دراسة تأثير نوع قطب اللحام على مقاومة شد ملحومات الفولاذ السبائكي العالي المقاومة

الباحث: م . باسم محسن عمار

قسم هندسة المواد التطبيقية في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس

الملخص:

أستحدث الفولاذ السبائكي بعد أن أصبح الفولاذ الكاربوني لا يفي بمتطلبات الصناعة الهندسية، فلا يمكن الحصول من الفولاذ الكاربوني على مقاومة شد أعلى من (700MPa)، إذا ما أُريد الاحتفاظ بمتانة ومطيلية مقبولتين في الوقت نفسه. كما انه معرّض لظاهرة تأثير الكتلة (mass effect). إضافة إلى مقاومته الضعيفة للتآكل والتأكسد وغيرها.

ويدخل الفولاذالسبائكي السبائك في صناعة الكثير من أجزاء المعدات الهندسية الثقيلة والقوالب والمعدات الزراعية وغيرها. والتي قد تتعرض للفشل أثناء الخدمة، مما قد يستوجب إعادتها إلى العمل، القيام بتصليحها أو صيانتها بإحدى طرق اللحام المتوفرة. وتتحدد قابلية لحام الفولاذ من خلال تحسسه للتشققات، والتي يمكن الحد منها بعدة طرق غالبا ما تكون مكلفة وصعبة التطبيق، بل قد يتعذر تطبيقها أحياناً. ولعل التحكم باختيار نوع قطب اللحام المستخدم، هي من أسهل الطرق تطبيقاً وأقلها كلفة.

وقد تم لحام الفولاذالسبائكي السبائك العالي المقاومة بطريقة القوس المعدني اليدوي (MMA)، باستخدام مجموعة من أقطاب اللحام المتفاوتة في تركيبها الكيمياوي وفي أسعارها أيضاً، واختبار تأثيرها على مقاومة الشد.

وقد بينت النتائج ارتفاع قيمة مقاومة الشد وكفاءة وصلة اللحام، عند استخدام أقطاب اللحام المحتوية أغلفتها على نسبة عالية من مسحوق الحديد والمنخفض الهيدروجين. حيث بلغت مقاومة الشد (484MPa) وكفاءة وصلة اللحام (56.9%)، عند استخدام قطب اللحام (OK 48.04). وارتفعت مقاومة الشد إلى (720MPa) وكفاءة وصلة اللحام إلى (84.7%)، عند استخدام القطب (OK 76.18). كما بلغت كفاءة وصلة اللحام عند استخدام القطب (OK 63.34) (72%). في حين لم تتجاوز (24.2%) عند استخدام قطب اللحام الأرخص ثمناً (OK 46.00)، و (38.1%) عند استخدام القطب الأغلى ثمناً (OK 92.18).

Abstract

Alloy steel is used today instead of carbon steel for achieving of engineering industries requirements. Where in carbon steel, a tensile strength higher than (700MPa) with a suitable toughness and ductility, can't be obtained. It is also susceptible to "mass effect". In addition to its low resistance to corrosion and oxidation …etc.

Low alloy steel is employed in fabrication many parts of heavy engineering industries, dies, agricultural equipment and so on, which may fail during service. Hence, they may need to repair with one of the available welding processes.

Weldability of steel relates to sensitivity to cracks, which can be prevented by much care and special procedure that often is cost and difficult in application. Even it may sometimes inapplicable. Perhaps, the suitable electrode choice for welding is the easiest application and the lowest costs.

The manual metal arc welding of low alloy high strength steel was done using some of electrodes which are different in their chemical composition and price. As well as test their effects on tensile strengths.

Results showed that the tensile strength and the weld joint efficiency increased when iron powder low hydrogen covering electrodes were used. The tensile strength was (484MPa) and the weld joint efficiency was (56.9%), when (OK 48.04) electrode was used. Also, the tensile strength increased to (720MPa) and the weld joint efficiency to (84.7%), when (OK 76.18) electrode was used. And the efficiency of weld joint when (OK 63.34) electrode was used, reached to (72%), whereas it didn’t exceed (24.2%) when using the cheapest electrode (OK 46.00), and (38.1%) when using the most expensive electrode (OK 92.18).

