اختيار الظروف المثلى لعملية اللحام الاحتكاكي لملحومات من الفولاذ متوسط الكاربون (DIN CK45) وفولاذ السرع العالية (AISI S6-5-2)[+]

SELECTION OF OPTIMUM CONDITIONS OF FRICTION WELDING FOR MIDIUM CARBON STEEL (DIN CK45)AND HIGH SPEED STEEL (AISIS 6-5-2)

يونس فاخر عودة [*] احمد صاحب مهدي[*]

المستخلص

في هذا البحث تم استخدام نوعين من السبائك الاول فولاذ متوسط الكاربون والاخر فولاذ السرع العالية .ولحمت العينات بطريقة اللحام الاحتكاكي وتم اختيار الظروف المثلى للحام بطريقة العامل المنفرد . اذ ان الظروف المثلى للمعادن المتشابهة هي (12 sec) لزمن الاحتكاك ، (2.2 MPa) لضغط الكبس و (0.8 MPa) لضغط الاحتكاك ، وللمعادن غير المتشابهة فقد كانت (16 sec) لزمن الاحتكاك ، (2.7 MPa) لضغط الكبس و (1.4 MPa) لضغط الاحتكاك . تم اجراء اختبارات الشد لكلا المعدنين والملحومتين بالحالتين المتشابهة وغير المتشابهة وكانت مقاومة الشد لوصلة اللحام لمعدنين متشابهين بحدود(92%) من مقاومة المعدن الاساس بينما كانت بحدود (70%) في حالة وصلة اللحام من معدنين غير متشابهين .

Abstract

In this paper , two types of material are used , the first is medium carbon steel and the latter is high speed steel . These materials welded by friction welding for two samples (Similar And Dissimilar) . The optimum conditions for welding had been select by single factor method .Which represent that the optimum conditions for similar materials are : (12 sec) for friction time, (2.2MPa) for forging pressure and (0.8 MPa) for friction pressure , So, for dissimilar materials that are : (16 sec) for friction time , (2.7 MPa) for forging

[+] تاريخ استلام البحث ٢٠٠٦/٥/١٥ تاريخ قبول النشر ٢٠٠٧/٦/٦

[*] مدرس مساعد / المعهد التقني / الناصرية

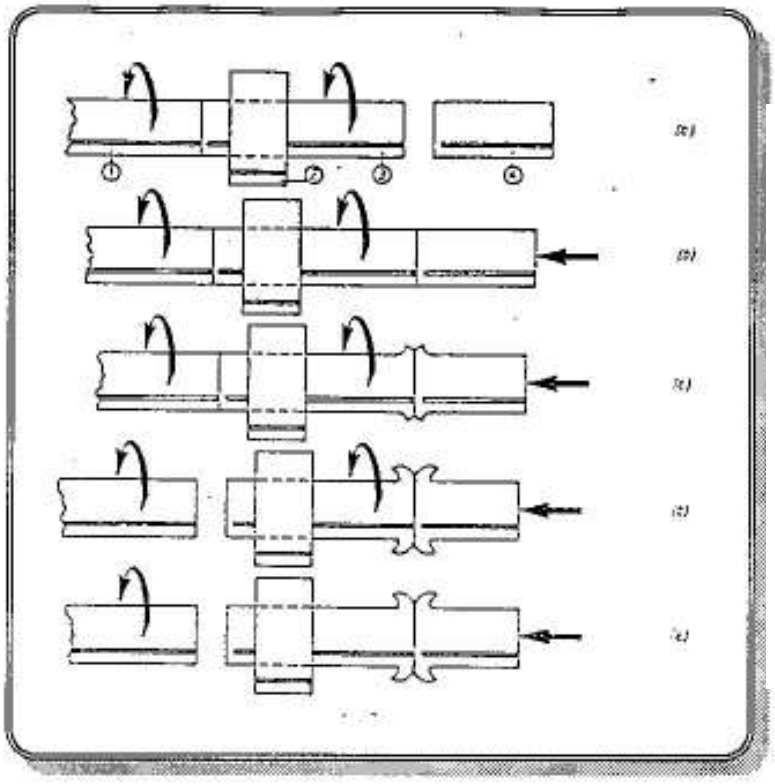
pressure and (1.4 MPa) for friction pressure . The experimental results indicated that the tensile strength of the welded joint of similar material was about of (92%) from the base metal strength while in dissimilar case , it was (70%) .

