الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة التصميم الميكانيكي

تأثير نظام لحام الصهر بالقوس الكهربائي في البنية المكروية والخواص الميكانيكية للوصلات المعدنية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في "علم المواد وهندستها"

إعداد المهندسة

نادين يزبك

المشرف العلمي
أ.د.م محمد علي سلامة
أستاذ في قسم هندسة التصميم الميكانيكي بجامعة دمشق

المشرف المشارك
أ.د.م أحمد الرصيص
مدير بحوث في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

2022-2021

الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة التصميم الميكانيكي

السيد الأستاذ الدكتور عميد كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

بناء على قرار مجلي البحث العلمي والدراسات العليا في جامعة دمشق رقم /1147/ المتخذ بالجلسة رقم /6/ تاريخ 2021/12/6 المتضمن الموافقة على تشكيل لجنة الحكم والمناقشة على رسالة الماجستير للطالبة المهندسة نادين نبيل يزبك باختصاص علم المواد وهندستها في قسم هندسة التصميم الميكانيكي في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق، بعنوان:

تأثير نظام لحام الصهر بالقوس الكهربائي في البنية المكروية والخواص الميكانيكية للوصلات المعدنية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة

بإشراف الأستاذ الدكتور محمد علي سلامة مشرفاً أساسياً والأستاذ الدكتور أحمد الرصيص مشرفاً مشاركاً.

نفيدكم علماً بأن الأطروحة بشكلها الحالي قد استوفت التعديلات التي أشارت إليها لجنة الحكم وتم تصحيح الأخطاء العلمية واللغوية، وتعد الأطروحة جاهزة للطباعة بشكلها النهائي.

يرجى التكرم والاطلاع

د.م. وسيم ديب **أ.م.د. حسن هدله** **أ.د. محمد علي سلامة**

رئيس قسم هندسة التصميم الميكانيكي

أ.د. خالد شرف

شكر وتقدير

إلى معلمي الفاضل الدكتور المهندس محمد علي سلامة كل الشكر والتقدير. بدعمك ومحبتك الأبوية استطعت أن أصل إلى الختام وأنا كلي فخر بما تم انجازه.

إلى عائلتي نبض قلبي، كلماتي لن تفِ فأنتم الداعم الأكبر لكل خطواتي. لكم مني كل الحب والشكر والتبجيل.

لا تخلو حياة المرء من أجمل الأصدقاء وأوفاهم، هم من يجعلون المرارة حلاوة ويدفعون بهمتي نحو الأمام دائماً. لكم مني كل الحب والتقدير.

إلى أولئك الذين لم يتوانوا عن تقديم المساعدة أو الدعم، شكراً جزيلاً.

إلى الدكتور المشرف المشارك أحمد الرصيص كل الشكر والتقدير.

الشكر الكبير لكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية وأخص بالذكر قسم هندسة التصميم الميكانيكي.

الفهرس

قرار لجنة الحكم وتواقيع لجنة المناقشة 1
شكر وتقدير II
الفهرس III
قائمة الجداول VI
قائمة الأشكال VII
قائمة المصطلحات IX
الملخص XI
الفصل الأول: الإطار العام للبحث 1
1-1 مقدمة 2
2-1 المشكلة العلمية ومسوغات البحث 2
3-1 فرضيات البحث 3
4-1 أهمية البحث 3
5-1 أهداف البحث 3
6-1 حدود البحث 3
7-1 المنهج المتبع في البحث 4
8-1 النتائج التطبيقية المتوقعة من البحث والجهات المستفيدة منها 4
9-1 الدراسات المرجعية 5
1-9-1 النتائج الأساسية للدراسات السابقة 10
الفصل الثاني: الخلائط الفولاذية وأساسيات اللحام 12
1-2 تصنيف الخلائط الفولاذية 13
1-1-2 الفولاذ الكربوني 13
2-1-2 الفولاذ السبائكي 13
2-2 تعريف اللحام وأنواعه 14
1-2-2 الوصلات اللحامية 16
2-2-2 قابلية الفولاذ للحام 16
3-2-2 عيوب اللحام 17
4-2-2 اختبارات اللحام 19
الفصل الثالث: اللحام بالقوس الكهربائي 23
1-3 القوس الكهربائي 24
2-3 أساليب اللحام بالقوس الكهربائي 24
3-3 عناصر نظام اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي وطرائق حسابها 26

3-4 ميتالوروجيا اللحام 27
3-4-1 منطقة الدرزة اللحامية والمناطق المجاورة لها 28
3-4-2 ميتالوروجيا المعادن متباينة التركيب الكيميائي 31
3-4-3 مخطط شيفلر 31
الفصل الرابع: الإجراء العملي 34
4-1 مقدمة 35
4-2 التركيب الكيميائي للمعادن المستخدمة 35
4-3 الخواص الميكانيكية للمعادن المستخدمة 36
4-4 الآلات والأجهزة والمحاليل المستخدمة في البحث 37
4-4-1 آلة القص بالبلازما 37
4-4-2 آلة اللحام الكهربائي ذات المحرك 38
4-4-3 منشار القص الكهربائي 39
4-4-4 آلة التفريز CNC 39
4-4-5 آلة التجليخ 39
4-4-6 آلة الصقل والتلميع 40
4-4-7 جهاز التحليل الطيفي 41
4-4-8 أحماض التنميش 41
4-4-9 المجهر الضوئي 42
4-4-10 جهاز قياس القساوة الماكروية 42
4-4-11 آلة اختبار الشد الستاتيكي 43
4-5 المتغيرات المدروسة 44
4-6 خطوات إجراء البحث 45
4-6-1 تحضير العينات قبل عملية اللحام 45
4-6-2 لحام العينات 46
4-6-3 البنية المكروية والاختبارات الميكانيكية على الوصلات اللحامية 51
4-6-4 البنية المكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية 53
4-6-5 القساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية 54
4-6-6 اختبار الشد للعينات الملحومة 56
الفصل الخامس: مناقشة النتائج والتوصيات 58
5-1 مناقشة النتائج 59
5-2 الاستنتاجات 73
5-3 التوصيات 75

المراجع 76
ملاحق البحث 79
الملحق 1 القيم التقريبية للقساوة المستنتجة بطريقة روكويل وبرينيل وفيكرز 79
Abstract 81

قائمة الجداول

الجدول 1-1: المعادن الملحومة معاً 21
الجدول 1-2: بارامترات اللحام المطبقة 23
الجدول 1-3: بارامترات اللحام للعينات المختبرة 24
الجدول 1-4: بارامترات اللحام 26
الجدول 1-5: نتائج اختبار الشد 27
الجدول 1-6: قيم بارامترات اللحام 27
الجدول 3-1: اختيار قطر الإلكترود 48
الجدول 3-2: تعيين العامل 'k تبعاً لقطر الإلكترود 49
الجدول 4-1: ثخانات الصفائح المعدنية المستخدمة 59
الجدول 4-2: التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ الكربوني St52-3 60
الجدول 4-3: الكيميائي لعينات الفولاذ الكربوني St37-2 60
الجدول 4-4: التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ 304 60
الجدول 4-5: التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ 316L 60
الجدول 4-6: متانة الشد للمعادن المدروسة 61
الجدول 4-7: الخواص الميكانيكية للمعادن المدروسة 62
الجدول 4-8: مواصفات آلة اللحام بالقوس الكهربائي 63
الجدول 4-9: ثخانات الصفائح الملحومة معاً ووضعيات لحامها 69
الجدول 4-10: بارامترات اللحام المستخدمة 70
الجدول 4-11: سرعة اللحام والطاقة الطولية للعينات المدروسة 78
الجدول 5-1: مكافئ النيكل ومكافئ الكروم للمعادن الملحومة معاً في العينتين E1 ، E2 90
الجدول 5-2: قيم القساوة للعينات الملحومة 97
الجدول 5-3: نتائج اختبار الشد للعينات المختبرة وفق المواصفة API 1104 102
الجدول 5-4: نتائج اختبار الشد للعينات المختبرة وفق المواصفة ASME Sec IX 102
الجدول 5-5: مقارنة متانة الشد بالإجهاد الأعظم للمعدن المتحطم 103

قائمة الأشكال

الشكل 1-1: منطقة حدوث الشق بين أكواع الفولاذ المقاوم للصدأ وأنابيب الفولاذ الكربوني 23
الشكل 1-2: اللحام النقطي للفولاذ منخفض الكربون والفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ 302 24
الشكل 1-3: قضبان AISI-1035 وAISI 304 ، (a)قبل اللحام و (b)بعد اللحام بتيار KA3 25
الشكل 1-4: وصلة لحامية لصفيحة من AISI409 وAISI316L 26
الشكل 2-1: تصنيف أنواع اللحام 34
الشكل 2-2: أنواع وصلات اللحام 35
الشكل 2-3: بعض العيوب الناتجة عن اللحام a) :المسامية، b)المتضمنات الخبثية، c)الشقوق 37
الشكل 2-4: الفرق بين a)نقص الانصهار و b)نقص الاختراق 38
الشكل 2-5: النحر 38
الشكل 2-6: عينة شد a) ذات مقطع دائري، b)ذات مقطع مستطيل وفق المواصفة العالمية ASME SEC IX 40
الشكل 2-7: طريقة السوائل النفوذة 42
الشكل 2-8: الفحص بالجزيئات المغناطيسية 42
الشكل 2-9: التصوير الشعاعي للملحومات 43
الشكل 3-1: : دارة اللحام بالقوس الكهربائي 45
الشكل 3-2: نوع التيار الكهربائي وقطبيته 46
الشكل 3-3: اللحام باستخدام a) :إلكترود ينصهر، b)إلكترود من التنغستين ومعدن ملء 47
الشكل 3-4 : مناطق الدرزة اللحامية والمناطق المجاورة لها 51
الشكل 3-5: نسبة المزج 52
الشكل 3-6: تغير البنية المكروية لمختلف المناطق في الوصلة اللحامية 54
الشكل 3-7: مخطط شيفلر 56
الشكل 3-8: مخطط شيفلر المعدل 57
الشكل 4-1: عينات الشد المحضرة وفق المواصفةASME SEC IX 61
الشكل 4-2: العينات المختبرة وفق المواصفةASME Sec IX 61
الشكل 4-3: آلة القص بالبلازما 62
الشكل 4-4: آلة اللحام بالقوس الكهربائي 63
الشكل 4-5: منشار القص الكهربائي 64
الشكل 4-6: آلة التفريز المبرمجة CNC 64
الشكل 4-7: آلة التجليخ 65
الشكل 4-8: آلة الصقل والتلميع 66
الشكل 4-9: جهاز التجليل الطيفي 66
الشكل 4-10: a) :مزيج أحماض (حمض كلور الماء، حمض الآزوت، ماء مقطر)، b)حمض الآزوت الممدد مع الكحول 67
الشكل 4-11: مجهران ضوئيان من شركة OLYMPUS 67
الشكل 4-12: جهاز قياس القساوة الماكروية (AFFRI) 68
الشكل 4-13: آلة الشد الستاتيكي نوع (TesT 114) 69
الشكل 4-14: a) :شنفرة الحواف، b)التنظيف بالمبرد 71
الشكل 4-15: تجهيز العينات وشنفرتها قبل اللحام 72
الشكل 4-16: وضعية العينة أثناء اللحام 73
الشكل 4-17: خلوص متناقص بين طرفي الوصلة 74
الشكل 4-18: شنفرة الجذر للعينة C 75

الشكل 4-19: العينة A بعد اللحام 75
الشكل 4-20: العينة B بعد اللحام 76
الشكل 4-21: العينة C بعد اللحام على الوجهين 76
الشكل 4-22: العيناتD1،D2، D3 بعد اللحام 76
الشكل 4-23: العينتين E1،E2 بعد اللحام 77
الشكل 4-24: تنظيف العينات بعد اللحام 79
الشكل 4-25: قص العينات 80
الشكل 4-26: العينات الملحومة بعد عملية القص 80
الشكل 4-27: تنعيم سطوح القص 81
الشكل 4-28: تنميش عينات الفولاذ a) الكربوني، b)المقاوم للصدأ 82
الشكل 4-29: العدسة X10 على المجهر الأول والعدسة X20 على المجهر الثاني 82
الشكل 4-30: الرأس المخروطي لجهاز قياس القساوة 83
الشكل 4-31: نقاط القساوة المأخوذة على العينات الملحومة 84
الشكل 4-32: عينة الشد وفق المواصفة ASME Sec IX 85
الشكل 4-33: عينة الشد وفق المواصفة API 1104 85
الشكل 4-34: عينات الشد المحضرة وفق المواصفة ASME SEC IX 86
الشكل 4-35: عينات الشد المحضرة وفق المواصفة API 1104 86
الشكل 5-1: مخطط شيفلر للعينة E1 91
الشكل 5-2: مخطط شيفلر للعينة E2 91
الشكل 5-3: البنية المكروية للعينة A بتكبير X100, X200 93
الشكل 5-4: البنية المكروية للعينة B بتكبير X100, X200 93
الشكل 5-5: البنية المكروية للعينة C بتكبير X100, X200 94
الشكل 5-6: البنية المكروية للعينة D1 بتكبير X100, X200 94
الشكل 5-7: البنية المكروية للعينة D2 بتكبير X100, X200 95
الشكل 5-8: البنية المكروية للعينة D3 بتكبير X100, X200 95
الشكل 5-9: البنية المكروية للعينة E1 بتكبير X100, X200 96
الشكل 5-10: البنية المكروية للعينة E2 بتكبير X100, X200 96
الشكل 5-11: نقاط القساوة المأخوذة على العينات الملحومة 98
الشكل 5-12: بعض قيم القساوة موضحة على شاشة جهاز القساوة 99
الشكل 5-13: عينات الشد بعد التحميل 100
الشكل 5-14: العينات المختبرة وفق المواصفة API 1104 100
الشكل 5-15: العينات المختبرة وفق المواصفة ASME Sec IX 101
الشكل 5-16: مخطط (الإجهاد- الانفعال) للعينة D1 104
الشكل 5-17: مخطط (الإجهاد- الانفعال) للعينة E1 104
الشكل 5-18: مخطط (الإجهاد- الانفعال) للعينة E2 105

قائمة المصطلحات

المصطلحات بالانجليزية	المصطلحات بالعربية
Weld	لحام
Fusion	صهر
Arc Welding	اللحام بالقوس كهربائي
Micro- Structure	بنية مكروية
Mechanical Properties	خواص ميكانيكية
Metallic Joint	وصلة معدنية
Welding Joint	وصلة لحامية
Varied in Mechanical Composition	متباينة التركيب الكيميائي
Varied in Thickness	متباينة الثخانة
Carbon Steel	الفولاذ الكربوني
Low Carbon Steel	الفولاذ منخفض الكربون
Alloy Steel	الفولاذ السبائكي
Stainless Steel	الفولاذ المقاوم للصدأ
Tensile Test	اختبار الشد
Yield Load	حمل الخضوع
Yield Stress	إجهاد الخضوع
Ultimate Load	الحمل الأعظم
Ultimate Stress	الإجهاد الأعظم
Hardness Test	اختبار القساوة
Rockwell Hardness	قساوة روكويل
Brinell Hardness	قساوة برينل
Direct Current	تيار مستمر
Direct Polarity	قطبية مباشرة
Electrode	إلكترود
Current	شدة التيار
Arc Voltage	توتر القوس
Heat Input	الطاقة الطولية (طاقة الدخل)
Welding Speed	سرعة اللحام
Welding Time	زمن اللحام
Welding Seam	درزة اللحام
Fusion Zone	المنطقة المصهورة
Welding Pool	حوض اللحام
Heat- Affected Zone	المنطقة المتأثرة بالحرارة
Schaeffler Diagram	مخطط شيفلر
Chromium Equivalent	مكافئ الكروم
Nickel Equivalent	مكافئ النيكل
Ferrite	الفريت

Austenite	الأوستنيت
Arc Welding Machine	آلة اللحام بالقوس الكهربائي
Polishing	صقل
Etching	تنميش
Acid	حمض
Light Microscope	مجهر ضوئي
Butt Joint	وصلة تناكبية
Lap Joint	وصلة تراكبية
Parent Metal/ Base Metal	المعدن الأم/ معدن الأساس
Bevel Angle	زاوية الشنفرة
Eye’s Lens	العدسة العينية
Object’s Lens	العدسة الجسمية
Tensile Specimen	عينة الشد
Reinforcement	تقوية اللحام
Dendrite	دندريتي (غصني)
Place of Fracture	مكان الكسر
Tensile Diagram	مخطط الشد

الملخص

أجريت دراسة تجريبية على وصلات فولاذية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة، وذلك بهدف بيان تأثير بارامترات نظام لحام الصهر بالقوس الكهربائي في كل من البنية المكروية والخواص الميكانيكية لهذه الوصلات. إذ جرى استخدام الفولاذ الكربوني والفولاذ المقاوم للصدأ كمعادن مدروسة في هذا البحث. اختيرت الكترودات اللحام المناسبة لكل وصلة لحامية، وذلك وفقاً لنوع المعدن المراد لحامه وثخانة الصفائح الملحومة، إذ استخدمت إلكترودات من الفولاذ منخفض الكربون (E6013) و(E7018-1) للحام صفائح الفولاذ الكربوني، وإلكترودات من الفولاذ المقاوم للصدأ (E316L-16) للحام كل من صفائح الفولاذ المقاوم للصدأ ومثيلاتها من (الفولاذ الكربوني– الفولاذ المقاوم للصدأ). جرى لحام الصفائح الفولاذية بآلة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي بنموذجي اللحام: التناكبي والتراكبي، وتم تسجيل تغيرات كل من شدة التيار وتوتر القوس وسرعة اللحام في كل حالة، ثم جرى حساب الطاقة الطولية (طاقة الدخل) لكل منها. استخدم المجهر الضوئي لدراسة البنية المكروية للوصلات اللحامية عند نسبتي تكبير X100, X200، حيث لوحظ تواجد البنية الفريتية- البرليتية في مناطق مختلفة من الوصلات اللحامية للفولاذ الكربوني (منطقة اللحام وخط الصهر ومنطقة التأثر الحراري والمعدن الأم)، بينما كانت البنية أوستنيتية في منطقة اللحام للوصلات اللحامية من الفولاذ المقاوم للصدأ وبنية أوستنيتية مع نسبة قليلة من الفريت في الوصلات من (الفولاذ الكربوني– الفولاذ المقاوم للصدأ). أظهر اختبار القساوة الماكروية عدم وجود أطوار قاسية في المناطق المختلفة من الوصلات اللحامية. تبين من اختبار الشد أن متانة الوصلات اللحامية أعلى من متانة معدن الأساس لكل منها، حيث تم تحطم عينات الشد في معدن الأساس ذي الثخانة الأقل.

الكلمات المفتاحية:لحام الصهر بالقوس الكهربائي، فولاذ كربوني، فولاذ مقاوم للصدأ، الثخانة، التركيب الكيميائي.

الفصل الأول:

الإطار العام للبحث

الفصل الأول

الإطار العام للبحث

1-1 مقدمة:

يعد لحام الصهر بالقوس الكهربائي لأنواع الفولاذ متباينة التركيب الكيميائي والثخانة ذا أهمية كبيرة في نطاق الصناعة، إذ يستخدم هذا اللحام بشكلٍ واسع في كل من خطوط نقل النفط الخام والغاز ومحطات توليد الطاقة الكهربائية والمفاعلات النووية والصناعات البتروكيميائية. يواجه هذا اللحام العديد من المشاكل والصعوبات مثل انخفاض الخواص الميكانيكية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية (منطقة اللحام وخط الصهر ومنطقة التأثر الحراري والمعدن الأم) وحدوث بعض العيوب، وذلك بسبب الاختلاف في الخواص الكيميائية والفيزيائية (الحرارية) والميكانيكية للمعادن الملحومة معاً [1].

تبرز أهمية لحام المعادن متباينة التركيب الكيميائي في إمكانية التعويض عن الوصلات اللحامية ذات الثخانات الكبيرة بمثيلاتها من الثخانات الأقل والمتمتعة بخواص ميكانيكية أعلى وأكثر مقاومة لظروف استثمار هذه الوصلات. ولكن ذلك يتطلب اختيار البارامترات المثلى لنظام لحام الصهر، والتي تحقق بنى بلورية خالية من العيوب الميكروية لمناطق مختلفة من الوصلة اللحامية وتتمتع بأفضل الخواص الميكانيكية لهذه الوصلات. من أمثلة هذا النوع من اللحام متباين التركيب الكيميائي والثخانة: لحام الفولاذ الكربوني مع مثيله السبائكي ولحام أنواع مختلفة من الفولاذ المقاوم للصدأ متباينة التركيب الكيميائي والثخانة.

2-1 المشكلة العلمية ومسوغات البحث:

يواجه لحام المعادن متباينة التركيب الكيميائي العديد من المشاكل مثل انخفاض الخواص الميكانيكية وحدوث بعض العيوب وذلك بسبب الاختلاف في الخواص الكيميائية والفيزيائية (الحرارية) والميكانيكية لمعدني الوصلة.

لذلك سوف نتطرق في هذا البحث إلى دراسة:

- تأثير تباين التركيب الكيميائي في تقانة اللحام بالصهر للوصلات المعدنية.
- تأثير الثخانة في تقانة لحام هذه الوصلات.
- البنية المكروية والخواص الميكانيكية للوصلات اللحامية الناتجة.

تعتمد إشكالية البحث على الإجابة عن التساؤلات التالية:

1- ماهو التأثير المتوقع للحام بالقوس الكهربائي في البنية المكروية والخواص الميكانيكية للمعادن المدروسة.

2- ماهي بارامترات اللحام المؤثرة في عملية اللحام للمعادن متباينة التركيب الكيميائي.

3- ماهي البنية المتوقعة عند لحام المعادن متباينة التركيب الكيميائي.
4- ماهو تأثير تباين ثخانة الوصلات اللحامية في بارامترات اللحام.
5- ماهوتأثير هذا النوع من اللحام في الخواص الميكانيكية للوصلات المعدنية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة.

3-1 فرضيات البحث:

صيغت فرضيات البحث بناء على المشكلة العلمية، وفق الآتي:
البحث عبارة عن فرضية علمية، تسعى لوضع حل مقترح لمشكلة علمية موجودة في الواقع الصناعي والخدمي (المؤسسات الصناعية ووزارات الصناعة والنفط والكهرباء ...وغيرها). إذ يبين البحث كيفية لحام الوصلات المعدنية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة المستخدمة في عدة نطاقات صناعية مثل خطوط النفط والغاز ومصافي النفط ومحطات توليد الكهرباء. كما يوضح مدى تأثر بارامترات اللحام بهذين المتغيرين (التركيب الكيميائي والثخانة)، والتغيرات الحاصلة في الخواص الميكانيكية والبنية المكروية النهائية لهذه الوصلات المعدنية.

4-1 أهمية البحث:

ظهرت الحاجة في العديد من التطبيقات الصناعية إلى لحام نوعين أو أكثر من الفولاذ ضمن المشروع الواحد أو لحام خليطة فولاذية مع خليطة فولاذية أخرى، مما استدعى إجراء دراسات بحثية وعملية لهذا النوع من اللحام، إذ كثيراً ما تظهر مشكلات بنيوية عند وصل هذه الخلائط معاً. لذلك تمت دراسة أساليب لحامها بشكل دقيق وتحديد بارامترات ومواد اللحام المناسبة في هذه الحالات وتحديد عيوب الوصلات اللحامية ومحاولة التخلص من هذه العيوب للحصول على بنى سليمة وخواص ميكانيكية جيدة.

5-1 أهداف البحث:

- التوصل إلى بارامترات اللحام المتناسبة مع ثخانة الوصلات اللحامية المدروسة متباينة التركيب الكيميائي.
- الحصول على أفضل خواص ميكانيكية ممكن الوصول إليها لمناطق مختلفة من الوصلة اللحامية، وذلك من خلال التحكم ببارامترات نظام اللحام.
- تعزيز عمليات لحام الخلائط المعدنية (أو السبائك) متباينة التركيب الكيميائي في سوريا ومحاولة إيضاح منهجيات لحام الخلائط المعدنية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة لتسهيل استخدامها في سوق العمل.