مقدمة

تضاف عادة العديد من العناصر السبائكية إلى الفولاذ، وبنسب متباينة، كالكروم والنيكل والفناديوم والمولبدنيوم والتنكستن والكوبلت. كما تضاف عناصر المنغنيز والسليكون والفسفور والكبريت بنسب أكبر مما هي عليه في الفولاذ الكاربوني. وذلك لزيادة المقاومة الميكانيكية والحرارية، ومقاومة التآكل، وتحسين قابلية الاصلاد وقابلية التشغيل والمطيلية ...الخ [Khanna,1980] .

ويكون الفولاذالسبائكي السبائك العالي المقاومة أقوى من الفولاذ الكاربوني، إلا انه أكثر كلفة بقليل. ولهذا النوع من الفولاذ تطبيقات كثيرة جداً، فهو يدخل في صناعة التروس (gears) وأعمدة الدوران (spindles) والقضبان الرابطة (connecting rods) والأعمدة المرفقية (crankshafts) ومحاور العجلات (axles). ويدخل في صناعة النوابض (springs) والمحامل (bearings) والدرافيل (rollers). وفي صناعة القوالب (dies) والكثير من أجزاء المعدات الزراعية [Khanna,1980;Bailey,1985].

وقد تتعرض هذه الأجزاء إلى الفشل أثناء الخدمة، مما قد يتطلب إعادتها إلى العمل، القيام بتصليحها أو صيانتها بإحدى طرق اللحام المتوفرة.

وتعتمد قابلية لحام (weldability) الفولاذ السبائكي على التركيب الكيمياوي (نسبة الكاربون والعناصر السبائكية) وقابلية الاصلاد (hardenability). فمع زيادة نسبة الكاربون والعناصر السبائكية، تزداد قابلية الاصلاد، وتزداد صعوبة لحام هذا الفولاذ، فتزداد الحاجة إلى العناية والحذر، والى استعمال أساليب خاصة للحامه، وذلك لتجنب حدوث تشققات اللحام (بنوعيها الساخنة والباردة) في منطقة اللحام والمنطقة المتأثرة بحرارة اللحام (HAZ)، والتي تعتبر أكثر عيوب اللحام أهمية وخطورة، حيث تتحدد قابلية لحام الفولاذ من خلال تحسسه لهذه التشققات
[Khanna,1980;Lancaster,1987;Stuart,1997].

ويمكن منع أو تلافي حدوث تشققات اللحام بعدة طرق، كالتسخين الأولي (preheating) والتسخين اللاحق (postheating) وإجراء طريقة التزبيد (buttering) والتحكم بمعدل التبريد (cooling rate) من خلال التحكم بحجم خرزة اللحام أو حوض اللحام وغيرها. ويعتبر في استخدام هذه الطرق خسارة بالوقت والجهد والمال، علاوة على

صعوبة تطبيقها. بل قد يتعذر تطبيقها أحيانا، حسب حجم الملحومة وشكلها ووضع اللحام (welding position)
[WTC,1983;Davies,1989;Marcheako,1983;Sacks,1981].

ويمكن الحد من تشققات اللحام أو التقليل منها بسهولة، وبكلف اقل بكثير، عن طريق اختيار نوع قطب اللحام الملائم. وتوجد العشرات من أنواع أقطاب اللحام المصنعة خصيصاً للحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة، والمتفاوتة في التركيب الكيمياوي لسلك اللحام وغلاف القطب، وفي أسعارها، تفاوتاً كبيراً. لذا تصبح دراستها واختيار المناسب منها، حسب نوع المعدن وسمكه ووضع اللحام وتيار اللحام المتوفر، أمراً ضرورياً [ESAB,2007;ESAB,2001;Oerlikon,2002;Stuart,1997].