الجانب النظري

ان عملية اللحام الاحتكاكي (Friction Welding) بصورة عامة هي عملية ربط المواد مع بعضها البعض بأستخدام الحرارة الناتجة من الاحتكاك علاوة على الضغط ، ويحصل الترابط عند نقاط التماس ، وتستخدم هذه العملية في الغالب كعملية تجارية على نطاق واسع في العديد من البلدان وفي مختلف الصناعات في العالم [١] . وتتجسد اهمية اللحام الاحتكاكي في امكانية لحام الكثير من المواد وخاصة غير المتشابهة (Dissimilar materials) التي تختلف بخواصها الحرارية والكيميائية والميكانيكية ، وصعوبة لحامها بالطرائق الاخرى ، الى جانب سرعة انجازها وانخفاض كلفتها والجودة العالية للوصلات [٢] وتعد عملية اللحام الاحتكاكي من الطرائق المستخدمة في الانتاج الكمي (Mass Production) والانتاج على شكل دفعات (Batch) وفي انتاج وصلات اللحام من المواد الحديدية (Ferrous Materials) [٣] ، كما ان الحرارة الناتجة عن الاحتكاك تعد المصدر الوحيد للطاقة الحرارية في هذه العملية ، اذ يتم تحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة حرارية لكي تستغل الاخيرة لأحداث تسخين موقعي لحافات الترابط ، وتتم العملية بتدوير احد جزئي الشغلة بينما يبقى الجزء الثاني ثابتاً حيث يسخن السطحان نتيجة الاحتكاك الجاف المتولد بين السطحين المراد لحامهما ، حينها تبدأ عملية اللحام بحدوث التصاقات في نقاط معينة تسمى البروزات (Fragments) ثم انهيارها ، وتستمر العملية حتى تكون درجة الحرارة كافية لحصول الانسياب اللدن (Plastic Flow) بعدها يوقف التدوير ويتم تسليط الضغط بأضطراد فيعصر المعدن اللدن وتحصل عملية اللحام مع تكوين طوق محيطي يسمى المعدن المزاح (Flash Metal) حول منطقة اللحام يزال بالتشغيل لاحقاً . [٤] . الشكل (١) يوضح آلية اللحام الاحتكاكي . وتنجز عملية اللحام الاحتكاكي بعدة طرق اعتماداً على الاجهزة المستخدمة والشكل الهندسي للمقطع المطلوب لحامه الذي يعد واحداً من محددات هذه العملية اذ انها تكون اكثر ملاءمة مع الاشكال الدائرية [٥] .

وفي هذا الصدد ، فقد درس الباحث (E.D.Nicholas) [٦] امكانية ربط المواد المتشابهة (

نحاس – نحاس) ، (برونز فسفوري – برونز فسفوري) بعملية اللحام الاحتكاكي ، وتوصل الى ان قابلية لحام (نحاس – نحاس) ناجحة على الرغم من التوصيلية الحرارية العالية لهذا المعدن والتي ادت الى زيادة في عمق تغلغل المعدنين . واستطاع الباحث نفسه ربط معادن غير متشابهة (نحاس لدن – المنيوم نقي) ، (نحاس – فولاذ مقاوم للصدأ) في عملية اللحام الاحتكاكي ، وقد استنتج ان المركب المتكون عند لحام المعدنين ليس هشاً ، كما ان وصلة اللحام ذات حساسية عالية للارتفاع في درجات الحرارة . كما درس الباحث (A.S.Bahrani) [٧] عملية ربط سبيكة المنيوم مع بعضها بأستخدام سرع دورانية مختلفة وتوصل الى ان سمك وموقع الطبقة اللدنة يعتمد على السرعة الدورانية ويزداد العزم (Torque) مع زيادة ضغط الاحتكاك . واوضح الباحث (V.I.Vill) [٨] ان الوصلة الملحومة بطريقة اللحام الاحتكاكي اكثر مقاومة من الوصلة الملحومة بطريقة المقاومة الكهربائية عند لحام فولاذ متوسط الكربون نوع (DIN CK45) وفولاذ السرع العالية نوع (S6-5-2-5) بمقارنة الطريقتين .