6-1 حدود البحث:

تم تحديد الحدود المكانية لإجراء البحث في مخابر وورش كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية في جامعة دمشق.

يهتم البحث بشكلٍ أساسي بضرورة توطين هذا النوع من اللحام لما له من حاجة كبيرة في المؤسسات الصناعية السورية مثل وزارات الصناعة والنفط والكهرباء، إذ سيتضمن البحث دراسة علمية لعملية اللحام بالقوس الكهربائي وتأثيرها في المعادن المستخدمة في نطاق المشاريع الإنتاجية والخدمية داخل هذه المؤسسات (مثل المؤسسة العامة للصناعات الهندسية ومثيلتها الكيميائية والغذائية) وحقول النفط وخطوط نقل الغاز والنفط في وزارة النفطومحطات توليد الطاقة الكهربائية. ظهرت الحاجة في العديد من الحالات إلى لحام نوعين أو أكثرمن الفولاذ ضمن المشروع الواحد أو لحام فولاذ مع خليطة معدنية أخرى، مما يستدعي إجراء دراسات بحثية وعملية لتقييم هذا النوع من اللحام وتحديد بارامترات ومواد اللحام في هذه الحالات وتحديد عيوب الوصلات اللحامية ومحاولة التخلص من هذه العيوب.

1-7 المنهج المتبع في البحث:

تم الاعتماد على المنهج التجريبي لإجراء هذا البحث، حيث تم تثبيت جميع المتغيرات وتغيير متغيرين أساسيين هما (نوع المعدن والثخانة)، وذلك بهدف بيان تأثيرهما في عملية اللحام وفي البنية المكروية والخواص الميكانيكية للمعادن المدروسة، مع بيان أن التجارب قد تمت ميدانياً في مناخ عادي دون اللجوء إلى مناخ تجريبي أو اصطناعي.

يعتمد البحث على إجراء النقاط التالية تباعاً:

1- الدراسات المرجعية ذات الصلة.
2- استخلاص النتائج الأساسية للدراسات المرجعية ذات الفائدة المباشرة لموضوع البجث.
3- تحديد المعادن المتوافرة في السوق الصناعية السورية والتي تخدم موضوع البحث.
4- تحديد الثخانات التي ستتم دراستها في البحث.
5- إجراء عملية اللحام وتحديد بارامتراته.
6- دراسة البنية المكروية والخواص الميكانيكية للوصلات اللحامية.
7- تحليل النتائج التي تم الحصول عليها ومقارنتها مع الدراسات المرجعية.
8- إضافة بعض التوصيات، على أمل التوسع في هذا النوع من الأبحاث العلمية.
9- إضافة قائمة المراجع التي تمت الاستفادة منها في البحث.

1-8 النتائج التطبيقية المتوقعة من البحث والجهات المستفيدة منها:

فتح آفاق جديدة في الصناعة من خلال لحام المعادن متباينة التركيب الكيميائي بهدف الحصول على الخواص الميكانيكية المراد تحقيقها في الوصلات اللحامية.

إمكانية التعويض عن معادن ثقيلة بمعادن أخف وزناً مما يزيد الانتاجية، وبالتالي فالحاجة إلى لحام المعادن المختلفة لها بعد اقتصادي هام جداً.

الجهات المستفيدة: وزارتا الصناعة والنفط – جامعة دمشق.

1-9 الدراسات المرجعية:

- قام الشيناوي ومسعود [2] بدراسة وصلات لحامية لأنواع مختلفة من الفولاذ متماثلة التركيب الكيميائي والثخانة، وأخرى متباينة التركيب الكيميائي والثخانة. حيث تم لحام عدة أنواع من الفولاذ (الفولاذ الكربوني St.37 والفولاذ الكربوني مرتفع المتانة St.52 والفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ 304L والفولاذ السبائكي الخاص عالي المتانة SHSS) وبثخانات مختلفة باستخدام لحام (MIG) أي اللحام في وسط من الغازات الخاملة وباستخدام معدن ملء مستهلك ER100S-1.

الجدول 1-1: المعادن الملحومة معاً

STEEL		St. 37	St. 52	304L	SHSS
	Thick., mm	8	6	10	8
St. 37	8	✓			
St. 52	6		✓	✓	✓
304L	10			✓	✓
SHSS	8				✓

المصدر: الشيناوي ومسعود (2008)

وتم إجراء الاختبارات الميكانيكية (شد- قساوة- صدم) على العينات حيث استخلص الباحثان أن اللحام لكلٍ من الوصلات اللحامية المتماثلة التركيب الكيميائي والثخانة أو عدمهما تؤدي للحصول على وصلات لحامية ذات جودة عالية وخواص ميكانيكية عالية القيم. أعطى لحام الفولاذ الخاص عالي المتانة قيماً أفضل لكل من متانة الشد ومتانة الصدم عندما تم لحامه مع الفولاذ الاوستنيتي المقاوم للصدأ، أكد الباحثان ضرورة أخذ الحيطة بشكل أكبر عند لحام الفولاذ الخاص عالي المتانة SHSS مع الفولاذ الكربوني وذلك من خلال تقليل قيم الطاقة الطولية (طاقة الدخل)، إذ يؤدي ارتفاع قيم الأخيرة إلى انخفاض قيم متانة الصدم للوصلة اللحامية.

- درس Manoj Saini وزملاؤه [3] الخواص الميكانيكية للوصلات اللحامية ثنائية المعدن في مولد البخار، حيث قام الباحثون بلحام صفائح من الفولاذ الكربوني SA516 grade 65 والفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ 304L ذات الثخانة 20mm باستخدام معدن الملء 308L، حيث وجد الباحثون ما يلي:

تنخفض قيم القساوة قرب السطح البيني للفولاذ الكربوني ومعدن الدرزة اللحامية، حيث تتشكل منطقة أكثر لدونة من باقي مناطق الوصلة اللحامية، وذلك بسبب هجرة الكربون من الفولاذ الكربوني باتجاه معدن الدرزة اللحامية.

ترتفع قيم القساوة عند السطح البيني للفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ ومعدن الدرزة اللحامية، حيث تتشكل منطقة ذات قساوة مرتفعة القيم.

- قام الباحث Hesam Pouraliakbar وزملاؤه [4] بدراسة اللحام بالقوس الكهربائي بإلكترود التنغستين في وسط من الغازات الخاملة (TIG) لصفائح من الفولاذ الكربوني CK45 والفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ

304 ذات الثخانة 8mm، إذ قام الباحثون بلحام مجموعتين من الصفائح: حيث تم في المحموعة الأولى ترسيب طبقة طلاء من ERNi-1 على صفائح الفولاذ الكربوني بسماكة أصغرية 4mm، وكان معدن اللحام هو إلكترود ER308L، بينما تم لحام صفائح المجموعة الثانية دون طلاء لصفائح الفولاذ الكربوني باستخدام إلكترود ER308L.

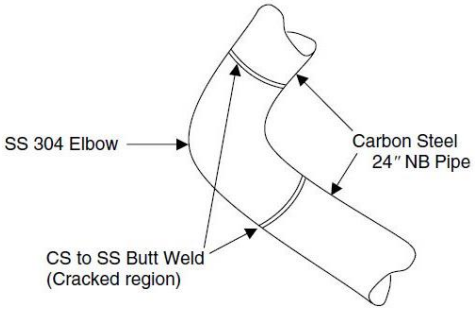
الجدول 1-2: بارامترات اللحام المطبقة

Specimen Type	Filler Metal	Current (A)	Voltage (V)	Polarity	Arc Travel Speed (mm/sec)
A	ERNi-1	110	13	DCEN	1.34
	ER308L	120	13	DCEN	1.46
B	ER308L	120	13	DCEN	1.46

المصدر:Pouraliakbar وزملاؤه (2014)

بينت النتائج أن البنية النهائية لصفائح المجموعة الأولى الملحومة هي بنية اوستنيتية بشكل كامل وذلك بسبب وجود طبقة الطلاء من النيكل والتي منعت انتشار الكربون، بينما كانت البنية النهائية لصفائح المجموعة الثانية الملحومة هي مزدوجة الطور (فريت- اوستنيت).

- قام الباحث أنور الحميد وزملاؤه [5] بدراسة الفشل الذي يحدث عند لحام الوصلات ثنائية المعدن (أنابيب فولاذ كربوني وأكواع الفولاذ المقاوم للصدأ) والتي تشكل نظام أنابيب الغاز للوحدات البتروكيماوية، حيث يحدث فيها تشققات بعد فترة قصيرة نسبياً من الاستخدام مؤدية بذلك لحدوث التسرب.

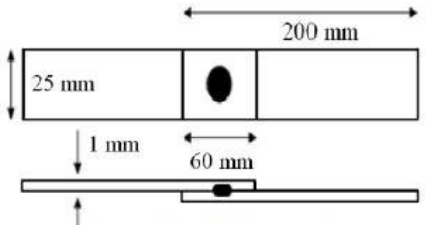


الشكل 1-1: منطقة حدوث الشق بين أكواع الفولاذ المقاوم للصدأ وأنابيب الفولاذ الكربوني

المصدر: أنور الحميد وزملاؤه (2004)

تم في هذا البحث لحام الفولاذ الكربوني ASTM A53 grade B مع الفولاذ المقاوم للصدأ S.S 304 ذي السماكة 8mm باستخدام إلكترود E309، وبينت التحاليل أن أصل الشقوق الحاصلة كان في المنطقة البينية بين أنابيب الفولاذ الكربوني وجذر اللحام (من الفولاذ المقاوم للصدأ)، وتصل قساوة هذه المنطقة إلى 60HRC مما يشير لتشكل المارتنسيت (وذلك سببه انفصال الكربون عند درجة حرارة اللحام والسقاية اللاحقة خلال عملية التبريد)، يعتقد أن الشقوق قد بدأت من المنطقة المقساة وكان هناك عاملان مساعدان هما الوسط الغني بالهيدروجين ووجود منطقة فريتية مجاورة منخفضة الكربون.

- قام الباحث R.K Rajkumar وزملاؤه [6] بإجراء اللحام النقطي لمعدنين غير متشابهين هما الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ 302 ذات الثخانة 1mm باستخدام زوج من إلكترودات النحاس المبردة بالماء.



الشكل 1-2: اللحام النقطي للفولاذ منخفض الكربون والفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ 302

المصدر: R.K Rajkumar وزملاؤه (2012)

قام الباحثون بتغيير بارامترين هما تيار اللحام وزمن اللحام بهدف إيجاد بارامترات اللحام المناسبة للحام العينات ذات الثخانة 1mm وفق الجدول الآتي:

الجدول 1-3: بارامترات اللحام للعينات المختبرة

Weld Schedule	Sample No	Force (kN)	Current (kA)	Time (cycle)
1	1-5	3	6	10
2	6-10	3	7	10
3	11-15	3	8	10
4	16-20	3	6	15
5	21-25	3	7	15
6	26-30	3	8	15
7	31-35	3	6	20
8	36-40	3	7	20
9	41-45	3	8	20

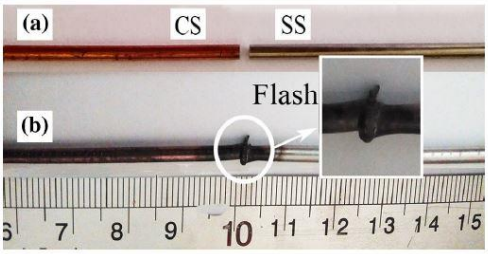
المصدر: R.K Rajkumar وزملاؤه (2012)

وجد الباحثون مايلي:

إن تغير البارامترات (التيار والزمن) أعطى تغيرات نسبية في قيم متانة الشد للوصلة اللحامية النقطية الناتجة، وازدادت قيم قساوة منطقة اللحام.

تمت ملاحظة أن منطقة الصهر النقطي (منطقة الدرزة اللحامية) للفولاذ الكربوني أضيق مما هي عليه في الفولاذ المقاوم للصدأ، بينما كانت منطقة التأثر الحراري أعرض للفولاذ الكربوني من مثيلتها للفولاذ المقاوم للصدأ .

- قام الباحث Ashkaan Ozlati وزملاؤه [7] بدراسة تأثير تيار اللحام ضمن المجال KA (2-4) على البنية المكروية والخواص الميكانيكية عند لحام قضبان من الفولاذ الكربوني AISI-1035 والفولاذ المقاوم للصدأ AISI 304L بقطر 2.4mm وطول 90mm.



الشكل 1-3: قضبان AISI-1035 و AISI 304، (a) قبل اللحام و (b) بعد اللحام بتيار 3KA

المصدر: Ashkaan Ozlati وزملاؤه (2016)

بينت النتائج ازدياد في متانة الوصلات في البداية عند رفع قيمة تيار اللحام حتى 3KA بسبب التشوه اللدن وتسارع الانتشار لذرات الكربون وبعد ذلك تبدأ بالانخفاض، وعند قيم أعلى من 3KA يحدث نقص في المتانة بسبب تشكل بقع ساخنة ونمو الحبيبات.

بينت قيم القساوة عدم تشكل أطوار قاسية في منطقة اللحام.

لا تؤثر زيادة قيمة التيار في البنية المكروية للفولاذ الكربوني، وإنما تؤثر في حجم الأطوار المشكلة للبنية البرليتية (السمنتيت والفريت). وقد وجد أن البنية المجهرية في منطقة الفولاذ المقاوم للصدأ عبارة عن بنية دندريتية (غصنية) مؤلفة من طورين هما: الأوستنيت وفريت دلتا. ووجد أن تيار اللحام الأمثل هو 3KA حيث وصلت متانة الوصلة حتى 76% من متانة معدن الأساس (الفولاذ الكربوني).

- قام الباحث Nabendu Ghosh [8] وزملاؤه بدراسة لحام الصهر في وسط من الغازات الواقية GMAWلصفائح من الفولاذ المقاوم للصدأ الفريتي AISI409 مع الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنيتي AISI316L ذات الثخانة 3mm، باستخدام سلك اللحام AISI308.

الشكل 1-4: وصلة لحامية لصفيحة من AISI 409 و AISI 316L

المصدر: Nabendu Ghosh (2017)

قام الباحثون بتغيير بارامترات اللحام (شدة التيار، معدل تدفق الغاز، المسافة بين فوهة اللحام والصفيحة الملحومة) وفق الجدول التالي:

الجدول 1-4: بارامترات اللحام

Input factors	Units	Notation	Factor levels		
			1	2	3
Welding current	A	A	100	112	124
Gas flow rate	l/min	B	10	15	20
Nozzle to plate distance	mm	C	9	12	15

المصدر: Nabendu Ghosh (2017)

تم تطبيق اختبار الشد على العينات المدروسة، حيث وجدوا أن أفضل النتائج التي حصلوا عليها هي للعينة الموافقة للقيم التالية: شدة التيار 100A، معدل تدفق الغاز 10 L/min ، إجهاد الخضوع 266.322 MPa، إجهاد الشد الأعظم421.742 MPa.

الجدول 1-5: نتائج اختبار الشد

Sample No.	Yield strength (Mpa)	Ultimate Tensile Strength (Mpa)	Place of fracture
1	266.322	421.742	Base metal
2	280.012	407.998	HAZ
3	276.57	411.641	Base metal
4	244.719	381.214	HAZ
5	220.499	400.704	HAZ
6	230.454	345.678	HAZ
7	281.51	415.699	Base metal
8	269.953	401.790	Base metal
9	268.859	400.364	Base metal

المصدر: Nabendu Ghosh (2017)

- قام الباحث A. Suresh Kumarوزملاؤه[9] بدراسة اللحام في وسط من الغازات الخاملة للفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ 316L والفولاذ متوسط نسبة الكربون IS2062، بهدف الحصول على قيم القساوة والتغلغل لهذا اللحام، حيث تم لحام صفائح بسماكة 6mm باستخدام معدن اللحام ER316L. قام الباحثون بتغيير بارامترات اللحام حسب الجدول:

الجدول 1-6: قيم بارامترات اللحام

Parameters	Welding current, Amps	Welding voltage, Volt	Gas flow rate, L/Min
Values	110-190	20-28	12-16

المصدر: A. Suresh Kumarوزملاؤه (2018)

وجد الباحثون أن بارامترات اللحام المناسبة التي تم الحصول عليها هي: توتر القوس 26 V، شدة التيار 124 A، معدل تدفق التيار 12 L/Min، والتي تتعلق بالقساوة وعمق التغلغل.

- قام الباحث Ramesh Kumar وزملاؤه [10] بدراسة ميكانيكية وميتالوروجية للحام بالقوس الكهربائي في وسط ذي طبقة مضاعفة من الغازات الواقية لوصلة لحامية من معدنين مختلفين هما الفولاذ المقاوم للصدأ

316 والفولاذ المقاوم للصدأ مزدوج الطور.وجد الباحثون أن متانة الشد تزداد مع زيادة توتر القوس بسبب زيادة طاقة الدخل وزيادة عمق التغلغل، بينما تتأثر قيم القساوة لمناطق مختلفة من الوصلة اللحامية من خلال التفاعل مابين شدة التيار وتوتر القوس من جهة، ومابين شدة التيار ومعدل تدفق الغاز من جهة أخرى. يؤدي الارتفاع الكبير لقيم كل من شدة التيار وتوتر القوس وانخفاض سرعة اللحام (أي الارتفاع الكبير لقيم الطاقة الطولية "طاقة الدخل") إلى الحصول على وصلات لحامية منخفضة قيم متانة الشد.

1-9-1 النتائج الأساسية للدراسات السابقة:

1- يمكن لحام الوصلات المعدنية متباينة التركيب الكيميائي بجودة عالية بشرط أن يتم اختيار بارامترات اللحام بشكل صحيح وملائم.

2- تتعلق متانة الشد للوصلة اللحامية ببارامترات نظام اللحام وبخاصةٍ الطاقة الطولية(طاقة الدخل).

3- ترتفع متانة الوصلات اللحامية مع ازدياد قيم تيار اللحام حتى قيمة محددة، بسبب حدوث التشوه اللدن وتسارع عملية الانتشار لذرات الكربون، وعند قيم أعلى من ذلك تبدأ متانة الوصلة بالانخفاض، بسبب نمو الحبيبات وتشكل البقع الساخنة.

4- لا تغير زيادة قيم شدة تيار اللحام البنية المكروية للفولاذ الكربوني، وإنما تؤثر في حجم الأطوار المشكلة لهذه البنية.

5- تتعلق قيم القساوة بشدة التيار وتوتر القوس من جهة، وبشدة التيار ومعدل تدفق الغاز من جهة أخرى عند اللحام في وسط من الغازات الواقية.

6- يؤثر التحكم بقيم كل من تيار اللحام وزمن اللحام في قيم متانة الشد والقساوة للوصلة اللحامية الناتجة.

7- عرض منطقة الصهر (منطقة الدرزة اللحامية) للفولاذ الكربوني أقل مما هي عليه للفولاذ المقاوم للصدأ، بينما تكون منطقة التأثر الحراري للفولاذ الكربوني أعرض مما هي عليه في الفولاذ المقاوم للصدأ.

8- من الممكن تشكل منطقة قرب السطح البيني (فولاذ كربوني- درزة لحامية) ذات لدونة مرتفعة وقساوة منخفضة أكثر مما هي عليه في باقي مناطق الوصلة اللحامية، يعزى سبب ذلك إلى حدوث هجرة لذرات الكربون من الفولاذ الكربوني باتجاه معدن الدرزة اللحامية، والتي هي ناتجة عن لحام بإلكترودات فولاذ مقاوم للصدأ.

9- إن ترسيب طبقة من النيكل على صفائح الفولاذ الكربوني عند لحامها مع الفولاذ المقاوم للصدأ يمنع انتشار الكربون ويؤدي للحصول على بنية نهائية للدرزة اللحامية هي البنية الأوستنيتية، بينما تكون البنية النهائية مزدوجة الطور (فريت-أوستنيت) عند عدم الطلاء بالنيكل.

10-يحدث في بعض الحالات تشكل شقوق في المنطقة بين الفولاذ الكربوني ومعدن اللحام من الفولاذ المقاوم للصدأ بسبب تشكل بنية مارتنسيتية، والتي تتشكل بسبب حدوث السقاية خلال عملية التبريد اللاحقة.

11-يجب تجنب حدوث التلوث بالهيدروجين والذي يحدث عن طريق اللحام بإلكترودات رطبة أو بسبب رطوبة الوسط المحيط، حيث أن الهيدروجين هو عامل مساعد على تشكل الشقوق.

12-تراوحت قيم ثخانات الصفائح المدروسة في أغلب الدراسات المرجعية ضمن المجال mm(3-20)، وقيم شدة التيار بين A(130 -100)، وتوتر القوس بين V(36 -16).

الفصل الثاني:

الخلائط الفولاذية وأساسيات اللحام

الفصل الثاني

الخلائط الفولاذية وأساسيات اللحام

1-2 تصنيف الخلائط الفولاذية:

يعد الفولاذ من أهم المعادن وأكثرها استخداماً في المجال الصناعي، وذلك لتوافر العديد من أنواعه وتصنيفاته التي تختلف فيما بينها من حيث المواصفات والخواص باختلاف نسب العناصر المتواجدة فيها. يمكن تصنيف أنواع الفولاذ تبعاً لعدة سمات أهمها التركيب الكيميائي، حيث يتم تصنيفها إلى:

1-1-2 الفولاذ الكربوني:

هو عبارة عن خليطة تحتوي على الحديد كعنصر أساسي بنسبة (99.5% – 97.0) بالإضافة إلى الكربون بنسبة تتراوح بين C%(0.2-0.006)، والتي تؤثر في خواصه بشكلٍ ملحوظ، وبعض العناصر السبائكية الثابتة التي تتواجد فيه بنسب محدودة مثل المنغنيز والسيليكون والكبريت والفوسفور[11].

يستخدم الفولاذ الكربوني بشكلٍ شائع جداً لعدة أسباب منها: تكلفته وخواصه وسهولة تصنيعه وتوافره وقابلية لحامه، والعديد من الخواص الأخرى التي تسمح باستخدامه في عدة تطبيقات أهمها: تطبيقات الضغط كالمراجل وأوعية الضغط والمبادلات الحرارية والأنابيب وغيرها. تتراوح متانة الشد للفولاذ الكربوني في درجة حرارة الغرفة بين ([MPa] 275) وحتى ([MPa] 690).[12]

1-1-1-2 أنواع الفولاذ الكربوني:

يصنف الفولاذ الكربوني تبعاً لنسبة الكربون فيه إلى:[11]

1) فولاذ منخفض نسبة الكربون: وتتراوح فيه نسبة الكربون بين (C%0.2-0).
2) فولاذ متوسط نسبة الكربون: وتتراوح فيه نسبة الكربون بين (C%0.6-0.2).
3) فولاذ عالي نسبة الكربون: وتتراوح فيه نسبة الكربون بين (C%2.0-0.6).

2-1-2 الفولاذ السبائكي:

ويتم الحصول على الفولاذ السبائكي بإضافة عناصر سبائكية معينة للفولاذ الكربوني وذلك بهدف تحسين خواصه والحصول على خواص جديدة، وبالتالي زيادة مجالات استخداماته الصناعية. ولابد من الإشارة إلى أن إضافة العناصر السبائكية يزيد من تكلفة الفولاذ بسبب التكاليف الباهظة في إنتاج العناصر السبائكية المضافة[13].

يتم تصنيف الشوائب الموجودة في الفولاذ السبائكي إلى أربع أنواع: حيث تعد الشوائب التي لا يمكن التخلص منها شوائباً ثابتة مثل: المنغنيز والفوسفور والسيليكون وغيرها، بينما تعد الشوائب التي تتواجد فيه بنسب ضئيلة جداً شوائباً خفية كالأوكسجين والهيدروجين والنتروجين، أما الشوائب التي تتواجد في الفولاذ من خاماته الأولية فتسمى الشوائب العرضية، وهناك عناصر الخلط التي تتم إضافتها إلى الفولاذ بتراكيز محددة بغرض الحصول على خواص معينة، وهي التي تؤدي للحصول على أنواع الفولاذ السبائكي.