فيمكن لحام المقاطع بسمك (6mm) أو اقل باستخدام قطب لحام مصنوع من الفولاذ الطري
(mild steel) والحصول على مقاومة لوصلة اللحام مقاربة لمقاومة المعدن الأساس (base metal). والسبائك ذات المقاومة الأعلى تحتاج إلى معادن مالئة بخواص ميكانيكية مماثلة للمعدن الأساس. كما يمكن التقليل من حدوث التشققات الباردة عند لحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة، باستعمال أقطاب منخفضة الهيدروجين (المصنوعة من الفولاذ الطري أو السبائكي) ومعدلات تبريد منخفضة [Khanna,1980].

يهدف البحث إلى دراسة تأثير استخدام مجموعة من أقطاب اللحام المتفاوتة في تركيبها الكيمياوي وأسعارها، على مقاومة شد ملحومات من الفولاذ السبائكي العالي المقاومة. خاصة وان اختبار الشد يعتبر أهم اختبارات اللحام الاتلافية على الإطلاق. فعلاوة على مقاومة الشد، يمكن من خلاله معرفة مقاومة خضوع ومعامل مرونة ومتانة الملحومات.

الجزء العملي

1. المعدن الأساس

يبين الجدول (1) التركيب الكيمياوي للمعدن الأساس، حسب المواصفات الروسية (GOST)، المعتمدة في الشركة العامة للصناعات الميكانيكية / الإسكندرية، موقع تنفيذ البحث [(MH),1978;(MIR),1968].

الجدول (1) التركيب الكيمياوي للمعدن الأساس

المعدن الأساس	رمز المواصفة	شكل وأبعاد مقطع المادة الخام الأولية (ملدّنة)(mm)	التركيب الكيمياوي					
			Mo%	Ni%	Cr%	Si%	Mn%	C%
صلب واطئ السبائك عالي المقاومة	40XHM	صفيحة معدنية (20*100)	0.15-0.25	1.25-1.75	0.6-0.9	0.15-0.3	0.5-0.8	0.36-0.44

2. أقطاب اللحام

يبين الجدول (2) أقطاب اللحام المستخدمة كمعدن مالئ، وبعض خواصها، حسب المواصفات السويدية (OK) [ESAB,2007;ESAB,2001;Oerlikon,2002].

الجدول (2) مواصفات أقطاب اللحام المستخدمة

قطب اللحام	مقاومة شد معدن اللحام (MPa)	نوع الغلاف	نوع معدن السلك
OK 46.00	510	تيتانيا - بوتاسيوم	صلب طري
OK 48.04	560	مسحوق الحديد – منخفض الهيدروجين	صلب طري
OK 76.18	620	مسحوق الحديد – منخفض الهيدروجين	صلب واطئ السبائك 1.3%Cr, 0.5%Mo
OK 63.34	600	----	صلب مقاوم للصدأ اوستنايتي 19%Cr, 12%Ni, 2.8%Mo
OK 92.18	300 عند لحام حديد الزهر	----	نيكل

3. لحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة

يبين الجدول (3) لحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة (الجدول 1) بالقوس الكهربائي المعدني اليدوي (MMA) باستخدام أقطاب لحام مختلفة (الجدول 2)، مع بعض متغيرات اللحام.