شكل (١) :آلية اللحام الاحتكاكي

الجانب العملي

اختيار المعدن

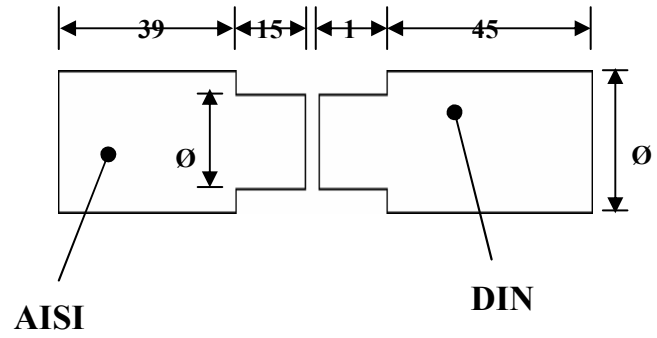
تم استخدام معدنين الاول فولاذ السرع العالية (High Speed Steel) من نوع (AISI S6-5-2) حسب المواصفة (AISI) وذلك لاستخداماته في تصنيع البرايم المستخدمة في التثقيب .اما المعدن الاخر هو فولاذ متوسط الكاربون (DIN Ck45) حسب المواصفة الالمانية (DIN) والمستخدم في تصنيع اعمدة الدوران و اجسام ادوات القطع واعمدة القيادة و التروس والمثبتات . وتم اجراء التحليل الكيمياوي لكلا المعدنين بأستخدام جهاز التحليل الطيفي (Spectrometer) وكما موضح في الجدول رقم (1) .

Material	القيمة	% C	% Mn	% Si	% S	% P	% Mo	% Cr	% W	% V	% Cu	% Ni	% Fe
DIN CK45	القياسية	0.42-0.5	0.5-0.8	0.4	0.03	0.035	-	-	-	-	-	-	Rem
	الفعلية	0.458	0.61	0.277	0.005	0.005	0.027	0.15	0.14	-	0.23	0.157	Rem
AISI S6-5-2	القياسية	0.8-0.92	0.4	0.45	0.03	0.03	4.7-5.2	3.8-4.5	6-6.7	1.7-2	-	-	Rem
	الفعلية	0.9	0.277	0.4	0.005	0.005	4.9	4.2	6.3	1.9	-	0.406	Rem

جدول (1) يوضح التحليل الكيماوي لكلا المعدنين المستخدمين

اجراء عملية اللحام الاحتكاكي :

تم استخدام المعدن المجهز لكلا النوعين على شكل قضبان (Rods) بقطر (20mm) اذ تم تقطيع الفولاذ المتوسط الكاربون الى عدة قطع بطول (60 mm) للقطعة الواحدة ، وبطول (54 mm) بالنسبة لفولاذ السرع العالية كما موضح بالشكل (1) ويعزى الاختلاف في الطول الى محددات ماكينة اللحام المستخدمة لأغراض البحث الحالي وهي من نوع (Koka Type – Rs30- 1982) واجريت بعدها عملية اللحام الاحتكاكي.



شكل (٢) ابعاد العينة قبل اللحام الاحتكاكي (بوحدات المليمتر)

اختيار الظروف المثلى لعملية اللحام الاحتكاكي

ان الظروف المثلى لعملية اللحام الاحتكاكي هي ضغط الاحتكاك (Pressure (Friction)) وضـــغط الكبس (Forging Pressure) وزمن الاحتكاك ((Friction Time)) وزمن الكبس Forging Time) (على فرض تثبيت السرعة الدورانية (1500.R.P.M) ومعامل الاحتكاك (٠,١) . وان زمـــن الكـــبس يعتمد على قطر القطعة المطلوب لحامها وهي ذات تأثير كبير على متانة ومقاومة وصلة اللحام وفـــي هـــذا النوع من اللحام [9] . اعتمد زمن الكبس في هذا البحث بقيمة (1.5sec) اما المتغيرات الاخرى فتعتمد على سلسلة من اختبارات الشد لاختيار الامثل منها [10] وكما في الجدولين (٢) و (٣) وقد اعتمد البحث على طريقة المتغير المنفرد(Single Factor) لاختيار الظروف المثلى للحام .