2-1-2-1 أنواع الفولاذ السبائكي:

هناك العديد من العوامل التي يتم بناءً عليها تصنيف الفولاذ السبائكي، منها التركيب الكيميائي ومجال الاستخدام. حيث تصنف الأخيرة أنواع الفولاذ السبائكي إلى عدة مجموعات هي: مجموعة الفولاذ الإنشائي، مجموعة فولاذ المباني، مجموعة فولاذ العدد، مجموعة الفولاذ والخلائط التي تتمتع بمزايا خاصة[11].وينسب الفولاذ المقاوم للصدأ إلى مجموعة الفولاذ الذي يتمتع بمزايا خاصة، إذ يحتوي هذا الفولاذ على الكروم بنسبة تصل إلى % 20-16 أو أكثر والتي تزيد من مقاومته للتآكل ونسبة النيكل تزيد على%14-8، كما تصنف خلائط الفولاذ المقاوم للصدأ إلى عدة عائلات أساسية نذكر منها:[25] [13]

- عائلة الفريت: اسمها مشتق من الطور الفريتي، تتمتع خلائطها بخاصية المغنطة وتتميز بمقاومة التآكل في درجات الحرارة العالية وبخواص ميكانيكية جيدة.
- عائلة الاوستنيت: سميت تبعاً لطور الاوستنيت في الفولاذ، وهي خلائط غير مغناطيسية وغير قابلة للتقسية بالمعالجة الحرارية ولكن يمكن تقسيتها بالتصلد الانفعالي، تشبه بخواصها الميكانيكية الفولاذ متوسط نسب الكربون ولكنها تتفوق بقابلية تشكيلها.

2-2 تعريف اللحام وأنواعه:

يعد اللحام أحد أفضل طرائق وصل المعادن التي يمكن من خلالها وصل معدنين أو أكثر مع بعضها البعض والحصول على قطعة معدنية واحدة غير قابلة للتفكك. وتعتمد عملية اللحام على إيجاد ارتباط وثيق بين الذرات السطحية للمعدنين عن طريق إما الصهر الموضعي أو الكامل أو عن طريق التسخين والضغط أو عن طريق الضغط فقط (انفعالات لدنة)[14].

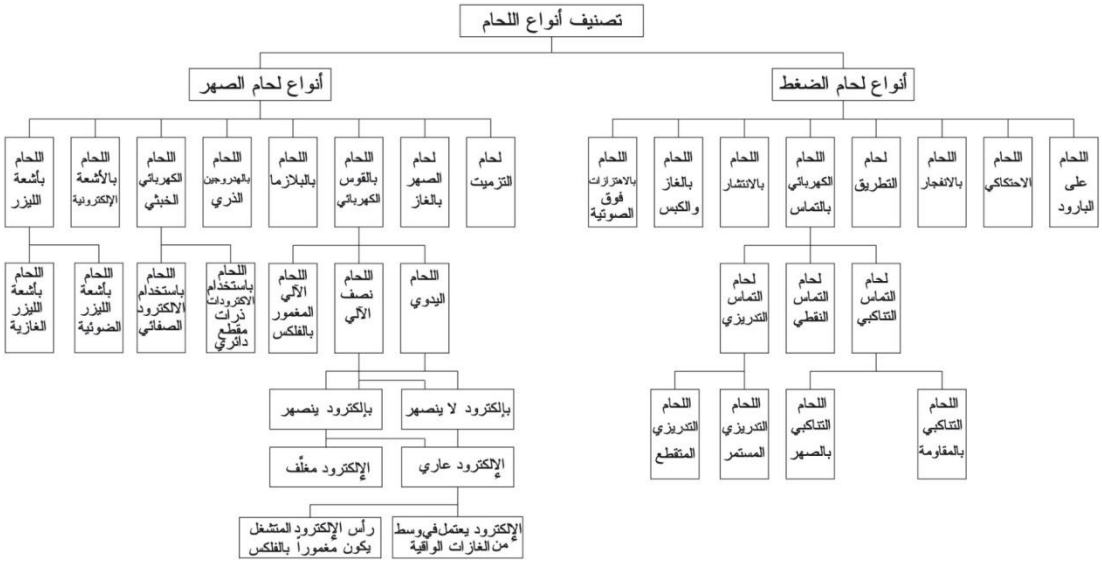
يتم تصنيف أنواع اللحام تبعاً لعدة سمات ولكن أكثرها شيوعاً هو نوع الطاقة المستخدمة عند اللحام وحالة المعدن في منطقة اللحام أثناء إجراء عملية اللحام [14].

1- أنواع اللحام تبعاً لنوع لطاقة المستخدمة:

تتنوع مصادر الطاقة التي يمكن استخدامها في عمليات اللحام، منها الطاقة الميكانيكية المستخدمة مثلاً في اللحام الاحتكاكي والتي تعتمد على توليد انفعالات لدنة في منطقة اللحام كافية لجعل طرفي الوصلة يلتحمان مع بعضهما البعض لتشكيل الوصلة اللحامية. كما أنه يمكن استخدام الطاقة الكيميائية وتحويلها إلى طاقة حرارية كافية لصهر المعدن وتحقيق الوصلة اللحامية. تستخدم الطاقة الكهربائية في اللحام عن طريق تحولها إلى طاقة حرارية بعدة طرق منها استخدام القوس الكهربائي الذي يعطي لحامات ذات جودة عالية.

2- أنواع اللحام تبعاً لحالة المعدن في منطقة اللحام:

يمكن أن يتم اللحام تبعاً لهذا التصنيف إما بالضغط أو بالصهر، فعند اللحام بالضغط يتم تسخين المعدن المراد لحامه إلى درجة حرارة قريبة من درجة انصهاره ثم تطبيق ضغط خارجي كاف لتشكيل الوصلة اللحامية كما هو الحال عند اللحام بالتماس الكهربائي، بينما يتم اللحام بالصهر عن طريق الصهر الموضعي للمعادن المراد لحامها، وباختلاف المصدر الحراري للصهر تختلف آلية اللحام وبارامتراته كاللحام بالغاز والقوس الكهربائي واللحام بالأشعة الالكترونية وبأشعة الليزر وغيرها.

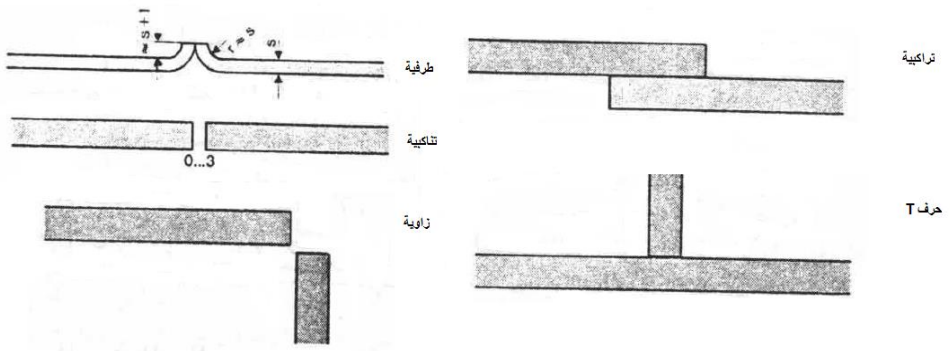


الشكل 2-1: تصنيف أنواع اللحام

المصدر: سلامة، محمد علي، وموسى، عصام. (2005)،طرائق التصنيع (3) (لحام المعادن).

1-2-2 الوصلات اللحامية:

تتكون الوصلة اللحامية من اجتماع جزأي المعدن المراد لحامهما معاً، والذين قد يكونان عبارة عن صفيحتين أو طرفي أنبوبين معدنيين أو غير ذلك، وبحسب تموضع هذين الجزأين بالنسبة لبعضهما البعض يختلف تصميم الوصلات اللحامية، فهناك الوصلات التناكبية ومثيلاتها التراكبية والوصلات المتعامدة وغيرها من التصاميم التي تناسب التطبيقات المختلفة. يبين الشكل (2-2)بعض أنواع الوصلات اللحامية [14].



الشكل 2-2: أنواع وصلات اللحام

المصدر: الصباغ، أحمد سالم. (1998). هندسة لحام المعادن.

ويعتمد اختيار بارامترات اللحام على نوع الوصلة المراد لحامها، فمثلاً لاختيار قطر الإلكترود يتم الاعتماد على سماكة الوصلة S في حالة اللحام التناكبي وعلى طول ضلع الدرزة الزاوية K في حالة اللحام الزاوي.

2-2-2 قابلية الفولاذ للحام:

تختلف قابلية اللحام لأنواع الفولاذ المختلفة تبعاً لنوع العناصر المكونة له وللعمليات التكنولوجية التي تعرض لها.

1-2-2-2 لحام الفولاذ الكربوني:

يعد الفولاذ الكربوني قابلاً للحام عندما تكون نسبة الكربون فيه أقل من 0.25%، أي أن الفولاذ منخفض الكربون ذو قابلية جيدة للحام ويمكن لحامه عن طريق مجموعة واسعة من طرائق اللحام والحصول على وصلات لحامية ذات خواص جيدة، ولكن لحام الفولاذ الكربوني متوسط وعالي نسبة الكربون يفرض إتباع أساليب محددة، حيث يجب أن يتم تسخينه تسخيناً مسبقاً تجنباً لحدوث التشققات الباردة والساخنة، وكذلك قد يتطلب الأمر إجراء معالجة حرارية لاحقة بعد اللحام[12] [14].

2-2-2-2 لحام الفولاذ السبائكي:

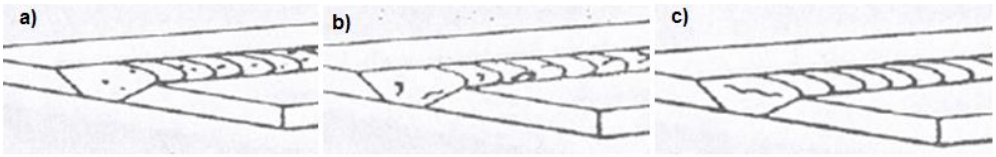
عند لحام الفولاذ السبائكي منخفض ومتوسط السبائكية قد تظهر الحاجة إلى التسخين المسبق أو المعالجة الحرارية اللاحقة، ففي الفولاذ منخفض السبائكية عندما تكون نسبة الكربون أكثر من 0.3% تظهر احتمالية الحصول على بنية مقساة في منطقة التأثر الحراري بعد عملية اللحام، وفي الفولاذ متوسط السبائكية قد تتولد إجهادات داخلية في منطقة التأثر الحراري تسمى حالة الإجهاد المعقد تؤدي إلى انخفاض متانة الوصلات الحامية. أما الفولاذ السبائكي عالي السبائكية فإن طرائق لحامه وبارامتراتها تختلف باختلاف بنيته، حيث تتنوع بنية هذا الفولاذ تبعاً لنسب العناصر الداخلة في تركيبه، فقد تكون بنيته أحادية الطور(فريتية أو أوستينيتية أو مارتنسيتية) أو ثنائية الطور (فريتية-أوستينيتية أو فريتية- مارتنسيتية)[14] .

2-2-3 عيوب اللحام:

يقصد بالعيوب التغيرات التي تطرأ على المعدن في شكله أو أبعاده أو مواصفاته، التي وبحسب درجة خطورتها قد تؤدي إلى خروجه عن العمل. يمكن أن تحدث العيوب في الوصلات اللحامية في معدن الأساس أو في معدن اللحام، وذلك تبعاً لما تعرضت له المعادن المكونة للوصلة قبل اللحام وخلاله وبعده. ومن العيوب الناتجة عن عملية اللحام:

2-2-3-1 المسامية:

يحدث انحباس الغاز في معدن اللحام عندما لا تكون هناك مدة كافية لهروب هذا الغاز من معدن اللحام قبل تجمده، أو بسبب تفاعلات كيميائية أثناء اللحام وارتفاع نسبة الكبريت في الوصلة اللحامية او الكترود اللحام وزيادة رطوبة الكترود اللحام أو أطراف وصلة اللحام. قد يكون الغاز المنحبس على شكل فجوة دائرية فيسمى مسامات أو فقاعات هوائية أو على شكل متطاول فتسمى أنابيب أو فجوات دودية. تظهر في الصورة الشعاعية على شكل خطوط مستقيمة بحالة الفجوات المتطاولة وعلى شكل بقع دائرية سوداء بحالة الفجوات الدائرية[15].يوضح الشكل (2-3) بعض العيوب الناتجة عن اللحام.



الشكل 2-3: بعض العيوب الناتجة عن اللحام: a) المسامية، b) المتضمنات الخبثية،c) الشقوق

المصدر: شافعي، محمود أحمد.(2011)، الفحص البصري للملحومات

2-2-3-2 المتضمنات الخبثية:

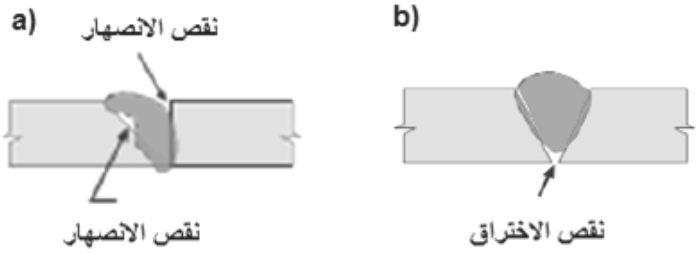
وتتشكل نتيجة انحباس الخبث في معدن اللحام أثناء تجمده، والذي يكون مصدره إما الوسط المحيط أو طبقة غلاف الإلكترود[15].

2-2-3-3 نقص الانصهار:

وهو عبارة عن عدم التحام معدن اللحام مع معدن الأساس أو مع معدن طبقات اللحام الأخرى. يضعف هذا العيب الوصلة اللحامية ويسبب الشقوق[15] .

2-2-3-4 نقص الاختراق:

أي فشل معدن اللحام في الاندماج الكامل مع معدن الأساس عند جذر اللحام، وهذا ما يسبب ضعف في الوصلة اللحامية ويشكل الشقوق [15] . يبين الشكل(2-4) الفرق بين نقص الانصهار ونقص الاختراق.

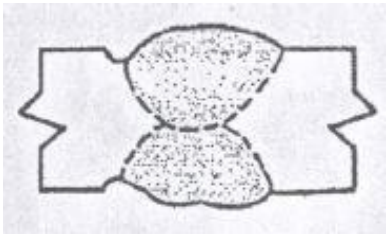


الشكل 2-4: الفرق بين a) نقص الانصهار و b) نقص الاختراق

المصدر: شافعي، محمود أحمد.(2011)، الفحص البصري للملحومات

2-2-3-5 النحر:

ويمكن أن يعرف بأنه احتراق معدن الأساس، ويعني انصهار جزء من معدن الأساس خلال لحام أي مسار من مسارات اللحام وحدوث قطع غير صحيح يؤدي إلى ضرر بالوصلة اللحامية، وقد يكون مستمراً أو متقطعاً على طول اللحام[15].



الشكل 2-5: النحر

المصدر: شافعي، محمود أحمد.(2011)، الفحص البصري للملحومات

2-2-3-6 الشقوق:

وتعد الشقوق من أخطر أنواع العيوب التي تظهر في الوصلة اللحامية أثناء اللحام أو بعده أو أثناء استثمارها، كالكسور الباردة ومثيلاتها الساخنة[14].

4-2-2 اختبارات اللحام:

يعد اختبار الوصلات اللحامية أمراً هاماً لتحديد مدى جودة اللحام وقبوله للعمل في ظروف الاستثمار، وهناك العديد من الطرق التي تمكننا من فحص اللحام، بعضها إتلافي يقتضي اجتزاء عينات من الملحومة المعدنية واختبارها، وبعضها الآخر لاإتلافي والذي يتم مباشرة على الوصلة الملحومة.

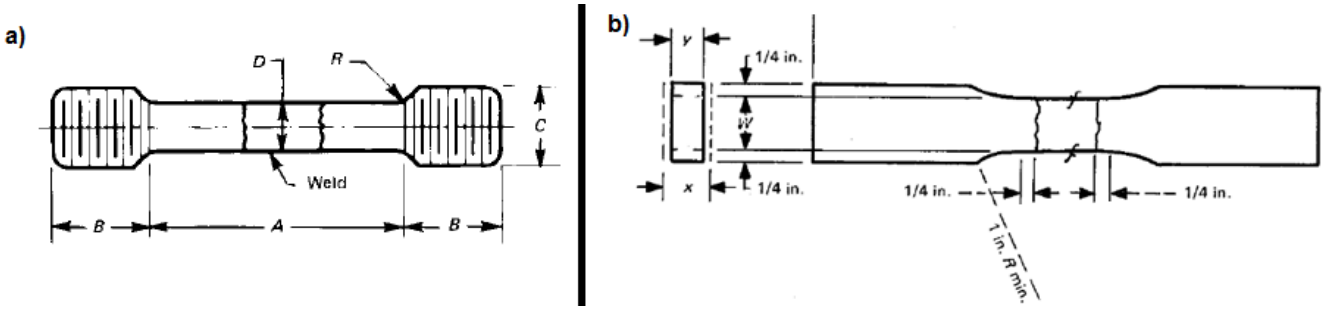
1-4-2-2 الاختبار الإتلافي للوصلات اللحامية:

هناك العديد من الاختبارات الإتلافية التي تساعد على اختبار جودة الوصلات اللحامية، قد تكون اختبارات ستاتيكية كاختبار الشد والثني (الانحناء) واختبار القساوة، أو ديناميكية كاختبار الصدم [16].

1-1-4-2-2 اختبار الشد:

يتم اقتطاع عينة قياسية من الوصلة اللحامية (الشكل2-6) واختبارها على آلة الشد، حيث يتم تثبيت العينة بين فكي الآلة وتطبيق حمولة ستاتيكية محورية حتى انهيار العينة. يتم في هذا الاختبار الحصول على عدة قيم منها القيم التالية: حد المتانة σ_{ut}، حد الخضوع σ_y، الاستطالة النسبية ε [16].

تتم مقارنة متانة معدن الدرزة اللحامية مع متانة معدن الأساس ومنطقة التأثر الحراري، ويجب أن تكون متانتها هي الأعلى ليتم قبول اللحام [14].



الشكل 2-6: عينة شد a) ذات مقطع دائري، b) ذات مقطع مستطيل وفق المواصفة العالمية ASMI SEC IX

المصدر: The American Society of Mechanical Engineers (2019)

2-1-4-2-2 اختبار القساوة الستاتيكية:

يعتمد هذا الاختبار على مقاومة المعدن المُختبر لتغلغل معدن أخر فيه أكثر قساوة منه. بمعرفة مقدار الانغماس في العينة وقيمة القوة المطبقة يمكن معرفة قيمة قساوة العينة، وتوجد عدة طرق لقياس القساوة أهمها طريقة روكويل HR، طريقة برينل HB، وطريقة فيكرز HV. وهناك جداول تساعد بتحويل القيم المقاسة بطريقة روكويل الى فيكرز أو برينل (الملحق 1) [16].

2-2-4-1-3 اختبار الصدم:

يستخدم هذا الاختبار لمعرفة مدى تحمل المادة للصدمات التي قد تتعرض لها في ظروف الاستثمار، وهناك عدة أشكال لعينات الصدم منها نموذج تشاربي، حيث توضع العينة على آلة الصدم ويتم توجيه الصدمة عليها بمطرقة نواسية تهبط بفعل ثقلها ومن ثم حساب العمل المصروف على كسر العينة W من العلاقة:

$$w = G.L(\cos\alpha - \cos\beta) \qquad (2\text{-}1)$$

حيث:

G- وزن المطرقة، L- طول ذراع النواس، β، α- زاويتي ميلان الذراع عن الشاقول قبل صدم العينة وبعده على التوالي [11].

2-2-4-1-4 اختبار الانحناء (الثني):

يدل اختبار الثني على الخواص المرنة للوصلة المدروسة، إذ يتم تعريض العينة لحمولة منتظمة، ويتحدد حد المتانة من العلاقة:

$$\sigma_{\mathrm{b}} = \mathrm{K}\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{F}} \qquad (2\text{-}2)$$

$\boldsymbol{\sigma_b}$- حد المتانة [MPa]، K- عامل التصحيح والذي تعطى قيمه من جداول خاصة حسب خواص كل معدن، P- القوة العظمى [N]،F- مساحة المقطع العرضي للعينة [mm^2].[14]

2-2-4-2 الاختبار اللاتلافي للوصلات اللحامية:

تختلف طرق الكشف عن العيب بحسب نوعه ومكان توضعه، وبحسب ذلك تصنف الطرائق اللاتلافية إلى الطرائق التي تكشف عن العيوب السطحية أو القرب سطحية (كالفحص البصري والفحص بالسوائل النفوذة والفحص بالجسيمات المغناطيسية والفحص بالتيارات الدوامية)، والطرائق التي تكشف عن العيوب الداخلية (مثل التصوير الشعاعي والفحص بالأمواج فوق الصوتية)[17].

2-3-5-1 الفحص البصري:

سواء بالعين المجردة أو بمساعدات الرؤية كالعدسات والمجاهر [16].

2-3-5-2 الفحص بالسوائل النفوذة:

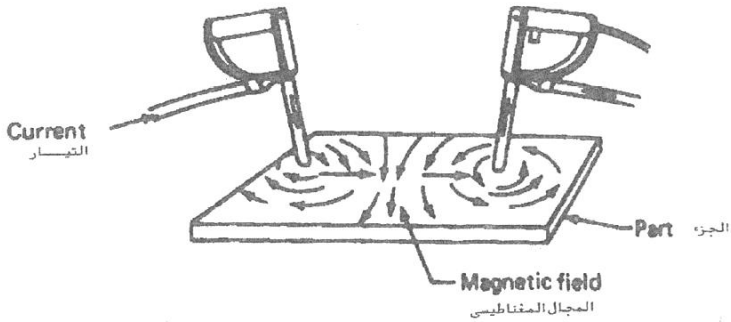
تتم هذه العملية باستخدام سوائل قادرة على التغلغل في الشقوق السطحية، ثم استخدام المادة المظهرة [16].

الشكل 2-7: طريقة السوائل النفوذة

المصدر: شافعي، محمود أحمد.(2011)، الفحص البصري للملحومات

5-3-2-3 الفحص بالجزيئات المغناطيسية:

حيث تترتب هذه الجزيئات بانتظام بفعل الحقل المغناطيسي المطبق وتتجمع بشكل غير منتظم حول الشقوق [16].



الشكل 2-8: الفحص بالجزيئات المغناطيسية

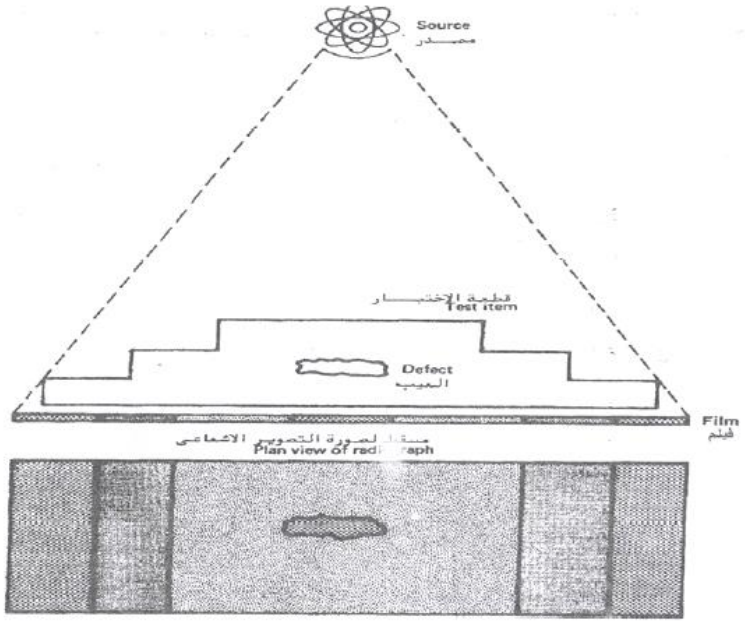
المصدر: شافعي، محمود أحمد.(2011)، الفحص البصري للملحومات

5-3-2-4 الاختبار بالتيارات الدوامية:

يمر تيار كهربائي في ملف فيتولد حقل كهربائي وحقل مغناطيسي حول الملف والذي يؤثر بالحث على المادة المراد فحصها فينشأ نتيجة ذلك تيارات دوامية والتي تكون قادرة على كشف العيوب تبعاً لتغير مقاومة المادة بفعل الشقوق[16].