الجدول (3) لحام الفولاذالسبائكي السبائك العالي المقاومة مع بعض متغيرات اللحام

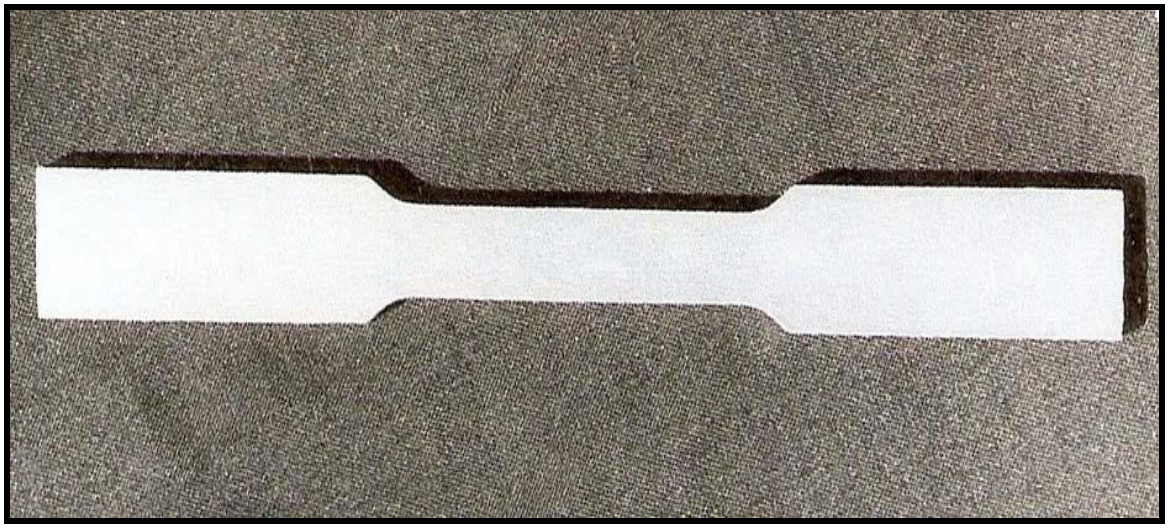
اللحام باستخدام القطب	OK 46.00	OK 48.04	OK 76.18	OK 63.34	OK 92.18
درجة حرارة وزمن إعادة تجفيف الأقطاب (hr)C°	110 (1)	350 (2)	350 (2)	300 (2)	300 (2)
مقدار تيار اللحام(A)	125	140	130	130	120
حجم قطب اللحام (القطر) (mm)	3.2				
نوع تيار اللحام	DCRP				

وقد تم أخذ الأمور التالية بنظر الاعتبار:

1. إزالة الصدأ من سطوح القطع المراد لحامها، وتنظيفها من الزيوت والدهون وزوائد التشغيل والشوائب الأخرى.
2. ضبط المسافة بين القطعتين المراد لحامهما بالقياس المطلوب (3.2mm).
3. ضبط قيمة تيار اللحام، حسب نوع القطب المستعمل وحجمه ووضع اللحام (الجدول 3)، وهو ضمن المدى الموصى به من قبل الشركات المصنعة لهذه الأقطاب.
4. ربط القطعتين المراد لحامهما من نهايتي وصلة اللحام، بنقاط لحام صغيرة، وبنفس نوع القطب المستعمل في اللحام. ثم إزالة الخبث الناتج عن هذه العملية.
5. لحام إحدى جهتي الوصلة وإزالة الخبث الناتج، ثم الجهة الأخرى بنفس الطريقة.

4. اختبار الشد

تم تصنيع ثلاث عينات شد من كل ملحومة، إضافة إلى ثلاث عينات من المعدن الأساس، حسب المواصفات الأميركية للاختبارات (ASTM) [ASTM,1989]. ليكون مجموع العينات (18) عينة. والشكل (1) يبين إحدى هذه العينات، والتي تم اختبارها باستخدام جهاز اختبار الشد (موديل YMM20) في الشركة العامة للصناعات الميكانيكية / الإسكندرية. وأخذ معدل نتائج اختبار العينات الثلاث لكل ملحومة، ليمثل مقاومة شد تلك الملحومة.



الشكل (1) إحدى عينات اختبار الشد

النتائج والمناقشة

تم اختيار هذا النوع من الفولاذ، كونه احد أصعب أنواع الفولاذ السبائكي العالي المقاومة لحاماً، وذلك لارتفاع قابلية اصلاده، نتيجة لارتفاع نسب الكاربون والعناصر السبائكية فيه نسبياً [Khanna,1980;Lancaster,1987]. والجدول (4) يبين نتائج اختبار الشد لملحومات هذا الفولاذ.