جدول (2): الظروف المثلى لعملية لحام المعادن المتشابهة (DIN CK45-DIN CK45)

Optimum Condition For Welding DIN Ck45+DIN Ck45			
Series	**Friction Time (Sec)**	**Forging Pressure (MPa)**	**Friction Pressure (MPa)**
1	8	2.2	0.8
2	10	2.2	0.8
3	12*	2.2	0.8
4	14	2.2	0.8
5	16	2.2	0.8
6	12	1.8	0.8
7	12	2.0	0.8
8	12	2.2*	0.8
9	12	2.4	0.8
10	12	2.6	0.8

11	12	2.2	0.6
12	12	2.2	0.8*
13	12	2.2	1.0
14	12	2.2	1.2
15	*12*	*2.2*	*1.4*

* Optimum Conditions

جدول (3): الظروف المثلى لعملية لحام المعادن المختلفة (DIN Ck 45 – AISI S6-5-2)

Optimum Condition For Welding DIN Ck45 + AISI S6-5-2			
Series	**Friction Time (Sec)**	**Friction Pressure (MPa)**	**Forging Pressure (MPa)**
1	10	1.4	2.2
2	13	1.4	2.2
3	16*	1.4	2.2
4	19	1.4	2.2
5	21	1.4	2.2
6	16	1.0	2.2
7	16	1.2	2.2
8	16	1.4*	2.2
9	16	1.6	2.2
10	16	1.8	2.2
11	16	1.4	2.1
12	16	1.4	2.4
13	16	1.4	2.7*
14	16	1.4	3.0
15	*16*	*1.4*	*3.3*

* Optimum Conditions

ومن خلال الجدولين (2 و 3) يمكن الحصول على متغيرات الظروف المثلـــى للحـــام الاحتكـــاكي

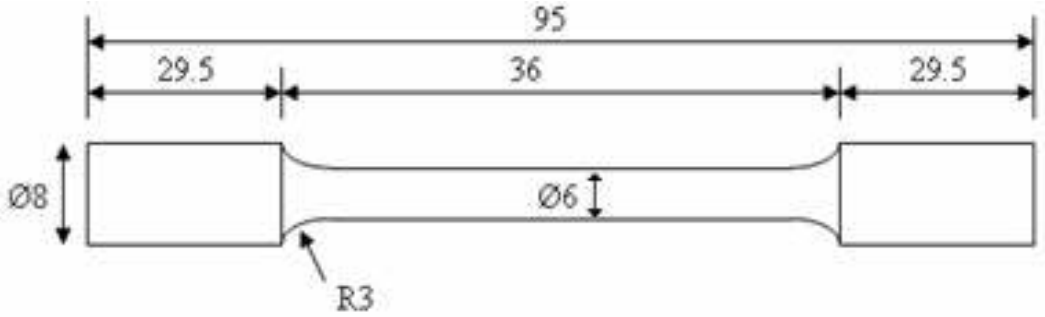
اعتمادا على طريقة المتغير المنفرد (Single Factor) لأختيار الظروف المثلى للحام وكما موضـــح فـــي الجدول (4) .

جدول (4) متغيرات الظروف المثلى للحام الاحتكاكي

	Friction Pressure (MPa)	**Forging Pressure (MPa)**	**Friction Time (Sec)**	**R.P.M**
Similar Welded (DIN Ck45 +DIN Ck45)	0.8	2.2	12	1500
Dissimilar Welded (DIN Ck45 + AISI S6-5-2)	*1.4*	*2.7*	*16*	*1500*

<u>اجراء اختبارات الشد للملحومات والمعدن الاساس :</u>

يعد اختبار الشد من الاختبارات المهمة ذات التأثير الواضح في تقييم مقاومة وصـــلة اللحـــام [10] ، وبناءا على ذلك فقد تم تقييم الشروط المثلى للملحومات لهذا الاختبار من مصادر اخرى كحد ادنى (70%) من مقاومة الشد للمعدن الاساس (Base Metal) . [١] .