5-3-2-5 الفحص بالتصوير الشعاعي:

وتستخدم للكشف عن العيوب الداخلية، ولها عدة أنواع منها استعمال أشعة اكس أو أشعة غاما التي تخترق المعدن وتؤثر على فلم التصوير [16].



الشكل 2-9: التصوير الشعاعي للملحومات

المصدر: شافعي، محمود أحمد.(2011)، الفحص البصري للملحومات

6-2-3-5 الاختبار بالأمواج فوق الصوتية:

يتم استخدام جهاز مرسل للأشعة فوق الصوتية، وتعتمد على فكرة اختراق هذه الأمواج وانعكاسها عن الشقوق وعن السطوح السليمة [16].

الفصل الثالث:

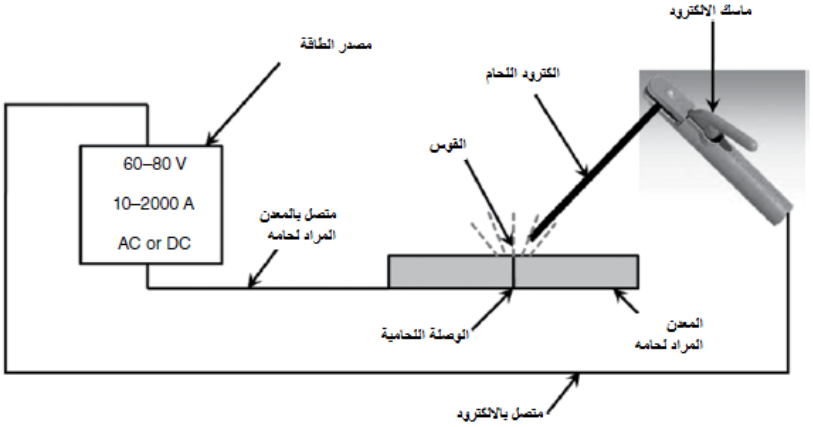
اللحام بالقوس الكهربائي

الفصل الثالث

اللحام بالقوس الكهربائي

3-1 القوس الكهربائي:

القوس الكهربائي هو عملية تفريغ مستمر للتيار الكهربائي بين الإلكترود ومعدن الأساس عبر الغاز المتأين بينهما يغذيهما توتر كهربائي، حيث يبدأ التفريغ الكهربائي بخلق انبعاث الكتروني من قطب سالب (المهبط) متمثلاً بالإلكترود إلى قطب موجب (المصعد) متمثلاً بمعدن الأساس. ينتج عن عملية التفريغ هذه حرارة عالية تؤدي إلى صهر موضعي لمعدن الأساس تساهم في عملية التحام المعادن. وبالتالي فالعوامل الأساسية لخلق القوس الكهربائي هي: الحرارة، التأين، الانبعاث[19][14].



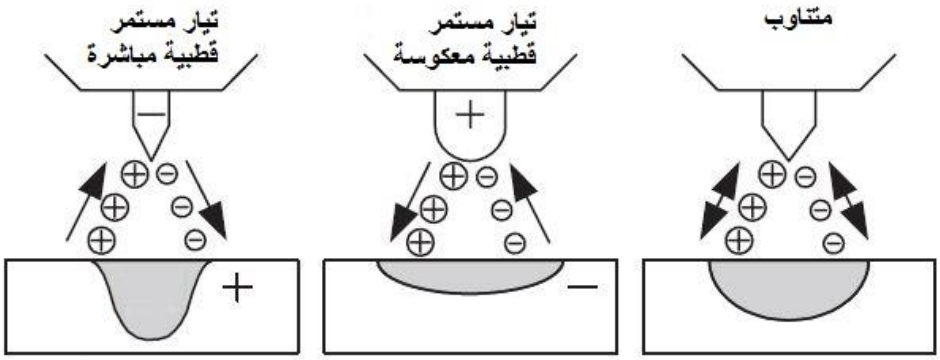
الشكل 3-1: دارة اللحام بالقوس الكهربائي

المصدر: Phillips, D. (2016), Welding Engineering

3-2 أساليب اللحام بالقوس الكهربائي:

يمكن تصنيف أساليب اللحام بالقوس الكهربائي بعدة طرق منها: [14]

1- مستوى المكننة والأتمتة: يمكن أن يتم اللحام بالقوس الكهربائي بشكل يدوي، أو بشكل نصف آلي حيث تتم تغذية سلك اللحام آلياً، أو أن يتم اللحام آلياً بشكل كامل دون تدخل عامل اللحام.
2- نوع التيار وقطبيته: إما أن يستخدم التيار المستمر ذي القطبية المباشرة أو العكسية أو التيار المتناوب، وذلك تبعاً لنوع المعدن المراد لحامه وأسلوب اللحام المتبع.

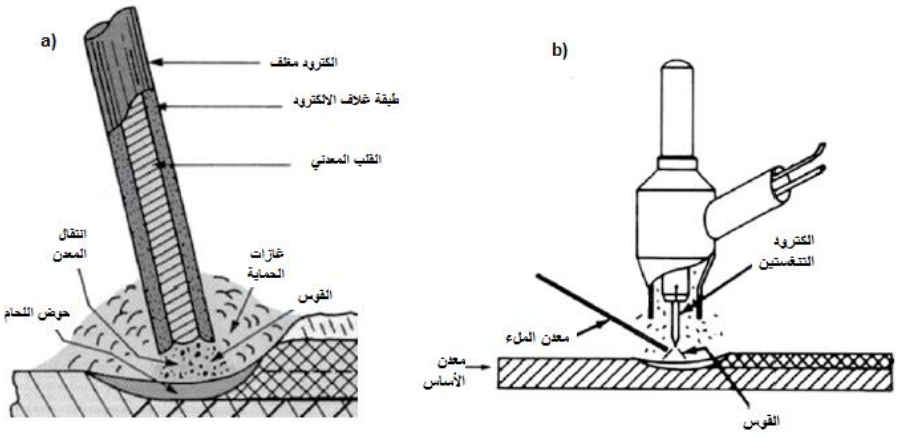


الشكل 3-2: نوع التيار الكهربائي وقطبيته

المصدر: Phillips, D. (2016), Welding Engineering

3- نوع القوس المشتعل: إذ يمكن إشعال القوس بين إلكترود اللحام والمعدن المراد لحامه فيسمى القوس ذو التأثير المباشر، أو أن يتم إشعاله بين إلكترودين فيسمى القوس ذو التأثير غير المباشر.

4- خواص الإلكترود: إما أن يكون الإلكترود المستخدم في اللحام لا ينصهر كإلكترود التنغستين فيمكن عندها استخدام معدن ملء لتشكيل الدرزة اللحامية، أو أن يكون إلكتروداً منصهراً يملأ حوض اللحام ويشكل الدرزة اللحامية.



الشكل 3-3: اللحام باستخدام: a) الكترود ينصهر، b) الكترود من التنغستين ومعدن ملء

المصدر: Phillips, D. (2016), Welding Engineering

5- نوع الحماية المستخدمة لمنطقة اللحام: يمكن أن يتم اللحام دون حماية لمنطقة اللحام عن طريق استخدام إلكترودات عارية أومغلفة بغلاف رقيق، بينما يعد استخدام إلكترودات ذات غلاف سميك أو استخدام طبقة من الفلاكس لحاماً ذا حماية لمنطقة اللحام.

6- ظروف تتبع اشتعال القوس: عندما تسمح الظروف التي يتم بها اللحام بمراقبة العملية يسمى عندها اللحام بالقوس المفتوح، وعندما يكون جزء من القوس مغطى بطبقة من الفلاكس يسمى بالقوس نصف المحجوب، بينما يعد القوس محجوباً عندما يكون مشتعلاً بالكامل تحت طبقة الفلاكس.

3-3 عناصر نظام اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي وطرائق حسابها:[14]

هناك العديد من العناصر التي تؤثر بالقوس الكهربائي ويجب أخذها بالحسبان منها:

1- قطر الإلكترود: يتم اختيار قطر الإلكترود تبعاً لنوع الوصلة اللحامية، ففي الوصلات التناكبية يتعلق قطر الإلكترود بسماكة الوصلة S، وفي الوصلات الزاوية يتعلق بطول ضلع الدرزة الزاوية K.يبين الجدول-1) (3 اختيار قطر الإلكترود.

الجدول 3-1: اختيار قطر الإلكترود

سماكة القطعة في اللحام التناكبي (S,mm)	1.5÷ 2.0	3	4÷ 8	9÷ 12	13÷ 15	16÷ 20	>20
قطر الإلكترود (d,mm)	1.6÷ 2.0	3	4	4÷ 5	5	5÷ 6	6÷ 10
طول ضلع الدرزة الزاوية (K,mm)	3			4÷ 5		6÷ 9	
قطر الإلكترود (d,mm)	2			4		5	

المصدر: سلامة، محمد علي، وموسى، عصام. (2005). طرائق التصنيع (3) (لحام المعادن)

2- شدة التيار: ترتبط شدة التيار بكل من قطر الإلكترود d المستخدم للحام وكثافة التيار المسموح بها J، وفق العلاقة:

$$I = \frac{\pi.d^2}{4}.J \qquad (3\text{-}1)$$

يُعطى قطر الإلكترود في هذه العلاقة بواحدة(mm) وكثافة التيار بواحدة($A/_{mm^2}$) لنحصل على شدة التيار بواحدة(A).

يتم الحصول على كثافة التيار المسموح بها (J) من جداول خاصة، حيث ترتبط قيم(J)بقطر الإلكترود ونوع التغطية.

هناك بعض العلاقات التجريبية التي يمكن استخدامها لحساب شدة التيار، نذكر منها العلاقة التالية:

$$I = k'.d \qquad (3\text{-}2)$$

حيث k' عامل تم تعيينه تجريبياً ويتعلق بقطر الإلكترود (الجدول 3-2).

الجدول 3-2: تعيين العامل k' تبعاً لقطر الإلكترود

d(mm)	2	3	4	5	6
k'	25÷30	30÷45	35÷50	50÷55	45÷60

المصدر: سلامة، محمد علي، وموسى، عصام. (2005). طرائق التصنيع (3) (لحام المعادن)

3- توتر القوس: بمعرفة شدة التيار يمكن معرفة توتر القوس، حيث تتراوح شدة التيار في اللحام الكهربائي اليدوي بين (70÷380A)، فيتراوح توتر القوس عندها ضمن المجال (20÷36V).

4- الطاقة الطولية (طاقة الدخل): ويقصد بها الدخل الحراري، ويتم حسابها اعتماداً على بارامترات نظام اللحام أنفة الذكر، حيث:

$$q_n = \frac{q}{v} = \frac{0.24 \times I \times U \times \eta}{v} [\frac{Cal}{cm}] \quad (3\text{-}3)$$

حيث: q- استطاعة القوس الكهربائي، v- سرعة اللحام، U- توتر القوس، I- شدة التيار، η- مردود القوس الكهربائي اليدوي ويتراوح بين (0.7÷0.9)

وتتعين سرعة اللحام من العلاقة:

$$v = \frac{\alpha_m . I}{3600 . \gamma . F_n} [\frac{Cm}{Sec}] \quad (3\text{-}4)$$

حيث: α_m- معامل صهر معدن الإلكترود [g/A.h]. γ - الوزن النوعي لمعدن الإلكترود $[g/Cm^3]$. F_n- مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف بعد كل مسار من مسارات اللحام $[Cm^2]$.

3-4 ميتالوروجيا اللحام:

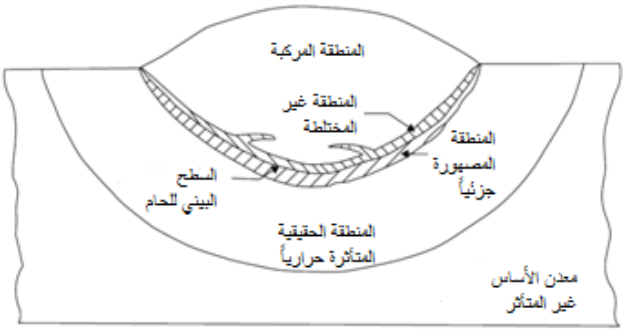
تصف ميتالوروجيا اللحام العمليات الميتالوروجية التي تحدث في معدن اللحام والمناطق المجاورة له وتأثيرها على البنية المجهرية وخواص الوصلة اللحامية، حيث تتم دراسة العوامل المؤثرة في عملية اللحام وأسباب حدوث العيوب فيها ومحاولة التحكم ببارامترات اللحام للحصول على وصلات لحامية ذات جودة عالية.

من أهم العوامل المسببة لحدوث تغيرات ميتالوروجية على المعدن الملحوم هو خضوع المعدن خلال عملية اللحام لمعدلات تسخين وتبريد سريعة جداً تؤثر بشكل كبير في شكل البنية المجهرية الناتجة ونوعها بعد اللحام والتي تؤثر بدورها في الخواص النهائية للوصلة اللحامية. وكذلك فإن اللحام باستخدام معدن ملء أو اللحام دون استخدامه له دور كبير في خواص الوصلة الناتجة. يتم عادة اختيار معدن ملء مشابه لمعدن الأساس بتركيبه الكيميائي، ولكن في بعض

الحالات يتم اختيار معدن ملء غير مشابه لمعدن الأساس بالتركيب ولكن متوافق معه، وذلك بغية الحصول على خواص معينة للحام الناتج[18] .

1-4-3 منطقة الدرزة اللحامية والمناطق المجاورة لها:

تتنوع البنية المجهرية من منطقة إلى أخرى في الوصلة اللحامية بسبب اختلاف التوزع الحراري على مناطق الوصلة، إذ تبدأ الحبيبات الأولى الأقرب إلى المعدن الأساس غير المنصهر بالتبلور في حوض اللحام، وتتشكل نوى تجمد يبدأ منها التبلور ويحافظ على الاتجاه البلوري نفسه، ومع استمرار التجمد فإن شكل نمو التبلور إما أن يكون شجري (دندريتي) أو خلوي. يمكن ملاحظة منطقتين أساسيتين في الدرزة اللحامية هما المنطقة المصهورة (حوض اللحام) ومنطقة التأثر الحراري [14] [18] .



الشكل 3-4: مناطق الدرزة اللحامية والمناطق المجاورة لها

المصدر: Lippold, John C., (2015). Welding Metallurgy and Weldability

1. المنطقة المصهورة:

هي المنطقة التي صُهرت بشكل كامل ومن ثم تبلورت من جديد، وتعتمد بنيتها النهائية على التركيب الكيميائي وظروف التجمد، وإن أي تغير صغير في هذين العاملين قد يؤدي إلى تغير كبير في بنيتها وخواصها. بالحالة العامة وعند استخدام معدن ملء مغاير بتركيبه لمعدن الأساس فإن هذه المنطقة ستتكون من ثلاث مناطق هي المنطقة المركبة Composite Zone والمنطقة غير المختلطة (غير الممتزجة) Unmixed Zone والمنطقة الانتقالية Transition Zone[18].

1) المنطقة المركبة CZ: وهي أكبر المناطق المتشكلة، وتتألف من معدن الملء المختلط بنسب قليلة مع معدن الأساس.

وبجوار حدود الصهر قد تتواجد المنطقتان:

2) المنطقة غير المختلطة (غير الممتزجة) UMZ: منطقة ضيقة من معدن الأساس مجاورة لحدود الصهر، تتألف من معدن الأساس المصهور والمعاد تبلوره مع نسبة ضئيلة من معدن الملء.

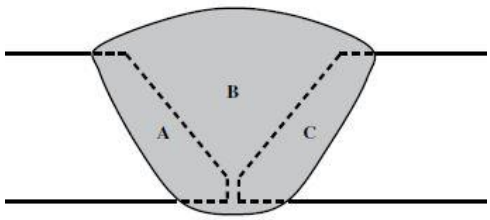
3) المنطقة الانتقالية TZ: وتوجد بين المنطقتين السابقتين عندما يكون لدينا تغير متدرج في التركيب بين معدن الأساس ومعدن المنطقة المركبة.

ويمكن تصنيف أنواع المنطقة المصهورة حسب نوع اللحام إلى:

- ذاتية التولد: ونحصل عليها عندما يتم اللحام من دون إضافة معدن ملء حيث تتألف المنطقة المصهورة عندها من معدن الأساس فقط، ويستخدم هذا النوع من اللحام عندما تكون السماكات قليلة والتغلغل يمكن أن يحدث بسهولة عند اختيار عملية اللحام الملائمة [18] [1].
- المنطقة المتجانسة: نحصل عليها عندما يتم اللحام باستخدام معدن ملء بتركيب مماثل لمعدن الأساس، مثال لحام معدن الأساس من 316L باستخدام معدن ملء 316L.[18]
- المنطقة غير المتجانسة: نحصل عليها عندما يتم اللحام باستخدام معدن ملء بتركيب مغاير لمعدن الأساس. هناك حالات يكون فيها معدن الأساس ذا قابلية لحام منخفضة فيكون استخدام معدن ملء من تركيب مختلف عنه هو الحل الأمثل للحصول على لحام جيد وبخواص ملائمة للتطبيق المطلوب. مثال هذا النوع من اللحام هو لحام معدن الأساس 304L بواسطة معدن ملء [18] 308L.

يمكن التعبير عن نسبة المزج بين المعدن الأساس المصهور ومعدن الملء كنسبة مئوية تحسب من العلاقة:

$$\% \text{ المزجنسبة} = \frac{\text{الأساسالمعدنمساحة}}{\text{اللحاممعدنمساحة(صلبةكتلة)}} * 100 = \frac{A+B}{\text{A+B+C}} * 100 \qquad (3\text{-}5)$$



الشكل 3-5: نسبة المزج

المصدر: Lippold, John C., (2015). Welding Metallurgy and Weldability

تتعلق نسبة المزج بعدة عوامل منها تصميم الوصلة ونوع عملية اللحام وبارامترات اللحام، وتؤثر نسبة المزج في البنية المجهرية والخواص للوصلة. عندما تكون نسبة المزج 100% ذلك يعني أن اللحام ذاتي، والنسبة (10-40) شائعة بين اللحامات القوسية، وتعني النسبة 10% مزج أن هذه المنطقة تحتوي على 10% من معدن الأساس و 90% من معدن الملء [18].

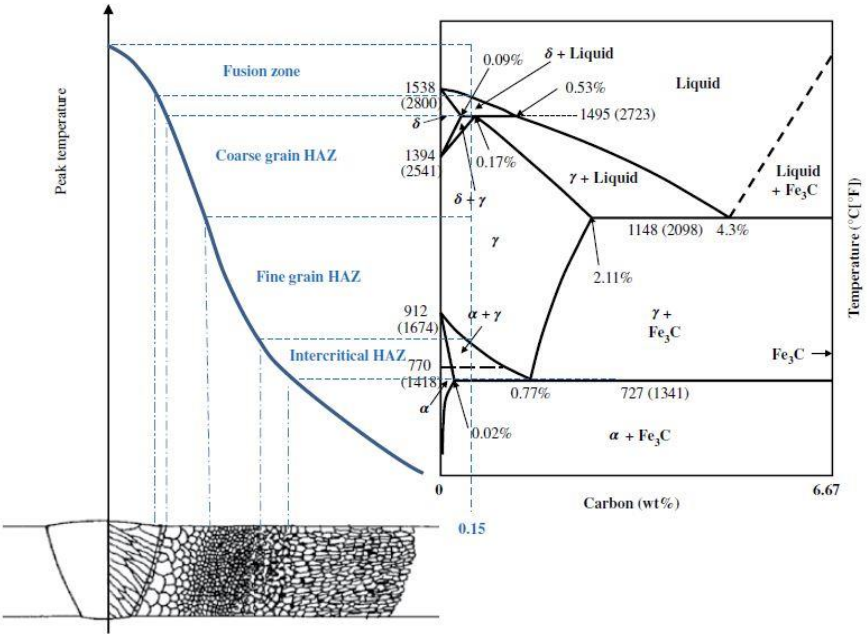
2. منطقة التأثر الحراري Heat-Affected Zone:

هي المنطقة من معدن الأساس المجاورة لمعدن اللحام والتي لم تنصهر ولكن بنيتها البلورية وخواصها الميكانيكية تغيرت بسبب تأثرها بحرارة اللحام. تتألف من منطقتين هما المنطقة المصهورة جزئياً Partially Melted Zone والمنطقة الحقيقية المتأثرة حرارياً True-Heat Affected Zone.[18] [1]

1) المنطقة المصهورة جزئياً PMZ: وهي منطقة تفصل بين المنطقة المصهورة والمنطقة الحقيقية المتأثرة بالحرارة حيث تتدرج من معدن مصهور بشكل كامل عند حدود الصهر إلى معدن متصلب بشكل كامل في المنطقة المتأثرة بالحرارة. يُلاحظ عادةً في هذه المنطقة انصهار موضعي على حدود الحبيبات وانفصال بنيوي لبعض العناصر.
2) المنطقة الحقيقية المتأثرة بالحرارة T-HAZ: وهي مجاورة للمنطقة المصهورة جزئياً وتفصلها عن معدن الأساس غير المتأثر بالحرارة، وفيها تحدث جميع التفاعلات الميتالوروجية بالحالة الصلبة (مثل إعادة التبلور ونمو الحبيبات والتحولات الطورية الآلوتروبية)، وتتأثر بشكل كبير بالدورة الحرارية للحام وظروف تدفق الحرارة، غالباً ما يرتبط الانخفاض في خواص الوصلات اللحامية بهذه المنطقة.

بالابتعاد عن مكان تأثير قوس اللحام تنخفض درجة حرارة المعدن، حيث تتسرب الحرارة إلى المعدن الأساس عن طريق التوصيل والإشعاع مما يؤثر في البنية البلورية لهذه المنطقة. تبدأ البلورات في التكون عند الحد الفاصل بين حوض اللحام ومعدن الأساس الصلب، تنمو البلورات بدرجات مختلفة تبعاً لاختلاف ظروف نموها فبعضها ينمو بسرعة والاخر ينمو ببطء.

وبأخذ الفولاذ كمثال يمكننا ملاحظة كيفية تغير البنية تبعاً لمخطط توازن الحديد والكربون



الشكل 3-6: تغير البنية المكروية لمختلف المناطق في الوصلة اللحامية

المصدر: Lippold, John C., (2015). Welding Metallurgy and Weldability

3-4-2 ميتالوروجيا المعادن متباينة التركيب الكيميائي:

عند لحام المعادن متباينة التركيب الكيميائي يجب الانتباه إلى الاختلاف في خواصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية، إذ قد تظهر العديد من الصعوبات عند لحامها مثل الحصول على بنية مليئة بالعيوب بسبب عدم تجانس المواد الملحومة معاً، وبالتالي فإن أهم العوامل المؤثرة في تقانة لحام المعادن متباينة التركيب الكيميائي: قابلية ذوبان معدن اللحام ومعدن الأساس معاً، تشكل مركبات سبائكية قد تسبب شقوق أو انخفاض في الخواص الميكانيكية للوصلة اللحامية، ووجود اختلاف في معامل التمدد الحراري بين المعدنين والذي قد يسبب توزع غير منتظم في الاجهادات المتبقية يؤدي لفشل الوصلة اللحامية، كما أن الاختلاف في درجات حرارة الانصهار بين المعدنين سيتطلب معالجة خاصة بهدف تحقيق توازن في عملية صهر ولحام المعدنين. إن الاختلاف في الجهد الكهروكيميائي قد يزيد من حساسية التآكل في منطقة التأثر الحراري مما يسبب مشاكل خطيرة جداً. وهناك الكثير من الصعوبات الأخرى مثل: تشكل طبقة أكسيد، قلة الانحلالية بينهما، بنية هجينة، تشكل أطوار سبائكية هشة، اختلاف بالخواص الميكانيكية كالاجهاد ومعامل يونغ [20] [1].