الجدول (4) نتائج اختبار الشد

اللحام باستخدام القطب	OK 46.00	OK 48.04	OK 76.18	OK 63.34	OK 92.18
مقاومة الشد (MPa)	206	484	720	612	324

وكان الكسر في جميع عينات الاختبار في منطقة اللحام، لذا فقيم مقاومة الشد في الجدول (4) تمثل قيم مقاومة شد معدن اللحام في هذه الملحومات. أما نتيجة اختبار الشد لعينات المعدن الأساس فكانت (850MPa).

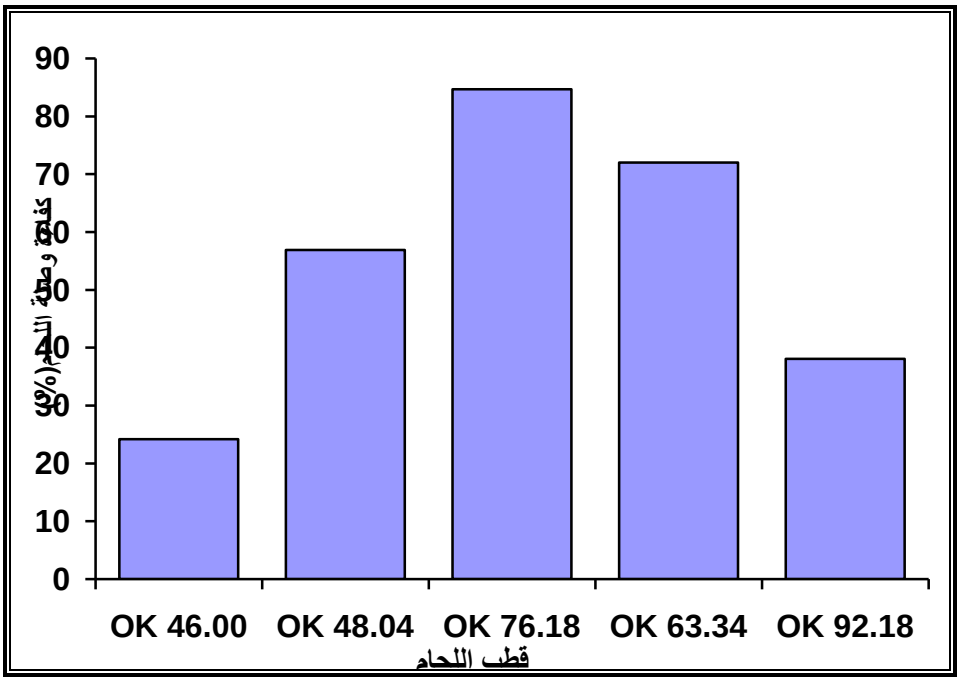
وبهذا يمكن حساب كفاءة وصلة اللحام لكل ملحومة من العلاقة التالية [Khanna,1980].

$$\text{كفاءة وصلة اللحام (\%)} = \frac{\text{مقاومة شد معدن اللحام}}{\text{مقاومة شد المعدن الأساس}} \times 100$$

والجدول (5) والشكل (2) يبينان كفاءة وصلة اللحام لكل ملحومة

الجدول (5) كفاءة وصلة اللحام لكل ملحومة

اللحام باستخدام القطب	OK 46.00	OK 48.04	OK 76.18	OK 63.34	OK 92.18
كفاءة وصلة اللحام (%)	24.2	56.9	84.7	72	38.1



الشكل (2) كفاءة وصلة اللحام لكل ملحومة

ويتضح من الجدول (4) ان مقاومة شد الملحومة الناتجة عن لحام الفولاذالسبائكي السبائك العالي المقاومة باستخدام قطب اللحام (OK46.00)، والتي تمثل مقاومة الشد الفعلية لمعدن اللحام، كانت (206MPa)، وهي أدنى من مقاومة شد معدن اللحام عند استخدام هذا القطب، والتي تبلغ (510MPa) (الجدول 2). كما يبين الجدول (5) والشكل (2) ان كفاءة وصلة اللحام لهذه الملحومة منخفضة ايضاً (24.2%). ويعود السبب في ذلك، إلى ان قطب اللحام (OK46.00) مصنّع خصيصاً للحام الفولاذ الطري، وليس للحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة، كونه قطب سليلوزي (عالي الهيدروجين)، مما يعرض ملحومات الفولاذ القابل للاصلاد إلى تشققات اللحام بنوعيها الساخنة والباردة، فيخفض بذلك من مقاومة شد الملحومات. إضافة الى تسببه في المسامية كونه عالي الهيدروجين [ESAB,2007;Stuart,1997;Gray,1982].