شكل (٣): ابعاد عينة اختبار الشد القياسية (بوحدات المليمتر)

تم تصنيع عينات اختبار الشد وفق المواصفات القياسية لعينات الشد [11] كما موضحة في الشكل (٣) . وقد اجرى الاختبار بجهاز الشد (Schenek Trebel RM100) ذي الحمولة القصوى (100 KN) للمعدن الاساس ولكل النوعين (معدنين متشابهين ومعدنين غير متشابهين) وتم تسجيل القراءات الموضـــحة في الجدولين (5 و 6) اذ ان الجدول (5) يمثل نتائج اختبار الشد للمعدن الاساس قبل اجراء عملية اللحام ولكلا النوعين بينما يمثل الجدول (6) نتائج اختبارات الشد للوصلات الملحومة لنوعي وصلة اللحام .

جدول (5) نتائج اختبار الشد للمعدن الاساس

الخاصية	المعدن	
	فولاذ متوسط الكاربون DIN Ck45	فولاذ السرع العالية(AISI S6-5-2)
Yield Stress (MPa)	760	770
Tensile Strength (MPa)	801	829

جدول (6) نتائج اختبارات الشد للوصلات الملحومة

نوع الوصلة	Yield Stress	Tensile Strength
(DIN Ck45 +DIN Ck45)	555	763
(DIN Ck45 + AISI S6-5-2)	ــــــــــــــــــ	560

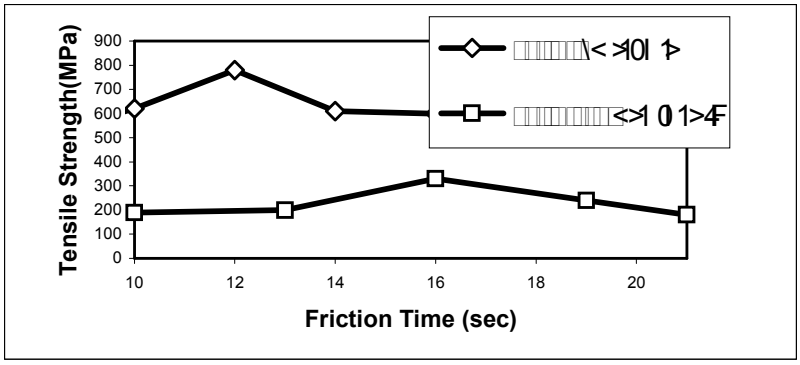
المناقشة والاستنتاجات :

- **مناقشة اختيار الظروف المثلى :**

ان اختيار الظروف المثلى ذات التاثير الكبير على متانة ومقاومة وصلة اللحـــام اذ ان الوصلة ممكن لحامها بأي متغيرات كانت وهذا ينعكس بطبيعة الحال علـــى مقاومتهـــا للـــشد والصدم والانحناء .

- **زمن الاحتكاك Friction Time :**

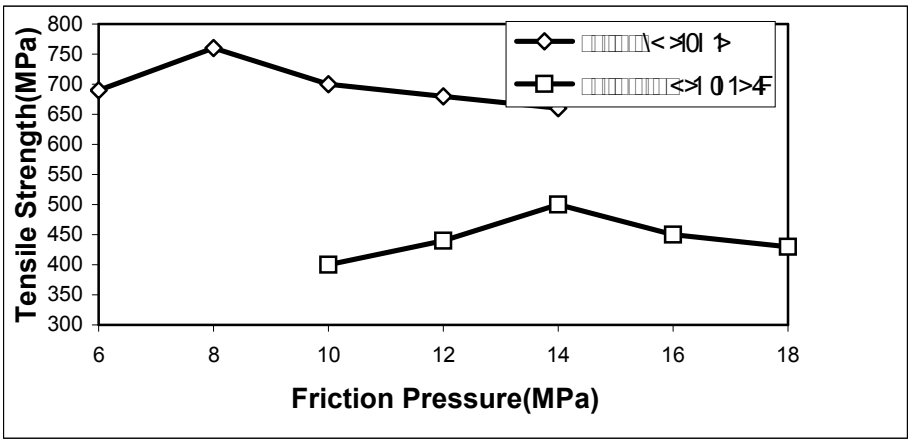
ان زمن الاحتكاك ذو تأثير واضح على كمية الحرارة المتولدة نتيجة الاحتكاك التـــي تسبب تسخين القطعتين المراد لحامهما . كما يسيطر على معدل الانتشار المتبادل فـــي منطقـــة تلامس السطوح ، اذ ان مقاومة الشد تزداد مع زيادة زمن الاحتكاك الى ان تصل الـــى قيمـــة معينة ثم تبدأ بالنقصان مع زيادة زمن الاحتكاك وكانت القيمة المذكورة اعلاه في الملحومـــات المتشابهة بحدود (12 sec) والملحومات غير المتشابهة (16 sec) كما يوضح ذلك الشكل (٤) ويرجع سبب الزيادة في الحالتين الى ان فولاذ السرع العالية يحتاج الى كمية حرارية اعلى لتكوين المنطقة اللدنة .