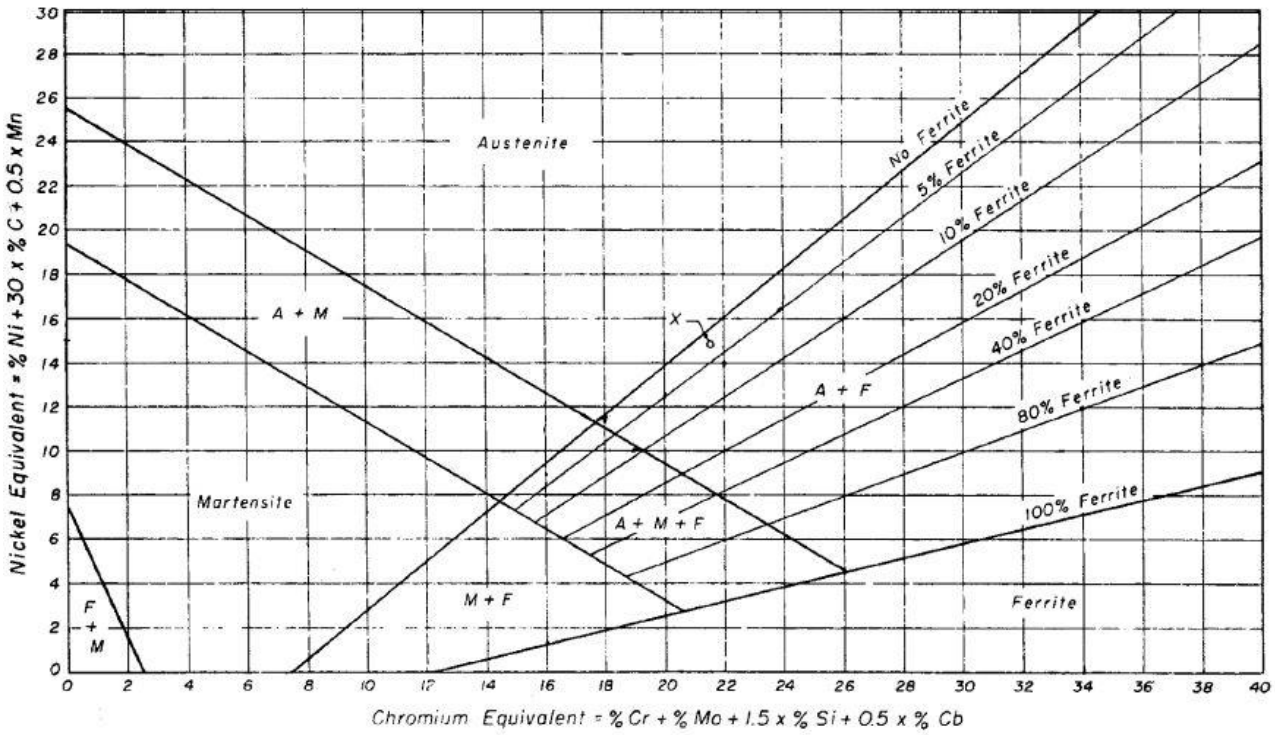
3-4-3 مخطط شيفلر:[20] [21]

عندما يتم اللحام باستخدام معدن ملء فإن منطقة اللحام ستكون عبارة عن مزيج من معدن الأساس بنسبة 20% ومعدن الملء بنسبة 80% مع الإشارة إلى أن هذه النسبة تعتمد على نوع عملية اللحام ونوع الوصلة وبارامترات اللحام. يستخدم مخطط شيفلر لتحديد نوع البنية المجهرية المتوقعة في منطقة اللحام عند مزج معدن ملء ومعدن أساس مختلفين عن بعضهما.

يمثل المحور الأفقي للمخطط مكافئ الكروم والذي يعبر عن الكروم والعناصر الأخرى المشكلة للفريت بينما يمثل المحور العمودي مكافئ النيكل والذي يعبر عن النيكل والعناصر الأخرى المشكلة للأوستنيت وذلك وفقاً للمعادلات التالية:

$$\text{Chrome Equivalent}=\%Cr+\%Mo+1.5\%Si+0.5\%Nb \quad (3\text{-}6)$$

$$\text{Nickel Equivalent}=\%Ni+30\%C+0.5\%Mn \quad (3\text{-}7)$$

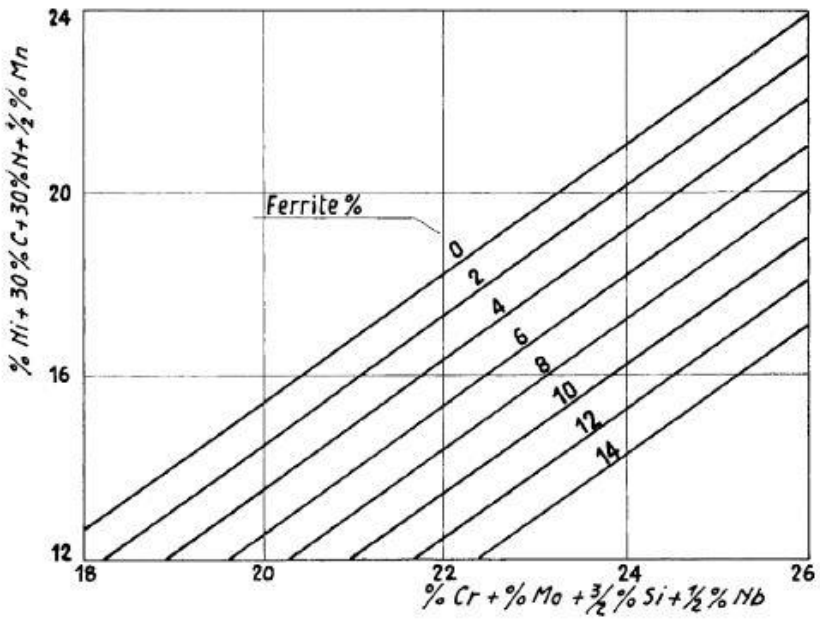


الشكل 3-7: مخطط شيفلر

المصدر: Guiraldenq, P., Duparc, O. H., (2017) The genesis of the Schaeffler diagram in the history of stainless steel

مساوئ هذا المخطط أنه لا يضم النتروجين والذي يُعدُّ عنصراً أساسياً بتشكيل الأوستنيت.

يظهر ضمن المخطط نسبة الفريت أو ما يسمى الرقم الفريتي والذي يستخدم خاصية الجذب المغناطيسي لمعرفة نسبة الفريت دلتا. تمت إضافة الرقم الفريتي على مخطط شيفلر المعدّل والذي يسمى مخطط ديلونغ Delong، وفي هذا المخطط بقي كل من مكافئ النيكل ومكافئ الكروم على حالهما مع إضافة النتروجين إلى قيمة مكافئ النيكل.



الشكل 3-8: مخطط شيفلر المعدل

المصدر: Guiraldenq, P., Duparc, O. H., (2017) The genesis of the Schaeffler diagram in the history of stainless steel

الفصل الرابع:

الإجراء العملي

الفصل الرابع

الإجراء العملي

1-4 مقدمة:

تم استخدام صفائح من الفولاذ الكربوني St37-2 وSt52-3 والفولاذ المقاوم للصدأ AISI316L و AISI304 ذات الثخانات المختلفة والموضحة بالجدول (4-1)، حيث تم اقتطاعها من الصفائح الأساسية باستخدام آلة القص بالبلازما الشكل(4-3). تم لحام هذه الصفائح لحاماً كهربائياً يدوياً باستخدام آلة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي الشكل(4-4).

الجدول 4-1: ثخانات الصفائح المعدنية المستخدمة

المعدن	ثخانة الصفيحة (mm)
الفولاذ الكربوني St37-2	4.6-5-6-10
الفولاذ الكربوني St52-3	4-6-7-9
الفولاذ المقاوم للصدأ 304	2-4-6-8
الفولاذ المقاوم للصدأ 316L	3-4

المصدر: من إعداد الباحثة

2-4 التركيب الكيميائي للمعادن المستخدمة:

تم استخدام جهاز التحليل الطيفي SPECTRO MAX لإيجاد التركيب الكيميائي للمعادن المستخدمة في البحث، الموضحة بالجداول (4-2)، (4-3)، (4-4)، (4-5):

الجدول 4-2: التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ الكربوني St 52-3

نوع الفولاذ	C	Si	Mn	P	S
St 52-3	0.22	0.55	1.6	0.04	0.04

المصدر: من إعداد الباحثة

الجدول 4-3: التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ الكربوني St 37-2

نوع الفولاذ	C	Si	Mn	P	S
St37-2	0.11	0.12	0.37	0.008	0.004

المصدر: من إعداد الباحثة

الجدول 4-4: التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ 304

نوع الفولاذ	Cr%	Ni%	Mn%	Si%	C%
S.S 304	17.5	8	2	1	0.07

المصدر: من إعداد الباحثة

الجدول4-5: التركيب الكيميائي لعينات الفولاذ المقاوم للصدأ 316L

نوع الفولاذ	Cr%	Ni%	Mn%	Si%	C%	Mo%	N%	P%	S%
S.S 316L	16	10	2	1	0.08	2	0.1	0.05	0.03

المصدر: من إعداد الباحثة

4-3 الخواص الميكانيكية للمعادن المستخدمة:

تم تطبيق اختبار الشد على المعادن المدروسة وفق المواصفة العالمية ASMI SEC IX، لمعرفة متانة الشد لكل منها. تبين الأشكال(4-1)، (4-2) عينات الشد قبل الاختبار وبعده، ونتائج اختبار الشد موضحة بالجدول (4-6):

الشكل 4-1:عينات الشد المحضرة وفق المواصفة ASMI SEC IX

المصدر: من إعداد الباحثة

الشكل 4-2: العينات المختبرة وفق المواصفة ASMI SEC IX

المصدر: من إعداد الباحثة

الجدول 4-6: متانة الشد للمعادن المدروسة وفقاً للمواصفة ASMI SEC IX

العينة	المعدن	أبعاد المقطع العرضي [mm]	الحمل الأعظم $[Kg_f]$	الإجهاد الأعظم [MPa]
A1	S.S 304	20.5*1.8	2610.0	693.90
A2	S.S 316L	20.5*1.8	2400	638.05
B	St 52-3	20.0*4.0	4100	502.76
C	St 37-2	20.0*4.8	4150.0	424.08

المصدر: من إعداد الباحثة

يوضح الجدول (4-7) الخواص الميكانيكية للمعادن المدروسة في البحث، مأخوذة من المواصفتين العالميتين ASTM و DIN.[26][25]

الجدول 4-7: الخواص الميكانيكية للمعادن المدروسة نظرياً

المعدن	القساوة [HB]	الإجهاد الأعظم[MPa]	إجهاد الخضوع[MPa]
St52-3 [26]	Max 201	490-630	Min 355
St37-2 [26]	Max 150	340-470	Min 235
S.S 304 [25]	Max 185	Min 515	Min 205
S.S 316L [25]	Max 185	Min 485	Min 170

المصدر: ASTM A270-a03, DIN 17100

4-4 الآلات والأجهزة والمحاليل المستخدمة في البحث:

4-4-1 آلة القص بالبلازما:

تم استخدام آلة القص بالبلازما نوع SAF ZIP 2.0الشكل (4-3) لقص الصفائح المراد دراستها من الصفائح الأولية.

الشكل 4-3: آلة القص بالبلازما

المصدر: من إعداد الباحثة

4-4-2 آلة اللحام الكهربائي ذات المحرك:

تسمى مجموعة لحام، وتعد أفضل من آلات اللحام الحديثة من حيث استقرار التيار. مواصفات آلة اللحام موضحة بالجدول (4-8) والشكل (4-4).

الجدول 4-8: مواصفات آلة اللحام بالقوس الكهربائي

تيار اللحام (A)	(0-400) A
فولت التغذية	(0-100) V

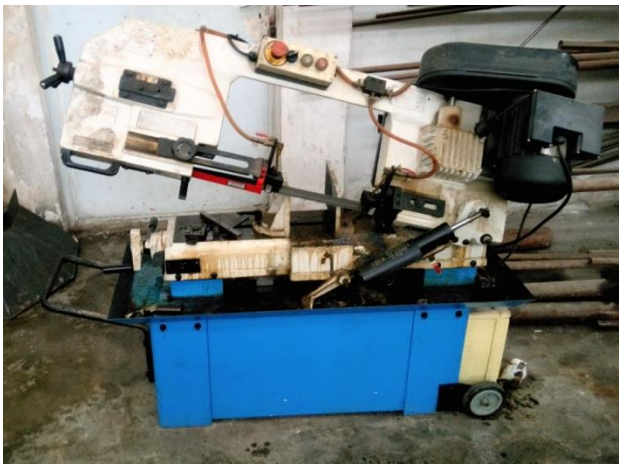
المصدر: من إعداد الباحثة

الشكل 4-4: آلة اللحام بالقوس الكهربائي

المصدر: من إعداد الباحثة

3-4-4 منشار القص الكهربائي:

تم استخدام منشار القص الكهربائي نوع BS-912Bالشكل (4-5) لقص عينات بعرض 20mm من الوصلات الملحومة بهدف استخدامها لدراسة القساوة والبنية المجهرية.



الشكل 4-5: منشار القص الكهربائي

المصدر: من إعداد الباحثة

4-4-4 آلة التفريز CNC:

تم استخدام آلة التفريز المبرمجة الشكل (4-6) للحصول على شكل عينات الشد من الوصلات الملحومة وفق المواصفة العالمية ASME Sec IX .

الشكل 4-6: آلة التفريز المبرمجة CNC

المصدر: من إعداد الباحثة

5-4-4 آلة التجليخ:

تم استخدام آلة التجليخ الشكل (4-7) والتي تحتوي على حجري تجليخ، أحدهما للتجليخ الخشن والذي تم استخدامه أثناء عمليات الشنفرة، والحجر الآخر للتجليخ الناعم والذي تم استخدامه لتنعيم السطوح بمختلف المراحل.

الشكل 4-7: آلة التجليخ

المصدر: من إعداد الباحثة

4-4-6 آلة الصقل والتلميع:

يتم إزالة بقايا الحمض والصدأ المتشكل على السطح بعملية صقل السطوح على آلة الصقل، والتي هي عبارة عن قرص دوار مغطى باللباد أو ورق الشحذ عالي النعومة الشكل (4-8). يتم استخدام أوكسيد الالمنيوم كمادة حاكة ولتخفيف أثر الحرارة الناتج عن الاحتكاك.

الشكل 4-8: آلة الصقل والتلميع

المصدر: من إعداد الباحثة

4-4-7 جهاز التحليل الطيفي:

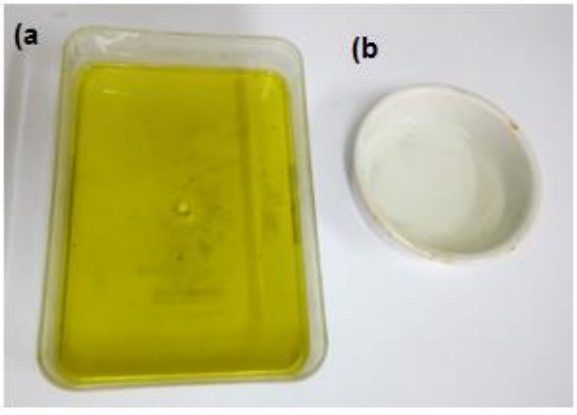
تم استخدام جهاز التحليل الطيفي SPECTRO MAX لتحديد العناصر المكونة للفولاذ المدروس. حيث يعتمد مبدأ عمل الجهاز على تشرد المركبات الكيميائية لتوليد جزيئات مشحونة وقياس نسبة كتلتها إلى شحنتها. يبين الشكل (4-9) جهاز التحليل الطيفي المستخدم.

الشكل 4-9: جهاز التحليل الطيفي

المصدر: من إعداد الباحثة

4-4-8 أحماض التنميش:

يتم استخدام نوعين من الأحماض لتنميش أنواع الفولاذ المستخدمة في البحث والمراد دراسة بنيتها المكروية، الحمض الأول هو حمض الآزوت المخفف (بنسبة 4%) مع الكحول لتنميش وصلات اللحام من الفولاذ الكربوني، والحمض الثاني عبارة عن مزيج من حمض كلور الماء (بنسبة 45%) وحمض الآزوت (بنسبة 10%) وماء مقطر(بنسبة 45%) وذلك لتنميش وصلات اللحام من الفولاذ المقاوم للصدأ الشكل (4-10).



الشكل 4-10: a) مزيج أحماض (حمض كلور الماء، حمض الآزوت، ماء مقطر)، b) حمض الآزوت الممدد مع الكحول

المصدر: من إعداد الباحثة

9-4-4 المجهر الضوئي:

يعتمد المجهر الضوئي على مبدأ انعكاس الضوء عن سطح المعدن لفحص البنية المجهرية، إذ تمت دراسة البنية عند نسبتي تكبير X100 و X200 باستخدام مجهرين ضوئيين من شركة OLYMPUS. الشكل(4-11)

الشكل 4-11: مجهران ضوئيان من شركة OLYMPUS

المصدر: من إعداد الباحثة

10-4-4 جهاز قياس القساوة الماكروية:

تم قياس القساوة الماكروية لكل عينة باستخدام جهاز قياس القساوة الماكروية (AFFRI) الشكل (4-12). حيث يقوم هذا الجهاز بإظهار قيمة القساوة مباشرة على شاشة موجودة أعلى الجهاز حسب برنامج القساوة المختار.

الشكل 4-12: جهاز قياس القساوة الماكروية (AFFRI)

المصدر: من إعداد الباحثة

4-4-11 آلة اختبار الشد الستاتيكي:

تم استخدام آلة الشد الستاتيكي نوع TesT 114 الشكل (4-13). يتم رسم مخطط الشد أثناء عملية الشد عن طريق الحاسب المرفق.

الشكل 4-13: آلة الشد الستاتيكي نوع (TesT 114)

المصدر: من إعداد الباحثة

5-4 المتغيرات المدروسة:

جرى لحام الصفائح الفولاذية ذات الثخانات المتباينة باستخدام تقنية لحام الصهر بالقوس الكهربائي وفقاً لوضعيتي لحام، حيث تم لحام العينتين D2,D3 لحاماً تراكبياً، بينما كان لحام باقي العينات تناكبياً. وتم تحديد زوايا الشنفرة للصفائح الملحومة معاً وفقاً لثخانة كل منها. ويبين الجدول (4-9) ثخانات ووضعيات لحام الصفائح المعدنية.

الجدول 4-9: ثخانات الصفائح الملحومة معاً ووضعيات لحامها

اسم العينة	وضعية اللحام	معدن الأساس الاول	ثخانته (mm)	زاوية الشنفرة	معدن الأساس الثاني	ثخانته (mm)	زاوية الشنفرة
A	تناكبي	St37-2	5	45°	St52-3	7	45°
B	تناكبي	St37-2	10	60°	St52-3	6	45°
C	تناكبي	St37-2	6	45°	St52-3	9	45°
D1	تناكبي	S.S 304	4	دون	S.S 316L	3	دون
D2	تراكبي	S.S 304	2	دون	S.S 316L	4	دون
D3	تراكبي	S.S 304	8	دون	S.S 316L	4	دون
E1	تناكبي	S.S 304	6	45°	St52-3	4	45°
E2	تناكبي	S.S 304	6	45°	St37-2	4.6	45°

المصدر: من إعداد الباحثة

وبالتالي تغيرت بارامترات اللحام تبعاً لكل حالة وفق الجدول التالي:

الجدول4-10: بارامترات اللحام المستخدمة (التيار مستمر ذو قطبية مباشرة)

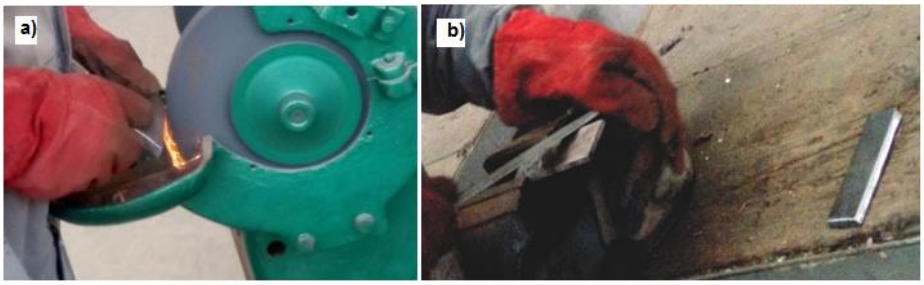
العينة	إلكترود اللحام	شدة التيار (A)	توتر القوس(V)	زمن اللحام (Sec)	عدد مسارات اللحام
A	E6013, E7018-1	100	25	185	2
B	E6013, E7018-1	100	25	260	3
C	E6013, E7018-1	110	25	250	3
D1	E316L-16	120	24	100	2
D2	E316L-16	109	24	90	2
D3	E316L-16	109	25	75	2
E1	E316L-16	111	25	100	2
E2	E316L-16	111	25	90	2

المصدر: من إعداد الباحثة

4-6 خطوات إجراء البحث:

4-6-1 تحضير العينات قبل عملية اللحام:

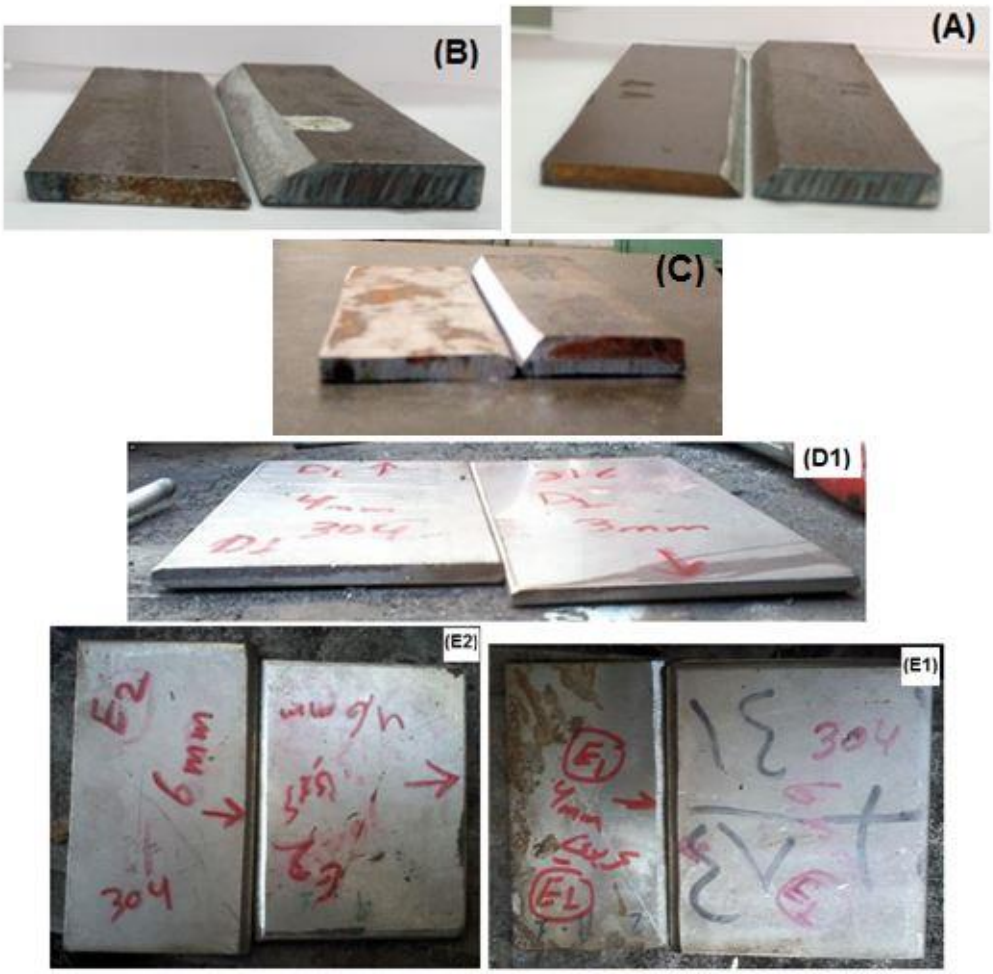
تخضع الصفائح المعدنية لعدة عمليات ميكانيكية من أجل تجهيزها وتحضيرها لعملية اللحام، حيث يتم أولاً إزالة خشونة سطوح القص وتنظيف الصفائح من الصدأ بعملية التجليخ على القرص الناعم، ومن ثم تثبت العينات على الملزمة لتنعيم سطوحها وتنظيف ما تبقى من صدأ عليها باستخدام المبرد الشكل (4-14-b). بعد ذلك تتم شنفرة الحواف المراد لحامها من الصفائح بزوايا محددة متناسبة مع الثخانة باستخدام قرص الجلخ الشكل (4-14-a)، بينما لم تتم شنفرة العيناتD1، D2، D3كما هو موضح بالجدول (4-9).