وقد تم استخدامه في البحث للمقارنة، كونه أرخص أقطاب اللحام ثمناً، وأكثرها شيوعاً وانتشاراً، لاحتواء غلافه على نسبة عالية من التيتانيا والبوتاسيوم (الجول 2)، وهي من المواد التي تتأين بسهولة عندما تسخن بحرارة القوس الكهربائي، فتعمل على استقرارية القوس أثناء اللحام وسهولة إشعاله [ASM,1971].

ويتضح من الجدول (4) كذلك، ان مقاومة شد الملحومة الناتجة عن استخدام قطب اللحام (OK 48.04) كانت (484MPa)، وهي أدنى بقليل من مقاومة شد معدن اللحام عند استخدام هذا القطب، والتي تبلغ (560MPa) (الجدول 2). كما ان كفاءة وصلة اللحام لم تتجاوز (56.9%) (الجدول5)، وذلك لان سلك قطب اللحام هو من الفولاذ الطري وليس من الفولاذ العالي المقاومة (الجدول 2). أما الارتفاع النسبي في قيمة مقاومة الشد، فكان بسبب احتواء غلاف القطب على نسبة عالية من مسحوق الحديد ومنخفض الهيدروجين ايضاً (الجدول 2). وهذه النسبة العالية من مسحوق الحديد (والتي قد تصل إلى 40%)، تزيد من معدلات الترسيب (deposition rates)، وتقلل من نسبة التخفيف (dilution ratio)، مما يجنب الملحومة التشققات الساخنة. إضافة إلى كونه منخفض الهيدروجين، مما يمنع حدوث التشققات الباردة، وكذلك المسامية في معدن اللحام.

كما ان معدن اللحام الناتج عن استخدام هذا القطب، يحتوي على ما يقارب (1.1%Mn)، والتي من شأنها ايضاً زيادة مقاومة معدن اللحام [Sacks,1981;Stuart,1997;Gray,1982;ESAB,2007].

أما عند استخدام قطب اللحام (OK 76.18)، فيتضح من خلال الجدول (4) ان مقاومة شد الملحومة قد ارتفعت قيمتها إلى (720MPa)، وهي أعلى من مقاومة شد معدن اللحام عند استخدام هذا القطب، والبالغة (620MPa) (الجدول 2). كما يوضح الجدول (5) والشكل (2) ارتفاع كفاءة وصلة اللحام أيضاً إلى (84.7%). ويعود السبب في ذلك إلى احتواء غلاف هذا القطب (المخصص للحام الفولاذالسبائكي السبائك) على نسبة عالية من مسحوق الحديد ومنخفض الهيدروجين (الجدول 2)، والتي من شأنها ان تحد من تشققات اللحام بنوعيها الساخنة والباردة، والمسامية كذلك (كما هو مذكور أعلاه).

بالإضافة إلى ان معدن اللحام الناتج عن استخدام هذا القطب يحتوي على (1.3%Cr, 0.5%Mo) (الجدول 2). وهذه العناصر السبائكية (كما هو معروف) تزيد من مقاومة شد معدن اللحام [ESAB,2007;Bailey,1985].

وعند استخدام قطب اللحام (OK 63.34)، المخصص للحام الفولاذ المقاوم للصدأ، كانت مقاومة الشد (612MPa)، وهي أعلى بقليل من مقاومة شد معدن اللحام (600MPa) (الجدول 2). وهذه المقاومة العالية نسبياً، كانت لان هذا القطب مصنوع من الفولاذ المقاوم للصدأ الاوستنايتي (الجدول 2). والاوستنايت بنية مطيلية، تزيد من مطيلية معدن اللحام وتقلل هشاشيته، فتحد بذلك من التشققات في معدن اللحام [ESAB,2007;ASM,1975].