شكل (٤): العلاقة بين مقاومة الشد وزمن الاحتكاك في اللحام الاحتكاكي

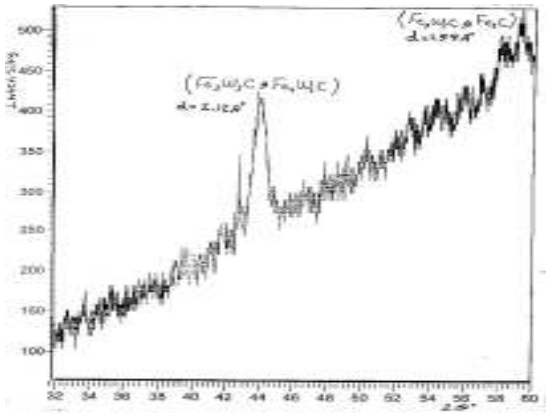
- **ضغط الاحتكاك Friction Pressure :**

يعد ضغط الاحتكاك من المتغيرات المهمة التي تؤثر على معدل توليد الحـــرارة . اذ ان زيادة ضغط الاحتكاك تؤدي الى زيادة مساحة التلامس السطحي نتيجة التشويه اللدن الحاصـــل بسبب الحرارة المتولدة اثناء عملية اللحام . اذ تزداد مقاومة الشد مع زيادة هذا العامل الى ان تصل الى قيمة محددة ثم تقل مع زيادته وقد بينت التجارب ان قيمة ضـــغط الاحتكـــاك فـــي الملحومات المتشابهة وغير المتشابهة هي (0.8 MPa) و (1.4 MPa) علـــى التـــوالي . الشكل (٥) يوضح ان زيادة ضغط الاحتكاك تؤدي الى زيادة ملحوظة في مقاومة الشد فـــي حالة الملحومات غير المتشابهة.



شكل (٥) العلاقة بين مقاومة الشد وضغط الاحتكاك في اللحام الاحتكاكي

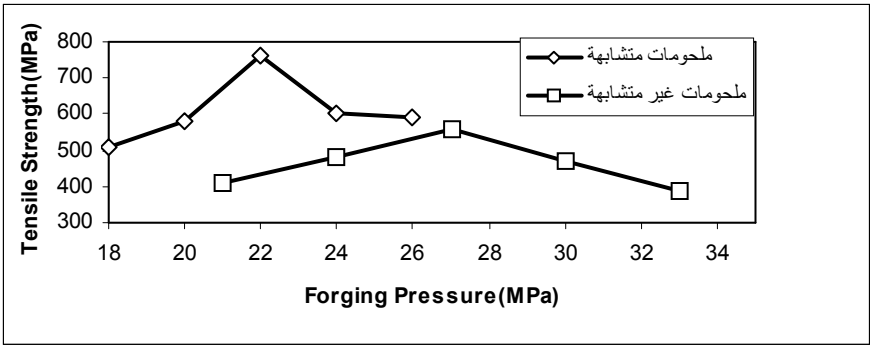
وان سبب هذه الحالة هو ترسب الكاربيدات وتكوين المركب السبيكي (Fe_3W_3C) عند خط اللحام ، الامر الذي يجعل منطقة اللحام اكثر هشاشية ، الشكل (٦) يوضح تكوين المركب السبيكي نتيجة حيود الاشعة عند فحص الملحومات بالاشعة السينية (X-Ray)



شكل (٦) نتائج حيود الاشعة السينية (X-Ray)