الشكل 4-14: a) شنفرة الحواف، b) التنظيف بالمبرد

المصدر: من إعداد الباحثة

ويظهر الشكل (4-15) عينات اللحام التناكبي بعد شنفرتها وتجهيزها لعملية اللحام:



الشكل 4-15: تجهيز العينات وشنفرتها قبل اللحام

المصدر: من إعداد الباحثة

4-6-2 لحام العينات:

المجموعة الأولى (العينات A,B,C) : عبارة عن صفائح من الفولاذ الكربوني، والتي تم لحامها باستخدام آلة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي، وباستخدام إلكترود اللحام من الفولاذ منخفض الكربون، حيث تم لحام المسار الأول للوصلة اللحامية (جذر الدرزة اللحامية) باستخدام إلكترودات من النوع E6013 ، بينما جرى لحام باقي المسارات باستخدام إلكترودات من النوع E7018-1.

المجموعة الثانية (العينات D1, D2, D3, E1, E2)، والتي هي عبارة عن صفائح من الفولاذ المقاوم للصدأ،والتي تم لحامها معاً وأخرى تم لحامها مع صفائح من الفولاذ الكربوني باستخدام آلة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي وإلكترود اللحام من الفولاذ المقاوم للصدأ E316L-16.

استخدم التيار المستمر للحام الصفائح الفولاذية المدروسة في البحث، وذلك لأن التيار المستمر يحقق ثبات بشدة تيار اللحام واستقرار لقوس اللحام. تم تحديد شدة التيار الابتدائية تبعاً لنوع الفولاذ المراد لحامه في كل حالة، واختيرت القطبية المباشرة لأن المعدن الملحوم هو الفولاذ والذي يحتاج إلى درجات حرارة عالية ليتم صهره.

توضع الصفائح المراد لحامها معاً بحيث يكون هناك فراغ تحت المنطقة المراد لحامها تجنباً لاحتباس الغازات بمعدن اللحام أثناء عملية اللحام كما هو موضح بالشكل (4-16).

الشكل 4-16: وضعية العينة أثناء اللحام

المصدر: من إعداد الباحثة

يتم تلقيط صفيحتي اللحام معاً بنقطتي لحام (أو أكثر)، بحيث يكون الخلوص بين طرفي الوصلة متناقص من بدايتها (2mm) حتى نهايتها (1mm) وذلك تجنباً لهبوط المعدن عند نهاية الدرزة فيما لو كان هذا الفراغ كبيراً. موضحة بالشكل (4-17). مع الإشارة إلى أن ارتفاع الحافة العمودية للجذر mm (2-1).

الشكل 4-17: خلوص متناقص بين طرفي الوصلة

المصدر: من إعداد الباحثة

يتم لحام الجذر بقطر إلكترود 2.5mm وتعطى الوصلة حرارة عالية أي تيار لحام عال لضمان تخريق معدن اللحام لكامل الجذر، ويكون طول عمود القوس تقريباً 3mm، نلاحظ أن طول عمود القوس يتناسب مع شدة التيار ومع الحرارة المتولدة، لذلك ولتقليل الحرارة المعطاة للدرزة يجب تقليل شدة التيار ويمكن التحكم بذلك عن طريق تقليل طول عمود القوس، والذي يتم تدريجياً حتى يصل الى 2mm في منتصف الدرزة و 1mm في نهايتها وذلك لتجنب إعطاء الوصلة حرارة زائدة قد تسبب عيوب لاحقة في اللحام مثل الحروق وحزوز اللحام. ينظف معدن اللحام في منطقة الجذر بعملية الطرق تحضيراً للحام المسار التالي، حيث يستخدم الإلكترود ذو القطر 3.2mm للحام باقي

المسارات، ويكون تيار اللحام عالي القيمة في البداية حتى يصهر معدن المسار السابق وبالتالي يكون طول عمود القوس عندها 3mm ثم يخفض مباشرة حتى 1.5mm وذلك لأن الوصلة اللحامية مازالت محتفظة بحرارة كامنة من لحام المسار السابق.

يتم تحريك الإلكترود بحركة دورانية، حيث يرتبط عرض درزة اللحام بقطر هذه الدوائر وارتفاعها بطول عمود القوس. تكون زاوية اللحام حوالي (°70-°60)، يتم توجيه الإلكترود نحو المعدن الأكثر ثخانة نظراً لاختلاف الثخانة بين المعدنين الملحومين وذلك بغاية تحقيق توازن في صهر المعدنين معاً.

في حالة العينة Cالشكل (4-18) لم يتم تخريق معدن اللحام للجذر كاملاً، لذلك تمت شنفرة الجذر بزاوية 45 باستخدام صاروخ الجلخ ثم لحام مسار جديد بإلكترود ذي قطر 3.2mm.

أما العينة B فقد احتاجت إلى مسار لحام ثالث نظراً لسماكتها الكبيرة.

الشكل 4-18: شنفرة الجذر للعينة C

المصدر: من إعداد الباحثة

تم لحام العينتين D2,D3 تراكبياً، حيث تم لحام الوجه العلوي أولاً ثم لحام الطرف الآخر من الوصلة التراكبية.

وتوضح الأشكال (4-19).....(4-23) العينات بعد لحامها:

العينة A

الشكل 4-19: العينة A بعد اللحام

المصدر: من إعداد الباحثة

العينة B

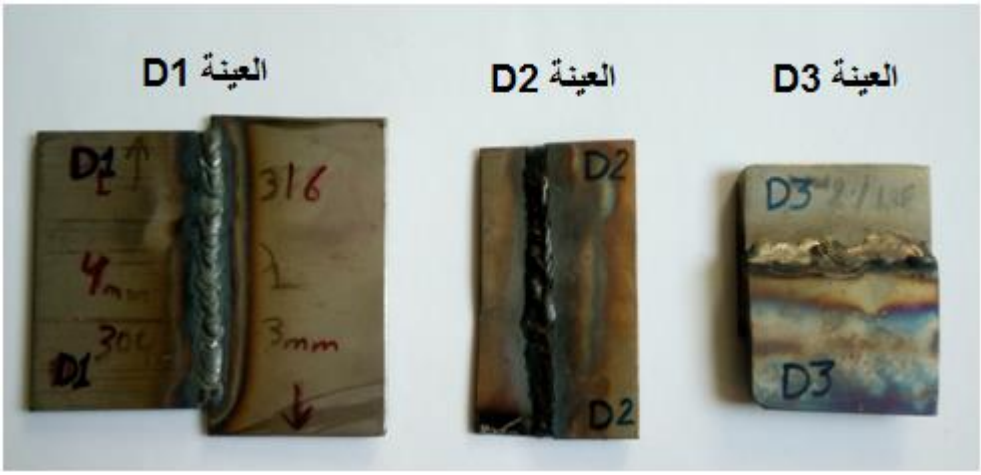
الشكل 4-20: العينة B بعداللحام

المصدر: من إعداد الباحثة

العينة C

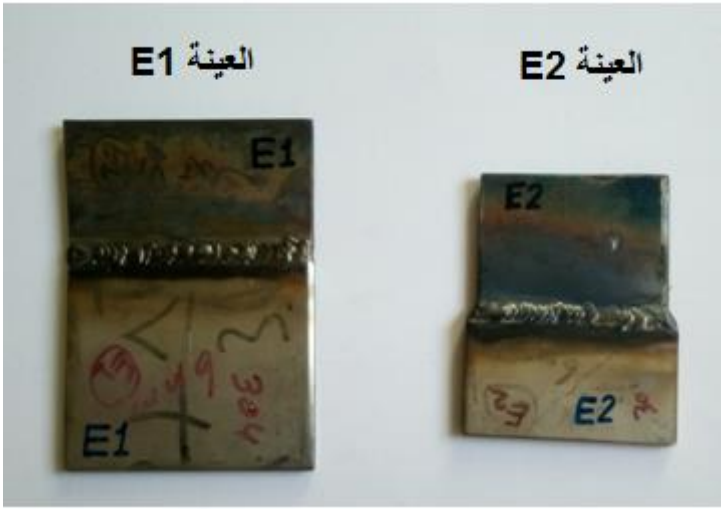
الشكل 4-21: العينة C بعد اللحام على الوجهين

المصدر: من إعداد الباحثة



الشكل 4-22: العينات D3,D2,D1 بعد اللحام

المصدر: من إعداد الباحثة



الشكل4-23: العينتين E2,E1 بعد اللحام

المصدر: من إعداد الباحثة

تم حساب سرعة اللحام من القانون:

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \qquad (4\text{-}1)$$

وبأخذ العينة A1 كمثال:

$$V=25/185= 0.13\ (\text{Cm/Sec}) \qquad (4\text{-}2)$$

يتم حساب الطاقة الطولية من القانون:

$$q_n = \frac{0.24*I*U*\eta}{V} \qquad (4\text{-}3)$$

حيث:

I- شدة التيار (A).

U - توتر القوس (V).

η - مردود القوس الكهربائي اليدوي، تتراوح قيمته بين (0.7-0.9).

V - سرعة اللحام (Cm/Sec).

وكمثال نأخذ العينة A1:

$$q_n = \frac{0.24*100*25*0.8}{0.13} = 3552\left(\frac{\text{Cal}}{\text{Cm}}\right) \qquad (4\text{-}4)$$

وبالتالي نحصل على الجدول (4-11) والذي يبين سرعة اللحام والطاقة الطولية للعينات المدروسة:

الجدول 4-11: سرعة اللحام والطاقة الطولية للعينات المدروسة

الوصلة اللحامية	بعدي العينة a*b (Cm)	طول اللحام (Cm)	سرعة اللحام (cm/sec)	الطاقة الطولية (Cal/Cm)
A	7.5*12.5	25	0.13	3552
B	8.9*13.0	39	0.15	3200
C	8.0*12.2	36.6	0.14	3606.55
D1	11.6*8.8	17.6	0.17	3141.82
D2	5.3*8.9	17.8	0.19	2539.57
D3	8.3*6.2	12.4	0.16	3164.52
E1	13.0*8.7	17.4	0.17	3062.06
E2	9.9*7.0	14.0	0.15	3425.14

المصدر: من إعداد الباحثة

4-6-3 البنية المكروية والاختبارات الميكانيكية على الوصلات اللحامية:

يتم تنظيف سطوح الملحومات بعد لحامها من الطرطشة، ويتم إزالة الخبث عن سطح درزة اللحام والناتج عن طبقة البودرة المغلفة لإلكترود اللحام، يوضح الشكل(4-24) عمليات التنظيف:

الشكل 4-24: تنظيف العينات بعد اللحام

المصدر: من إعداد الباحثة

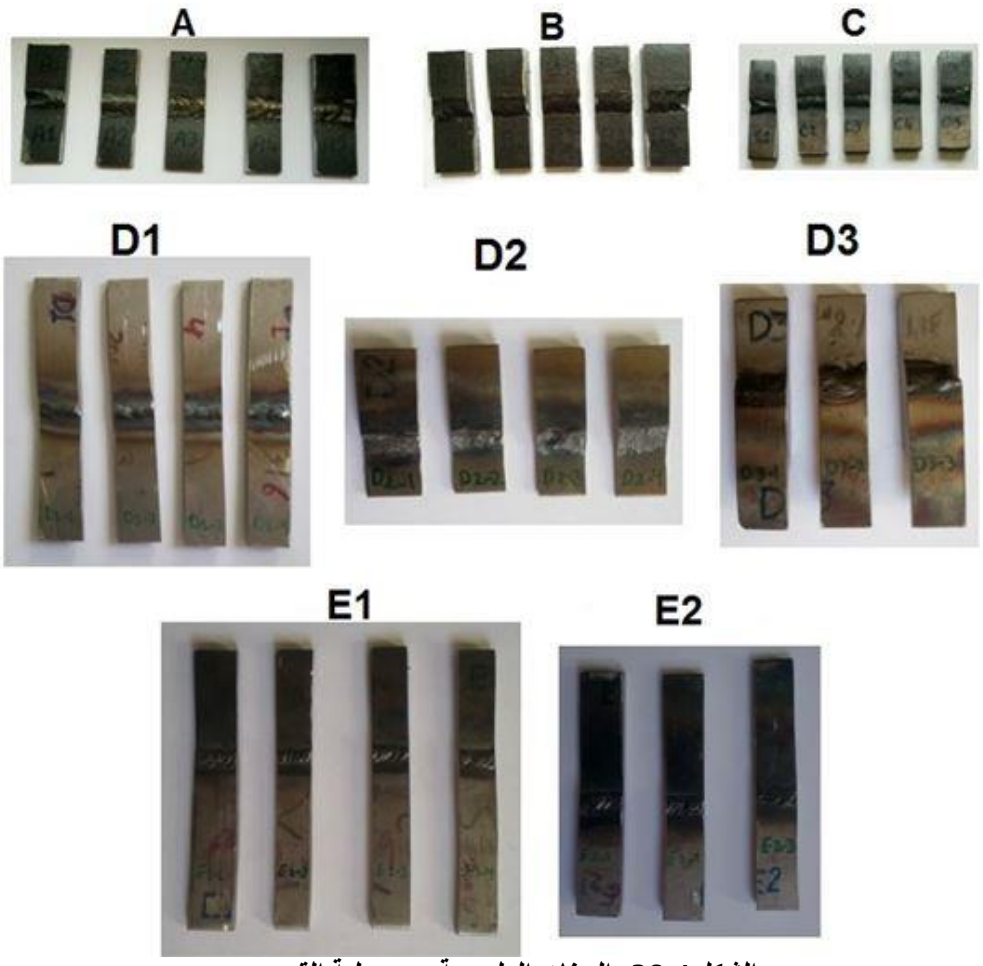
وبغرض دراسة البنية المكروية والخواص الميكانيكية للصفائح الملحومة، تم اقتطاع عينات بعرض 20mm من الصفائح الملحومة [22] باستخدام آلة منشار القص الكهربائي الموضح بالشكل (4-5) لقص الصفائح الملحومة من الفولاذ الكربوني A,B,C، بينما تم قص الصفائح الملحومة الحاوية على الفولاذ المقاوم للصدأ باستخدام صاروخ

الجلخ بسبب لدونتها العالية واحتمالية تسببها بحدوث ثتلم أو كسر لشفرة المنشار فيما لو تم قصها على المنشار الكهربائي. ويبين الشكل (4-25) عمليات القص المتبعة في هذا البحث:

الشكل 4-25: قص العينات

المصدر: من إعداد الباحثة

ويظهر الشكل(4-26) الصفائح الملحومة بعد عملية قصها :



الشكل 4-26: العينات الملحومة بعد عملية القص

المصدر: من إعداد الباحثة

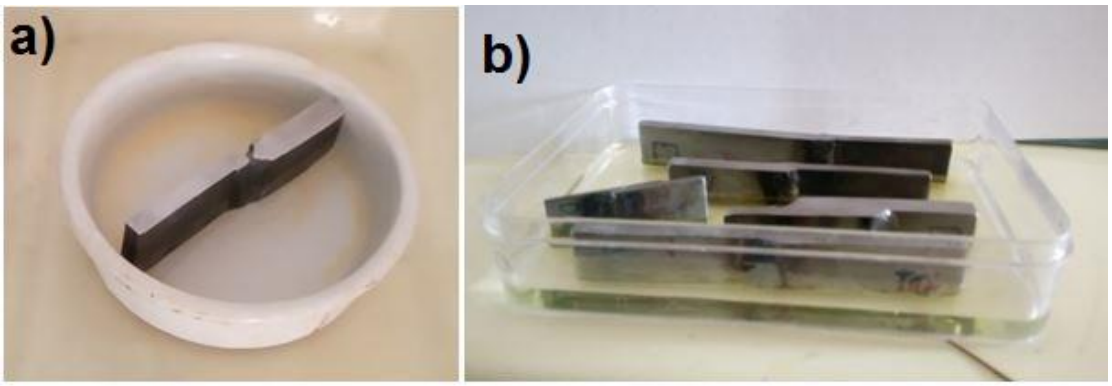
يتم تنعيم سطوح القص بجلخها على قرص التجليخ ثم استخدام قرص السمبادج على صاروخ التجليخ كما هو مبين بالشكل (4-27).

الشكل 4-27: تنعيم سطوح القص

المصدر: من إعداد الباحثة

4-6-4 البنية المكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية:

يتم أخذ العينة ذات الرقم 1 من كل مجموعة وشحذ سطوحها باستخدام أوراق الشحذ التي تتدرج نعومتها من 150 وحتى 1200، ومن ثم يتم صقل سطحها باستخدام قرص الصقل ومادة حاكة من أكسيد الألمنيوم. تليها عملية التنميش والتي تقسم العينات إلى مجموعتين، الأولى يتم فيها استخدام حمض الآزوت المخفف بنسبة 4%مع الكحول لتنميش وصلات الفولاذ الكربوني, حيث يتم غمسها في المحلول لمدة 20 Sec، ثم غسلها بالماء وتجفيفها. بينما يتم تنميش وصلات الفولاذ المقاوم للصدأ باستخدام مزيج من حمض كلور الماء(بنسبة 45%) وحمض الازوت (بنسبة 10%) وماء مقطر(بنسبة 45%)، حيث يتم غمس العينات في المحلول لمدة لا تقل عن 10 Min، وقد استغرق تنميش الفولاذ عديم الصدأ لمدة تزيد على 10 Min، بينما تم تنميش عينات الفولاذ الكربوني- عديم الصدأ على مرحلتين: أولاً تنميش الفولاذ الكربوني بحمض الآزوت الممدد ورؤية البنية المكروية له ثم ثانياً تنميش الفولاذ المقاوم للصدأ مدة 10دقائق بمزيج الأحماض السابق لدراسة بنيته المكروية. ويوضح الشكل (4-28) عمليات التنميش. [11]



الشكل 4-28: تنميش عينات الفولاذ a) الكربوني، b) المقاوم للصدأ

المصدر: من إعداد الباحثة

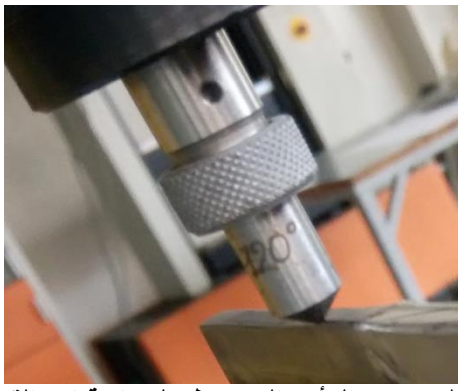
بعد التنميش يتم غسل العينات بالماء وتجفيفها. يمكن بعد ذلك دراسة البنية المكروية للعينات باستخدام المجهر الضوئي. تمت دراسة البنية المكروية عند نسبتي تكبير X100, X200، مما اضطرنا لاستخدام مجهرين ضوئيين، وذلك لعدم توافر العدستين العينيتين بتكبير مختلف (أي 10X و 20X) على ذات المجهر. يوضح الشكل (4-29) العدستين المستخدمتين.

الشكل 4-29: العدسة X10 على المجهر الأول والعدسة X20 على المجهر الثاني

المصدر: من إعداد الباحثة

4-6-5 القساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية:

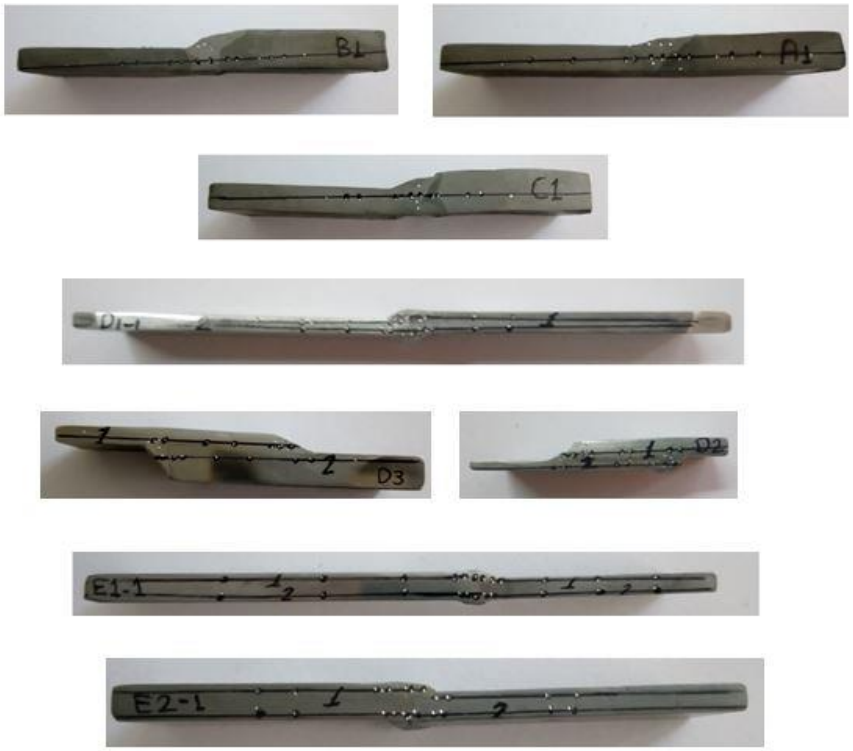
تم في هذا البحث قياس القساوة باستخدام طريقة روكويل HRA، والتي تتمثل باستخدام رأس مخروطي من الألماس زاويته 120° الشكل (4-30) وتطبيق حمل مقداره 60Kg . يتم تطبيق الحمل على مرحلتين، ففي البداية يتم تطبيق حمولة 10Kg ومن ثم تطبيق 50Kg على سطح العينة المختبرة وأخذ القراءة الظاهرة على الشاشة.