أما قطب اللحام (OK 92.18)، فهو قطب نيكلي (سلك القطب من النيكل الخالص)، مخصص للحام حديد الزهر (الجدول 2)، وتصليح الأجزاء المكسورة منه، وربط الأجزاء المصنوعة من الفولاذ أو النحاس أو النيكل مع المسبوكات. ومعدن اللحام الناتج عن استخدام هذا القطب يحتوي (Ni≥94%) [ESAB,2007;Oerlikon,2002]. مما يزيد من مطيلية معدن اللحام ويقلل هشاشيته إلى حد كبير، فيعمل بذلك على تلافي حصول التشققات في حديد الزهر.

أما عند استخدام هذا القطب في لحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة، فكانت مقاومة الشد (324MPa) (الجدول 4)، وكفاءة وصلة اللحام (38.1%) (الجدول 5). ويعود السبب في هذه النتائج المنخفضة نسبياً، إلى ان زيادة نسبة النيكل بهذا المقدار، يزيد من مطيلية معدن اللحام إلى حد كبير جداً، مما يؤدي إلى انخفاض مقاومة خضوع ومقاومة شد معدن اللحام. وقد اتضح ذلك في منطقة الكسر، حيث حصلت استطالة كبيرة جداً في منطقة اللحام قبل حدوث الكسر.

ومن الجدير بالذكر، ان أسعار أقطاب اللحام المستعملة في البحث تتزايد ابتداءً من قطب اللحام (OK 46.00) وصولاً إلى القطب الأغلى ثمناً (OK 92.18).

الاستنتاجات

1. قطب اللحام السليلوزي (العالي الهيدروجين) الشائع الاستخدام الرخيص الثمن (OK 46.00)، غير ملائم للحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة.
2. تزداد مقاومة شد معدن اللحام عند استخدام أقطاب اللحام المحتوية أغلفتها نسبة عالية من مسحوق الحديد والمنخفض الهيدروجين كالقطب (OK 48.04) والقطب (OK 76.18).
3. أعلى مقاومة شد من بين الأقطاب المستخدمة في البحث، كانت عند استخدام قطب اللحام المخصص للحام الفولاذ السبائكي (OK 76.18).
4. القطب النيكلي الباهض الثمن (OK 92.18)، غير ملائم للحام الفولاذ السبائكي العالي المقاومة.

المصادر

"Metallurgy Handbook"(MH), Prom Import Raw Material, USSR, 1978.

(MIR) Publishers, "Metallurgists Handbook" , Moscow, 2nd ed. 1968.

ASM, Metals Handbook, (1971). "Welding and Brazing", 8th ed.

ASM, Metals Handbook, (1975). "Failure Analysis and Prevention" , 18th ed.

ASTM, (1989.). "Metals Test Method and Analytical Procedures" , vol . 03.01,

Bailey, F.W.J. (1985). "Fundamentals of Engineering Metallurgy and Materials", 1985.

Davies, A. (1989). "Science and Practice of Welding" .

ESAB, (2001). "Welding Handbook Consumables for Manual and Automatic Welding", Sweden, 6th ed.

ESAB, (2007). "Product Catalogue" , Sweden.

Gray, T. G. F. (1982). "Rational Welding Design".

Khanna, O.P. (1980) . "Welding Technology": A text Book for Engineering Students, Dhanpat Rai and Sons.

Lancaster, J. (1987). "Metallurgy of Welding".

Marcheako, A. (1983). "Metallurgical Processes in Arc Welding".

Oerlikon, (2002). "Handbook of Welding Consumables" , COBISA GmbH Germany,.

Sacks, R. (1981). "Welding: Principles and Practices".

Stuart, W. G. (1997). "Advanced Welding".

Welding Training Centre (WTC), (1983). "Metallurgical Processes of Arc Welding".