ضغط الكبس Forging Pressure

يؤدي زيادة ضغط الكبس الى زيادة نسبة التشكيل في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة وبالتالي صغر حجم الحبيبات التي تسبب زيادة صلادة هذة المناطق لكلا جزئي الوصلة . كما يؤدي زيادة ضغط الكبس الى دفع المركب السبيكي الذي ظهر اثناء عملية اللحام مع المعدن المزاح وكانت النتائج للملحومات المتشابهة وغير المتشابهة هي MPa (2.2 و 2.7 MPa) على التوالي كما يوضح ذلك الشكل (٧) ، والسبب في الزيادة يعود الى ان فولاذ السرع العالية هو اكثر مقاومة للضغط من الفولاذ متوسط الكاربون .



1.8 2.0 2.2 2.4 2.6 2.8 3.0 3.2 3.4

شكل (٧) العلاقة بين مقاومة الشد و ضغط الكبس في اللحام الاحتكاكي

مناقشة اختبارات الشد

ان الظروف المثلى للحام قيمت من خلال سلسلة من اختبارات الشد اذ ان مقاومة الشد للملحومات لاتقل عن 70% من قيمة مقاومة الشد للمعدن الاساس (Base Metal) وكانت النتائج كالاتي :

Similar Material = Joint Strength / Base Metal Strength .

= 763.6 / 829.44

= 92%

وهذا يعني ان قيمة مقاومة الشد للملحومة هي (92%) من قيمة مقاومة الشد للمعدن الاساس(DIN Ck_{45})

Dissimilar Material = Joint Strength / Base Metal Strength

= 560.5 / 801.48

= 70%

وبناءا على ماذكر ، فأن قيمة مقاومة الشد للملحومة 70% من قيمة مقاومة الشد للمعدن الاساس (AISI S6-5-2) . ويعزى سبب ذلك الى تكوين المركب السبيكي في لحام المعادن المختلفة (DIN Ck45 - AISI S6-5-2) .

ان التجارب العملية لاختبار الشد بينت ان منطقة الكسر في لحام المعادن المختلفة هي منطقة الحد الفاصل اما في المعادن المتشابهة فهي المنطقة المتأثرة حرارياً (HAZ) كما ان منطقة اللحام في المعادن المتشابهة فهي ذات مقاومة كسر اعلى من المعدن الاساس لذا يكون الكسر في المنطقة المتأثرة حرارياً .

الاستنتاجات

١. حدوث الكسر في اختبار الشد للملحومات المتشابهة في المنطقة المتأثرة حرارياً (HAZ) ، اما في الملحومات غير المتشابهة فقد حدث الكسر في المنطقة الاكثر هشاشة نتيجة تكوين المركب السبيكي .

٢. ان زمن الاحتكاك ذو تأثير واضح على كمية الحرارة المتولدة نتيجة الاحتكاك ، اذ يسيطر على معدل الانتشار .

٣. تزداد مقاومة الشد مع زيادة زمن الاحتكاك .

٤. ان فولاذ السرع العالية يحتاج الى كمية حرارية اعلى لتكوين المنطقة اللدنة .

٥. ان افضل قيمة لضغط الاحتكاك في الملحومات المتشابهة هي (0.8 MPa) بينما كانت للملحومات غير المتشابهة (1.4 MPa) .

٦. ان نسبة التشكيل في المنطقة المتأثرة حرارياً (HAZ) تعتمد اساساً على زيادة ضغط الكبس .

المصادر

1. M.M.Sch Wartz, *Friction Welding ,* Metal Joining Manual, 1996 .
2. F.D. Duffin , And , A. S. Bahrani , *The Mechanics Of Friction Welding Mild Steel* , Metal Construction Vol.8-No -6-June 1976 .
3. T.J.Jessop,And,E.D.Nicholas,And , W.O. Dinsda , *Friction welding Of dissimilar material*s , The Royal Institute of Technology , Stockholm, Sweden, Report No 84-8 , 2001 .
4. G.R.Dichson , And , A.S.Bahrani , "*Investigation The Friction Welding Of Similar Metals*", Welding Technology Journal- Vol 101 , pp 72-83 , 1982.

٥. د. عبد الرزاق اسماعيل خضر ، د. نوفل محمد حسين ، والسيد احمد علي اكبر ، "*تكنولوجيا اللحام* " ، الجامعة التكنولوجية ، ص ١٣٣ – ١٥٣ ، ١٩٩٣ .