الشكل 4-30: الرأس المخروطي لجهاز قياس القساوة

المصدر: من إعداد الباحثة

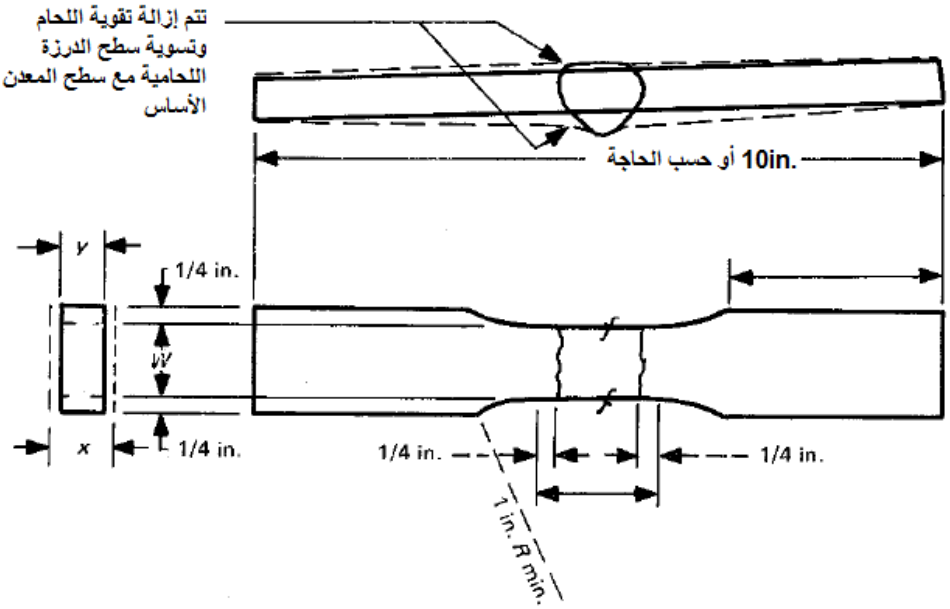
ثم تم تحويل قيم قساوة روكويل HRA إلى ما يقابلها من قساوة فيكرز (HV) أو برينل (HB) . باستخدام الجداول الخاصة (انظر الملحق رقم 1) لسهولة مقارنتها مع القيم الموجودة في المواصفات العالمية. [11]

لقياس قساوة جميع مناطق الوصلة اللحامية (معدن اللحام، منطقة التأثر الحراري، معدن الأساس) تم أخذ خط أفقي يمر من هذه المناطق وتحديد نقطتين في كل منطقة لأخذ قراءتها، كما هو موضح بالشكل (4-31).

الشكل 4-31: نقاط القساوة المأخوذة على العينات الملحومة

المصدر: من إعداد الباحثة

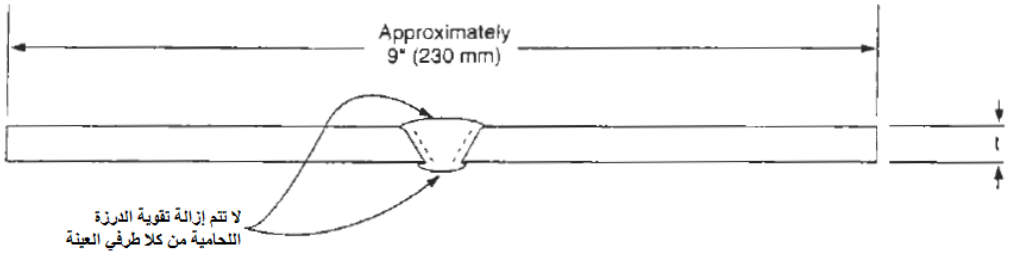
4-6-6 اختبار الشد للعينات الملحومة:

تم تحضير عينات الشد من الصفائح الملحومة الشكل(4-34) والشكل (4-35) وفقاً لمواصفتين عالميتين، حيث تم اختبار العينات D1,E1,E2 وفق المواصفة العالمية ASME SEC IX والتي تشترط إزالة التقوية من الدرزة اللحامية وإعطاء العينة شكلاً انسيابياً قياسياً كما هو مبين في الشكل (4-32) [23]، بينما تم اختبار العينات A,B,C,D2,D3 وفق المواصفة العالمية API 1104الشكل (4-33) والتي لا تشترط إزالة التقوية من درزة اللحام [22].



الشكل 4-32: عينة الشد وفق المواصفة ASMI SEC IX

المصدر: The American Society of Mechanical Engineers. (2019)



الشكل 4-33: عينة الشد وفق المواصفة API 1104

المصدر: American Petroleum Institute (2013)

الشكل 4-34: عينات الشد المحضرة وفق المواصفة ASMI SEC IX

المصدر: من إعداد الباحثة

الشكل 4-35: عينات الشد المحضرة وفق المواصفة API 1104

المصدر: من إعداد الباحثة

يتم تثبيت عينة الشد بين مقبضي آلة الشد بشكل محكم، ثم يتم تطبيق حمولة الشد حتى تحطم العينة، ويقوم الحاسب المرفق خلال ذلك برسم مخطط الشد الموافق.

الفصل الخامس:

مناقشة النتائج والتوصيات

الفصل الخامس

مناقشة النتائج والتوصيات

1-5 مناقشة النتائج:

نلاحظ أن قيم شدة التيار تراوحت ضمن المجال A(120-100)، وهذا موافق للقيم التي يتم الحصول عليها من العلاقة التجريبية(2-3):

$$I = k'.d$$

عند تعويض قطر الالكترود 3.2mm ستكون قيم k'ضمن المجال (45-30) ومنه:

$$I = 37.5 * 3.2 = 120\ [A] \quad (5\text{-}1)$$

وبما أن شدة التيار تتراوح ضمن المجال (380A÷70) وتوتر القوس يتراوح ضمن المجال (36V÷20) في اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي، يمكن أن نجد قيمة توتر القوس كالتالي:

$$\frac{380-70}{380-120} = \frac{36-20}{36-U} \rightarrow U = 22.58 \approx 23[V] \quad (5\text{-}2)$$

وهذه القيمة قريبة من قيم توتر القوس التي تم الحصول عليها خلال الدراسة التجريبية، ومقاربة للقيم التي تم استنتاجها من الدراسات المرجعية.

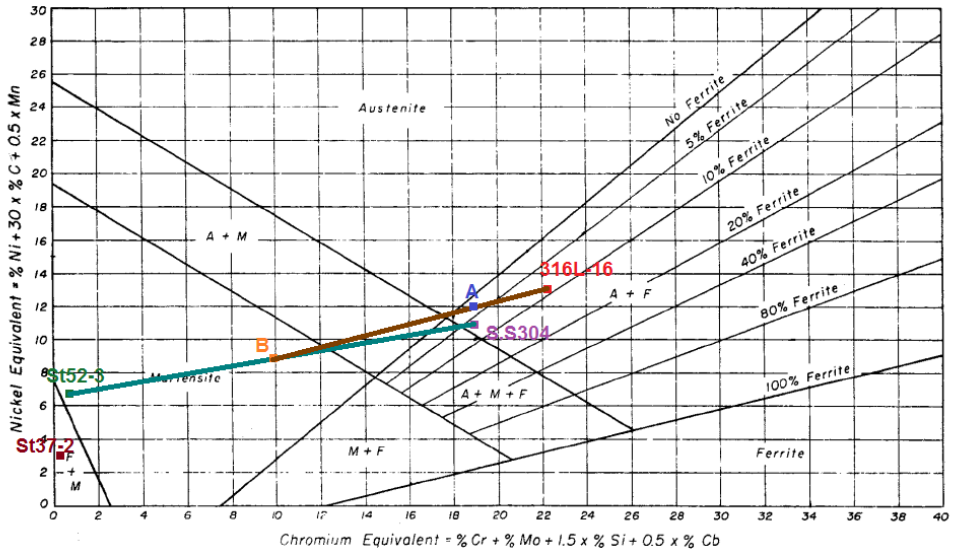
تمت دراسة البنية المكروية للعينات الملحومة عند نسبتي تكبير X100, X200، حيث أظهرت الدراسة أن البنية المكروية للعينات (A, B, C) فريتية برليتية و حجم الحبيبات في حوض اللحام صغير وناعم، بينما يلاحظ ازدياد حجمها في المناطق المتأثرة بالحرارة. كانت البنية المكروية في العينات (D1, D2, D3) أوستنيتية بالكامل. بالمقارنة مع الدراسة التي أجراها الباحث Hesam Pouraliakbarوزملاؤه [4]نجد أن النتائج متقاربة مع الإشارة إلى أن الباحث قد قام بترسيب طلاء على صفائح الفولاذ الكربوني.

البنية المتوقعة لحوض اللحام في العينات E1,E2 يمكن دراستها من مخطط شيفلر، حيث يظهر من الشكل (5-1) أن البنية المكروية لمعدن اللحام للعينة E1 تتكون من 3% فريت والباقي أوستنيت، ومن الشكل (5-2) يلاحظ أن البنية المكروية لمعدن اللحام للعينة E2 هي 5% فريت والباقي أوستنيت، وذلك باعتبار نسبة المزج بين المعدنين الملحومين معاً 50% (النقطة B)، ونسبة مزج الأخيرة مع معدن اللحام 25% (النقطة A) [24] في كلا العينتين E1,E2. ويبين الجدول (5-1)كيفية حساب كل من مكافئ النيكل ومكافئ الكروم للمعادن الملحومة معاً في العينتين E1, E2.

الجدول 5-1: مكافئ النيكل ومكافئ الكروم للمعادن الملحومة معاً في العينتين E1، E2

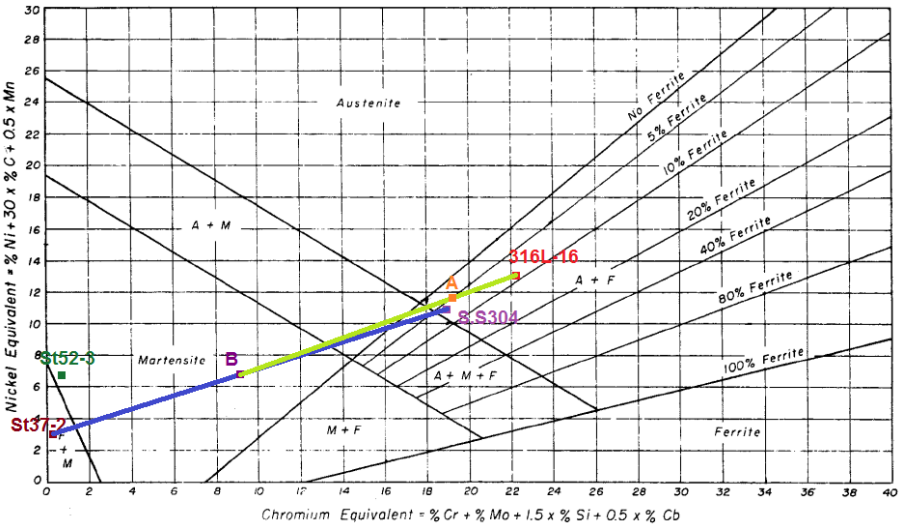
Nickel Equivalent=%Ni+30%C+30%N+0.5%Mn
Chrome Equivalent=%Cr+%Mo+1.5%Si+0.5%Nb
304=17.5%Cr,8%Ni,2%Mn,1%Si,0.07%C Nickel Equivalent=8+30*0.07+0.5*2=11.1 Chrome Equivalent=17.5+0+1.5*1+0=19
316L-16=1.6%Mn+0.55%Si+0.22%C+0.04%P+0.04%S+0.02%Al Nickel Equivalent=12+30*0.02+0+0.5*0.55=12.875 Chrome Equivalent=19+2.1+1.5*0.8+0=22.3
St52-3=0.22%C+0.55%Si+1.6%Mn+0.04%P+0.04%S Nickel Equivalent=0+30*0.22+0+0.5*1.6=7.4 Chrome Equivalent=0+0+1.5*0.55+0=0.825
St37-2=0.11%C+0.12%Si+0.37%Mn+0.008%P+0.004%S Nickel Equivalent=0+30*0.11+0=3.3 Chrome Equivalent=0+0+1.5*0.12+0=0.18

المصدر: من إعداد الباحثة



الشكل 5-1: مخطط شيفلر للعينة E1

المصدر: من إعداد الباحثة



الشكل 5-2: مخطط شيفلر للعينة E2

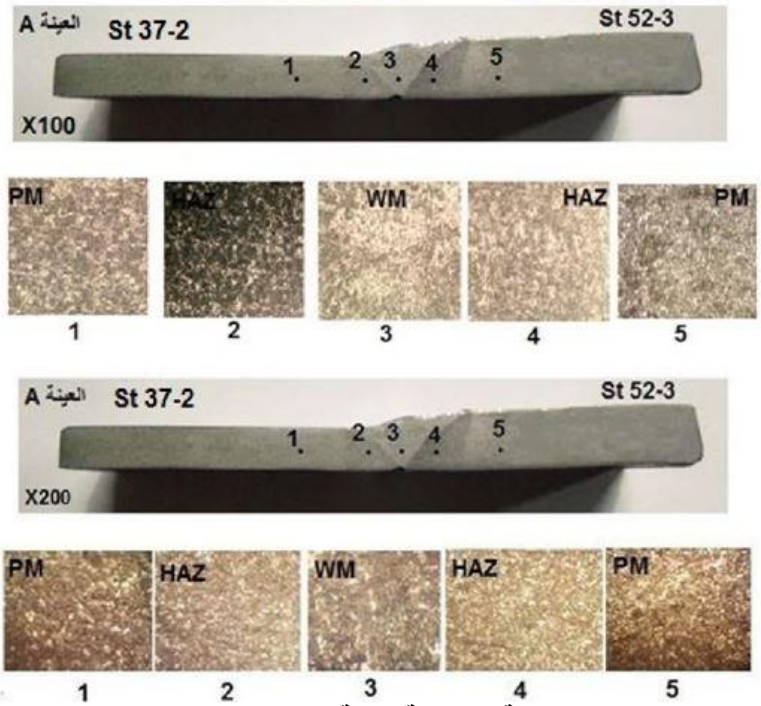
المصدر: من إعداد الباحثة

بملاحظة البنية المكروية لحوض اللحام في العينتينE2, E1من الشكلين (9-5)، (10-5) نجد أن نسبة الفريت قليلة ولا تتعدى 5% وهذا مطابق لما تم إيجاده عن طريق مخطط شيفلر.

إن البنية المكروية لمنطقة التأثر الحراري في العينات E2, E1 كانت أوستنيتية بالكامل في طرف صفيحة الفولاذ المقاوم للصدأ، وبنية فريتية- برليتية في طرف صفيحة الفولاذ الكربوني. ولكن يلاحظ في هذه المنطقة ازدياد في نسبة الفريت عن باقي مناطق الفولاذ الكربوني، يمكن تعليل ذلك باحتمالية حدوث هجرة لبعض ذرات الكربون إلى منطقة حوض اللحام، ولكنها لم تؤثر في بنيته والتي بقيت أوستنيتية والدليل على ذلك تجانس قيم القساوة فيها. كما يلاحظ أن شكل حبيبات الأوستنيت كان طولياً في منطقة التأثر الحراري للفولاذ المقاوم للصدأ، بينما كان شكل حبيبات البرليت والفريت حبيبياً في منطقة التأثر الحراري للفولاذ الكربوني، والتي يلاحظ ازدياد حجمها عن باقي المناطق للفولاذ الكربوني.

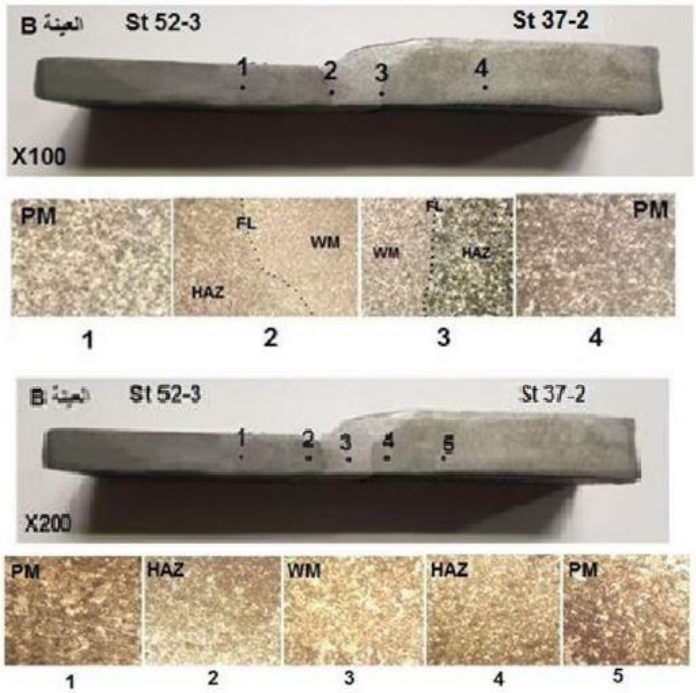
في عينات الفولاذ المقاوم للصدأ D3, D2, D1 وُجد الاوستنيت بتوزع غصني (دندريتي)، حيث يلاحظ نمو الأوستنيت بهذا الشكل في منطقة خط الصهر مع المعدن الأكثر ثخانة لهذه العينات. نجد أن هذه البنية في العينة D3 كانت واضحة في خط الصهر مع معدن الأساس 304 ذي الثخانة الأكبر، وفي العينة D2 مع المعدن 316L ذي الثخانة الأكبر، كما يمكن أن يلاحظ في هذه العينة أن منطقة التأثر الحراري المجاورة لخط الصهر هذا ذات بلورات أكبر من باقي المناطق. يمكن تفسير ذلك بأن اتجاه انتقال الحرارة أثناء تجمد معدن اللحام يكون من حوض اللحام باتجاه معدن الأساس البارد مما يؤدي لتشكل هذه البلورات الدندريتية الطولية بزوايا قائمة على خط اللحام.

توضح الأشكال التالية (5-3)، (5-4).....(5-10) البنى المكروية التي تم الحصول عليها:



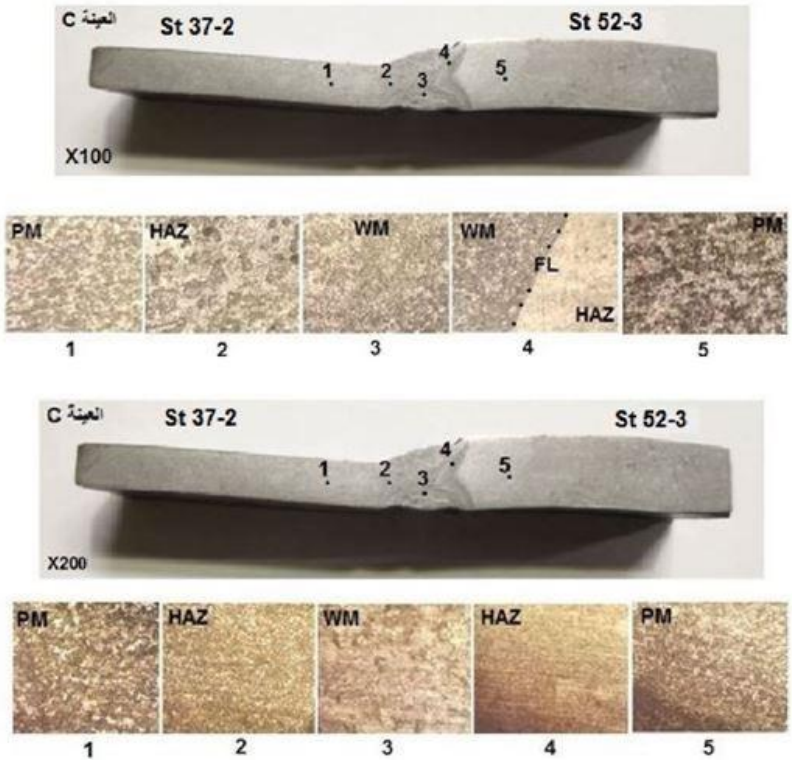
الشكل 5-3: البنية المكروية للعينة A بتكبير X100, X200

المصدر: من إعداد الباحثة



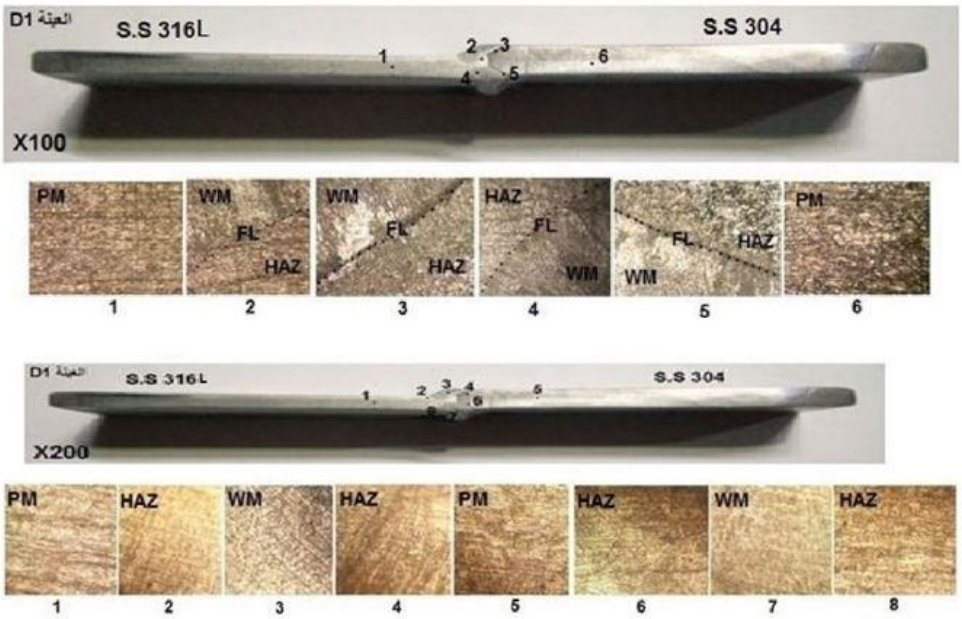
الشكل 5-4: البنية المكروية للعينة B بتكبير X100, X200

المصدر: من إعداد الباحثة



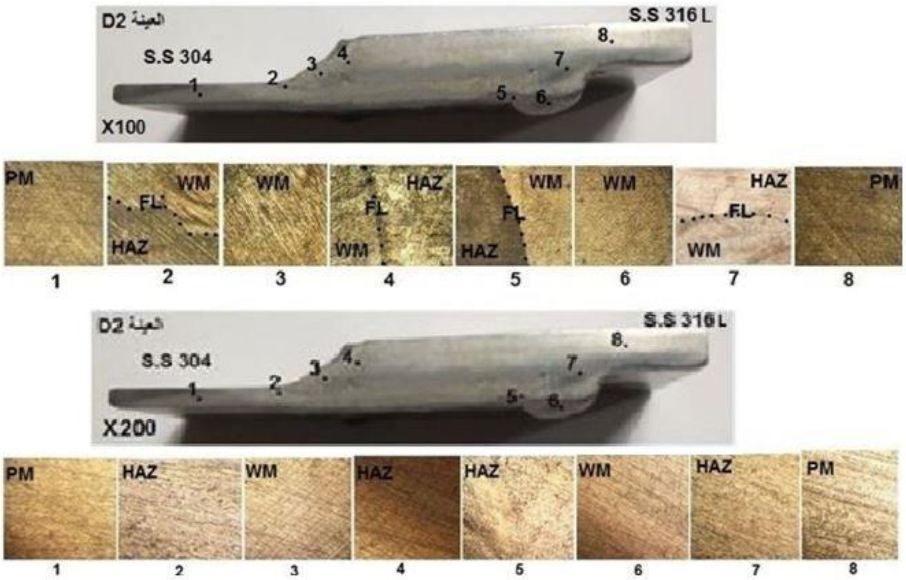
الشكل 5-5: البنية المكروية للعينة C بتكبير X100, X200

المصدر: من إعداد الباحثة



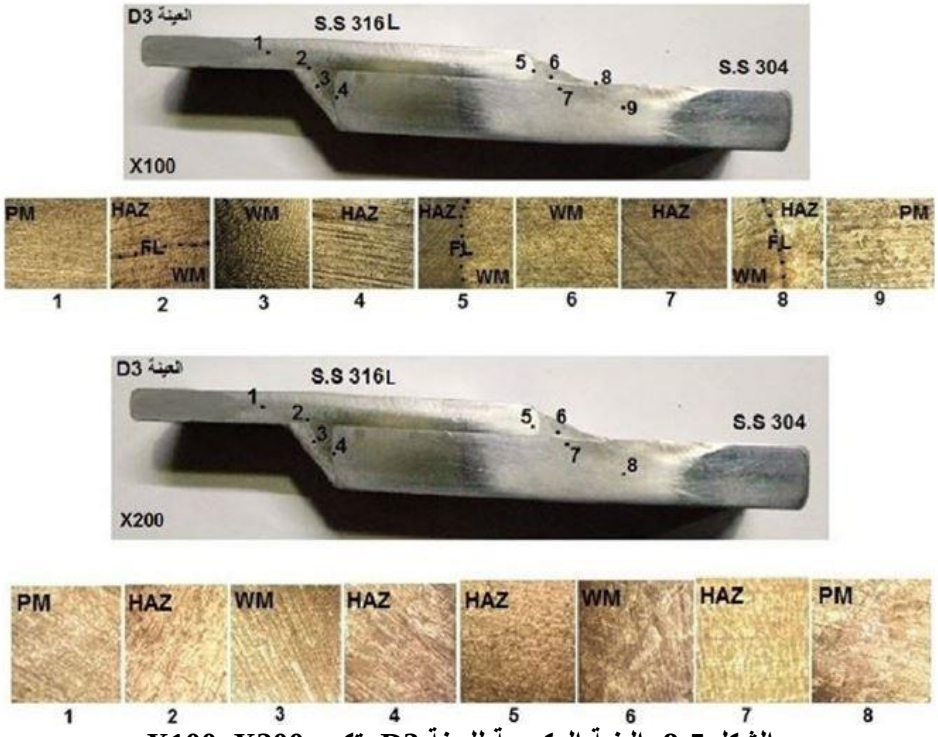
الشكل 5-6: البنية المكروية للعينة D1 بتكبير X100, X200

