " , The trend in Engineering , 1981
11) Frost N.E. , dugdale D.E. " The propagation of fatigue cracks in sheet specimens " , Journal of Sound & Vibration , 1991 , V.69 , No. 4.
12) Boyd G. M. " Effects of residual stresses in welded structures " – Brit. weld , 1995.
13) Weck R. " The design and Fabrication of Welded Structures Subjected to Repeated Loading " – The Welder , 1990 ,
14) DIN-17100 " Steels for General Structural Purposes " , quality Standard , 1980.

15) أكولوف آ.ي. وآخرون " تقانة اللحام بالصهر وآلاته " موسكو، دار نشر "بناء الآلات "، 1977.

16) أكولوف آ.ي. " اللحام في بناء الآلات" الجزء 2 و3، موسكو، دار نشر " بناء الآلات "، 1975.

17) هندسة الإنتاج "3" – طرق وأنظمة اللحام الحديثة والخاصة "، د. محمد علي سلامة، منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، 1998.

18) طرائق التصنيع" 3 "– لحام المعادن، د. محمد علي سلامة، د. عصام موسى، منشورات جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، 2006

19) بتروف غ.ل. "نظريات طرائق اللحام" الطبعة الثانية، دار النشر " المدرسة العليا "، موسكو، 1977.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2007/1/11.