6. E.D.Nicholas , "Friction Welding" , Metal Construction , Vol.9,No.1,1997 .
7. A.S.Bahrani , "Experiments on the Friction Welding of Non-Ferrous Metals", Metal Fabrication , Vol.43, No.5,1975 ,
8. V.I.Vill , "Friction Welding of High Speed Steel R6F2K8M5 TO Steel 45" , Svar.Froiz , No.8 , PP.20-22 , 1970 .
9. Inertia Welding :Simple In Principle And Application , Welding And Metal Fabrication – Vol 47- No .8-October 1979 .
10. K.G.K.Murti, And , S.Sundaresan , Parameter Optimization In Friction Welding Dissimilar Material , Metal Construction – Vol .15-No .6-June 1983.

١١.د. عبد الرزاق اسماعيل خضر و د. عبد الوهاب المشهداني ، الميتالورجيا الميكانيكية ، الجامعة التكنولوجية ، 1994 .

12. Metals Handbook , Volume 4,Heat treatment, 1981 .

المصـــــادر

1. Hobbs, D.W., "Expansion and Shrinkage of Over Sulphated Portland Cements " Cement and Concrete Resarch , Vol 8,pp.221-222. 1978
2. Lerch , W."The Influence of Gypsum on the Hydration and Properties of Portlond Cement Pastes " ASTM Proceeding , Vol .46,1946 ,pp.1252-1292 .
3. Al-Khalaf , M."The Effect of Sulphates in Sand on Concrete ",Al-Muhand i Magazine , serial 49,pp 16-26 ,1973

٤.هشام خالد احمد " تاثير استعمال البوزلانا على مقاومة مونة السمنت والخرسانة لاملاح الكبريتات والجو الحار"اطروحة ماجستير , الجامعة التكنولوجية ، قسم هندسة البناء والانشاءات ، ١٩٨٠ .

٥.مقداد عبد الكريم الزيوري، " تاثير المواد الناعمة واملاح الكبريتات المتواجدة في الرمال علـــى خـــواص الخرسانة " اطروحة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، قسم هندسة البناء والانشاءات، ١٩٨٢ .

6. Al Samarai , M., "The Disintegration of Concrete Containing Sulphate contaninated aggregate " Magazine of Concrete Resoarch , Vol.28, , ,pp.130-146 1976.

٧. سلام حسن توفيق "، تاثير الاملاح الخارجية على الخلطة الخرسانية الحاوية على نسب مختلفة من الكبريتات في الرمل المستعمل ،" اطروحة ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، قسم هندسة البناء والانشاءات ، ١٩٨٣ .

8. Heller and Ben –Yair ."Effect of Sulphate Solution on Normal and Sulphate–Resisting Portland Cement ", Journal of Applied Chemistry , Vol 14,Januray – 1964.

9.Price , C.and peterson , R."Experience with Concrete in Sulphate Environments in western Canada "- Performance of Concrete Resistance of Concrete to Sulphate and other Environmental Conditions Asymposium in Honour of Thorbergur Thorvalson , E.G.Swenson , Technical Editor pp.93-103 1968.

10.Miller,D.G and Manson ,P.W "Test of 106 Commerical Cement for Sulphate Resistance "ASTM Proc. . Vol-40, pp. 988-1006 1990, .

11.Krumbach ,R.,and Seyfarth K.,"Investigation on Durobility of High Reformance Self – Compacting Concrete " http://acpdinwifa.uni-Leipzig.del /Lacer 05,105- pp.47-156 . 2000

١٢.الهام خليل محمد خليل ، " ديمومة الخرسانة عالية الاداء ذاتية الرص المعرضة لمحاليل الكلوريدات والكبريتات " .، اطروحة ماجستير، الجامعة التكنولوجية ، قسم هندسة البناء والانشاءات ، ٢٠٠٥ .

١٣.المواصفة العراقية رقم ٤٥ لسنة " ١٩٨٤" ركام المصادر الطبيعية والمستعملة في الخرسانة والبناء " الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، بغداد ، العراق .

14 .B.S 1984: part 116 " Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes " British Standoed institution , 3pp,1989 .