المصدر: من إعداد الباحثة



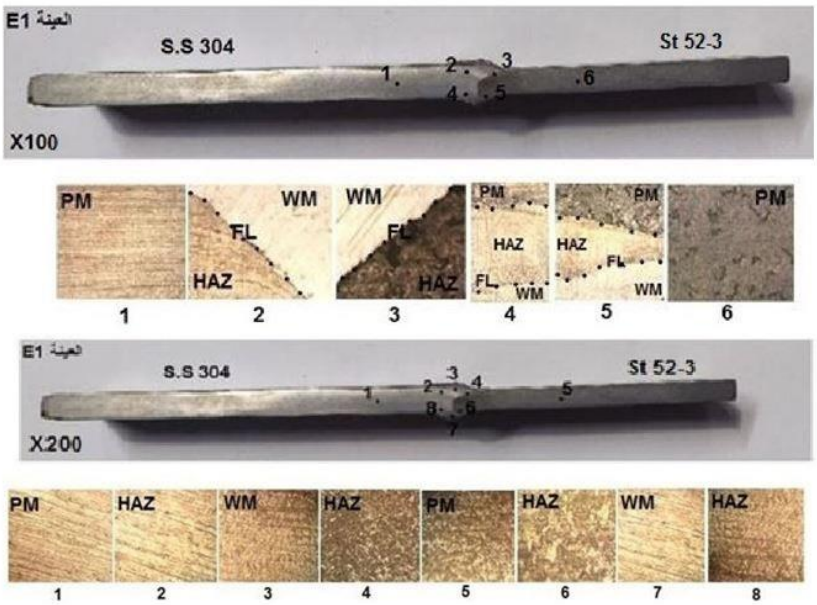
الشكل 5-7:البنية المكروية للعينة D2 بتكبير X100, X200

المصدر: من إعداد الباحثة



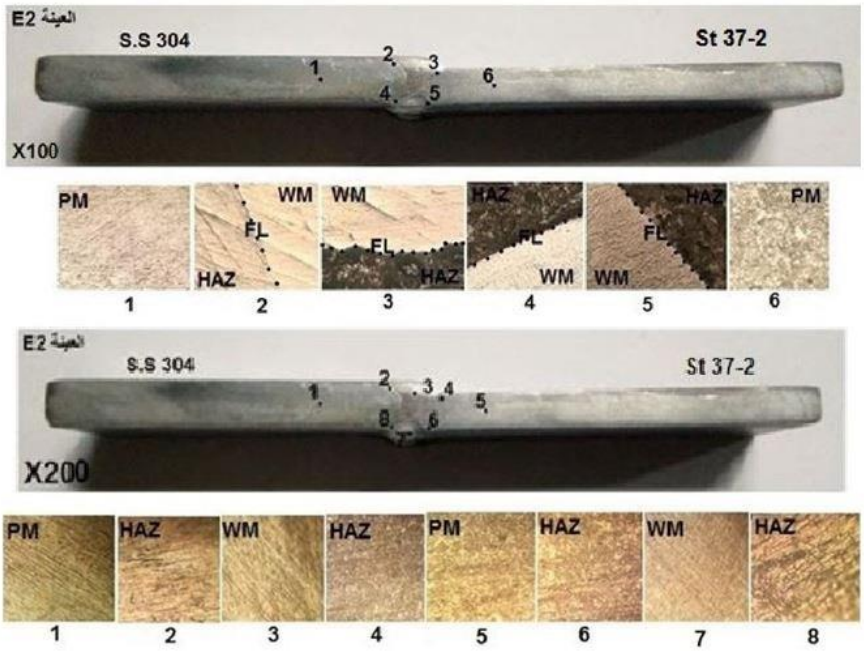
الشكل 5-8: البنية المكروية للعينة D3 بتكبير X100, X200

المصدر: من إعداد الباحثة



الشكل 5-9: البنية المكروية للعينة E1 بتكبير X100, X200

المصدر: من إعداد الباحثة



الشكل 5-10: البنية المكروية للعينة E2 بتكبير X100, X200

المصدر: من إعداد الباحثة

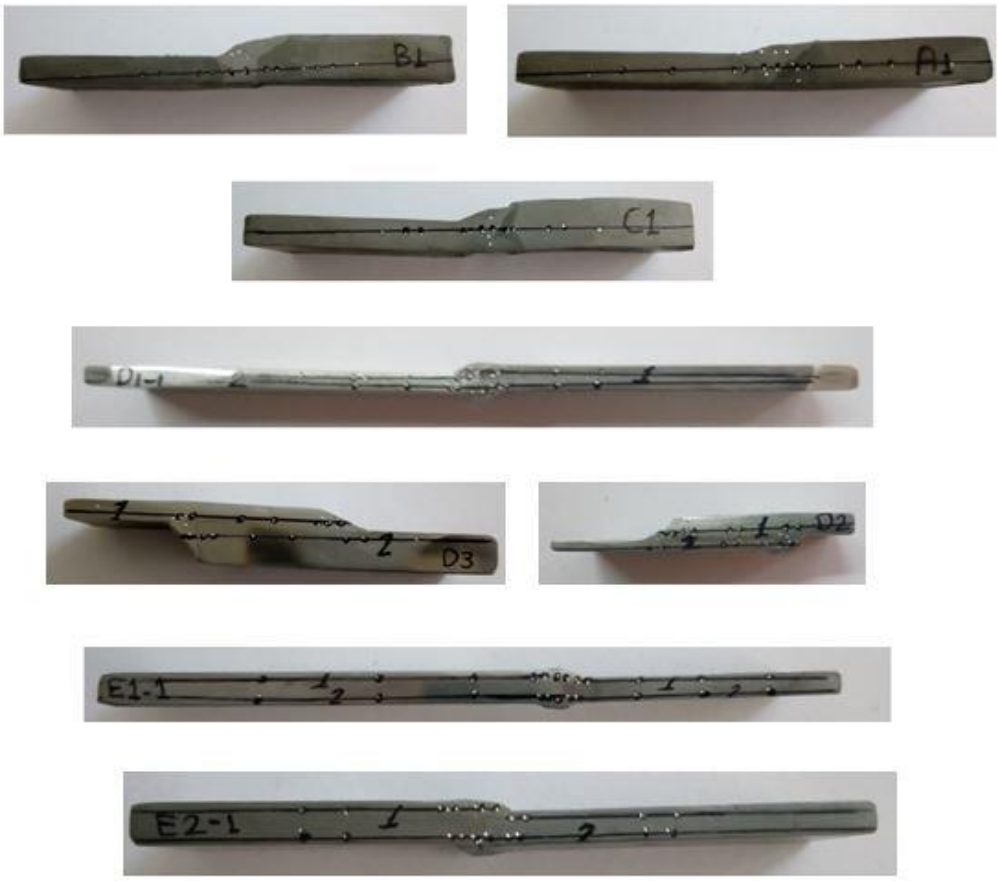
تم قياس القساوة الماكروية لكل عينة باستخدام طريقة روكويل HRA، ومن ثم تحويلها إلى ما يقابلها من قساوة فيكرز (HV) أو برينل(HB) (انظر الملحق رقم 1). [11]

لقياس قساوة جميع مناطق الوصلة اللحامية تم أخذ خط أفقي يمر من هذه المناطق وتحديد نقطتين في كل منطقة لأخذ قراءتها، كما هو موضح بالشكل (5-11). ويوضح الجدول (5-2)القيم التي تم الحصول عليها بعد أخذ أعلى قراءة لكل منطقة:

الجدول 5-2: قيم القساوة للعينات الملحومة

مناطق الوصلة اللحامية		PM		HAZ		WM		HAZ		PM	
العينة	القساوة / رقم الخط	HRA	HB/ HV	HRA	HB/ HV	HRA	HB/ HV	HRA	HB/ HV	HRA	HB/ HV
A		49.8	152	53.3	171	44.6	126	45.8	132	43.4	121
B		46.1	134	50.2	154	47.5	140	51.3	160	52.2	164
C		47.7	140	58	209	49.2	149	46.2	135	42.5	118
D1	1	44.8	127	48.7	146	44.1	124	44.6	126	40.5	110
	2	45.2	130	44.2	124	44.9	127	44.2	124	43.4	121
D2	1	46.1	134	49.8	152	40	108	43.4	121		
	2			51.1	159	52.5	167	49.9	152	46.2	134
D3	1	47.9	141	51.1	159	49.1	148	49	148		
	2			47.7	140	45.8	132	47.2	138	46.8	137
E1	1	48	141	44.7	126	43.8	123	47	137	46.2	134
	2	44.8	127	44.5	126	44.7	127	45.4	130	45.1	129
E2	1	47.4	139	40	108	42.7	118	48	141	47.7	140
	2	47.2	138	42.7	118	45.9	132	45.1	129	45.4	130

المصدر: من إعداد الباحثة

تبيّن قيم القساوة لمختلف مناطق الوصلات اللحامية المدروسة عدم تشكل أطوار قاسية في البنى الناتجة، حيث لم تتجاوز قيم هذه القساوة المقدار 210 HB.

الشكل 5-11: نقاط القساوة المأخوذة على العينات الملحومة

المصدر: من إعداد الباحثة

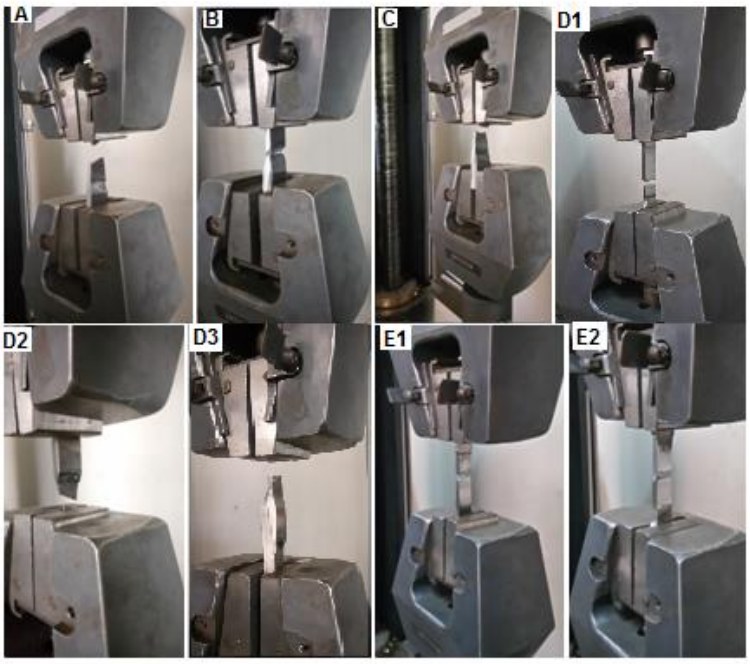
ويبين الشكل (5-12) بعض القيم التي تم الحصول عليها.

الشكل 5-12: بعض قيم القساوة موضحة على شاشة جهاز القساوة

المصدر: من إعداد الباحثة

يُلاحظ أن أعلى قيمة قساوة هي 209HB في منطقة التأثر الحراري للوصلة اللحامية C من الفولاذ منخفض الكربون St37-2 ومثيله St52-3، إذ أن قيم القساوة الناتجة هي أقل بكثير من الحد الأعلى الوارد في المواصفات العالمية الناظمة لذلك (وهو **248HB)** المواصفة API 1104 والمواصفة ASME Sec IX.

تمت دراسة متانة الوصلات اللحامية عن طريق اختبار الشد، وتظهر الأشكال (5-13)،(5-14)، (5-15) العينات بعد تحطمها.



الشكل 5-13: عينات الشد بعد التحميل

المصدر: من إعداد الباحثة

الشكل 5-14: العينات المختبرة وفق المواصفة API 1104

المصدر: من إعداد الباحثة

الشكل 5-15: العينات المختبرة وفق المواصفة ASMI SEC IX

المصدر: من إعداد الباحثة

يتم حساب قيم الإجهادات الموافقة باستخدام القانون:

$$\sigma = \frac{F*9.81}{A_0} \qquad (5\text{-}3)$$

حيث أن: A_0–مساحة المقطع العرضي لعينة الشد قبل الاختبار، F - القوة المطبقة على العينة مقدرة بواحدة (Kg_f)، σ - الإجهاد الناتج عن القوة المطبقة مقدراً بواحدة (N/mm^2) أو (MPa).

وكمثال نأخذ العينة D1 ونحسب إجهاد الخضوع:

$$\sigma_y = \frac{F_y*9.81}{A_0} = \frac{1800*9.81}{42} = 420.43\ MPa \qquad (5\text{-}4)$$

ومن ثم نحسب إجهاد الشد الأعظم:

$$\sigma_u = \frac{F_u*9.81}{A_0} = \frac{2700*9.81}{42} = 630.64\ MPa \qquad (5\text{-}5)$$

وبالمثل يتم تطبيق القانون على جميع العينات، حيث جرى حساب إجهاد الخضوع وإجهاد الشد الأعظم للعينات المختبرة وفق المواصفة ASME Sec IX، بينما جرى حساب إجهاد الشد الأعظم فقط للعينات المختبرة وفق المواصفة API 1104. يبين الجدول (5-3) نتائج اختبار الشد للعينات المختبرة وفق المواصفة API 1104، والجدول (5-4) نتائج اختبار الشد للعينات المختبرة وفق المواصفة ASME Sec IX.

الجدول 5-3: نتائج اختبار الشد للعينات المختبرة وفق المواصفة API 1104

العينة	أبعاد المقطع العرضي [mm]	مساحة المقطع العرضي [mm^2]	الحمل الأعظم $[Kg_f]$	الإجهاد الأعظم [MPa]	مكان الكسر
A	20.0*6.0	120	6230	509.3	معدن الأساس، St37-2
B	20.0*5.0	100	6500	637.65	على حافة الدرزة مع St52-3
C	20.0*6.0	120	6150	502.76	معدن الأساس، St37-2
D2	20.0*2.0	40	2400	588.6	معدن الأساس، S.S304
D3	20.0*4.0	80	4700	576.34	معدن الأساس، S.S316L

المصدر: من إعداد الباحثة

الجدول 5-4: نتائج اختبار الشد للعينات المختبرة وفق المواصفة ASMI SEC IX

العينة	أبعاد المقطع العرضي [mm]	حملالخضوع $[Kg_f]$	إجهاد الخضوع [MPa]	الحمل الأعظم $[Kg_f]$	الإجهاد الأعظم [MPa]	مكان الكسر
D1	14*3	1800	420.43	2700	630.64	معدن الأساس، 316L
E1	14.3*4	2005	320.0	3400	542.43	معدن الأساس، St52-3
E2	14*4.6	1850	281.81	2740	417.45	معدن الأساس، St37-2

المصدر: من إعداد الباحثة

بالمقارنة بين متانة الشد للدرزة اللحامية ومعدن الأساس (الجدول 5-5) لكل وصلة لحامية نجد:

إن متانة الشد للدرزة اللحامية ومنطقة التأثر الحراري للعينات A, C, D1, D2, D3, E1, E2 أعلى من متانة الشد للمعدن الأساس لكل منها، حيث نلاحظ أن مكان الكسر في كل عينة منها كان في معدن الأساس ذي الثخانة الأقل.

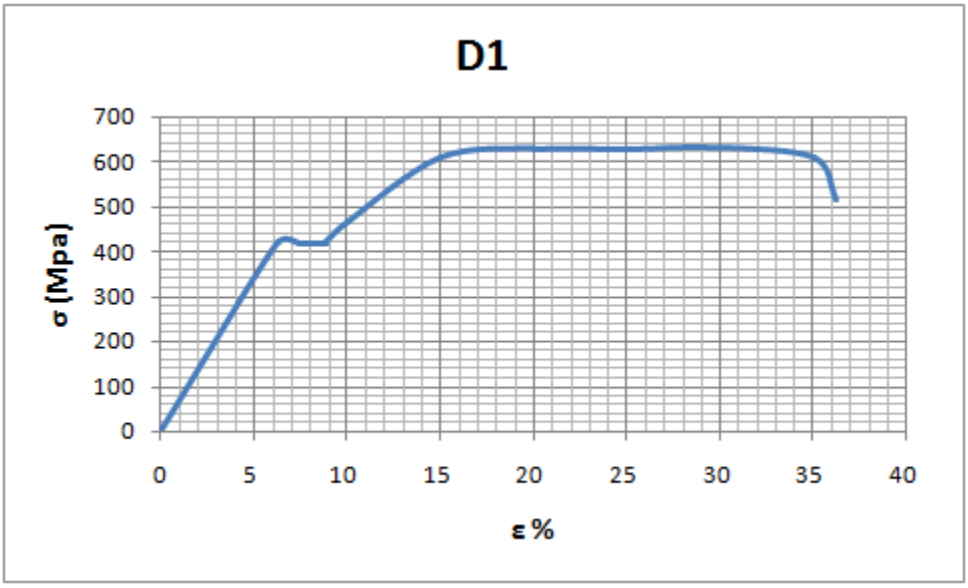
الجدول 5-5: مقارنة متانة الشد بالإجهاد الأعظم للمعدن المتحطم

العينة	المعدن المتحطم	الإجهاد الأعظم[MPa]	متانة الشد [MPa]
A	St37-2	340-470	509.3
B	St52-3	490-630	637.65
C	St37-2	340-470	502.76
D1	S.S316L	Min 485	630.64
D2	S.S304	Min 515	588.6
D3	S.S316L	Min 485	576.34
E1	St52-3	490-630	542.43
E2	St37-2	340-470	417.45

المصدر: من إعداد الباحثة

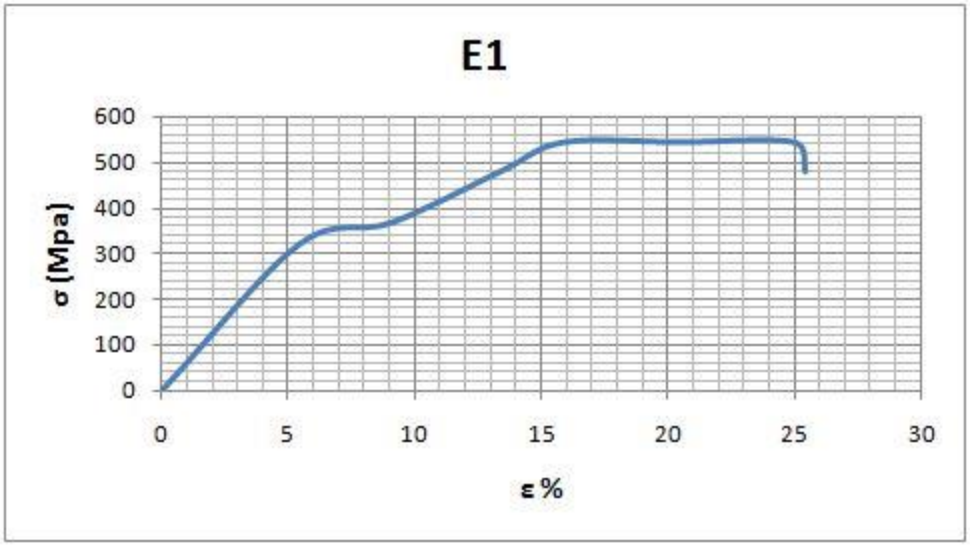
بالنسبة للعينة B نلاحظ حدوث الكسر على حافة الدرزة اللحامية مع المعدن الأقل ثخانة، وبمقارنة قيمة متانة الشد التي تم الحصول عليها باختبار الشد مع متانة المعدن الأساس نلاحظ أنها تفوق متانته مما يدل على أن اللحام كان جيداً.

تبين الأشكال (5-16)،(5-17)، (5-18) مخطط (الاجهاد- الانفعال) للعينات الملحومة والمختبرة وفق المواصفة ASME Sec IX.



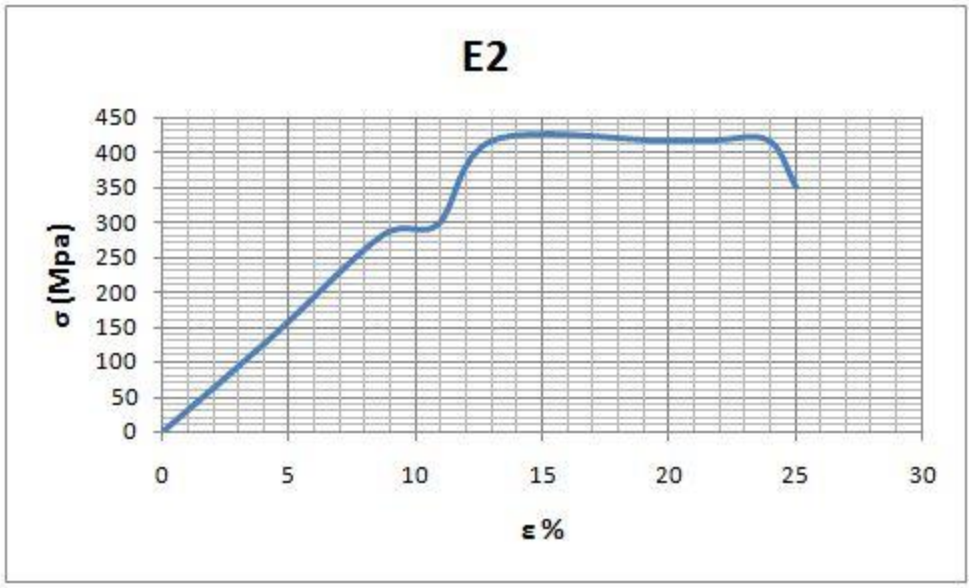
الشكل 5-16: مخطط (الإجهاد- الانفعال) للعينة D1

المصدر: من إعداد الباحثة



الشكل 5-17: مخطط (الإجهاد- الانفعال) للعينة E1

المصدر: من إعداد الباحثة



الشكل 5-18: مخطط (الإجهاد- الانفعال) للعينة E2

المصدر: من إعداد الباحثة

5-2 الاستنتاجات:

- يتم لحام أنواع الفولاذ متباينة التركيب الكيميائي والثخانة باستخدام تقنية لحام الصهر بالقوس الكهربائي بجودة عالية عند اختيار بارامترات اللحام المثلى والمناسبة لكل حالة مدروسة.والدراسة التي قام بها الباحثان

شيناوي ومسعود [2] تؤكد إمكانية الحصول على وصلات لحامية ذات خواص ميكانيكية عالية القيم عن طريق التحكم ببارامترات اللحام عامة وبطاقة الدخل خاصة.

- عند لحام الفولاذ متباين التركيب الكيميائي والثخانة لابد من الأخذ بالحسبان تغيرات قيم بارامترات نظام لحام الصهر بالقوس الكهربائي، وتأثير ذلك في كل من نوع البنى المكروية الناتجة لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية والقساوة الماكروية لهذه المناطق، وهي: نوع الإلكترود المستخدم وقطره، شدة تيار اللحام، توتر القوس، سرعة اللحام، الطاقة الطولية (طاقة الدخل)، عمق الصهر، شكل حواف الوصلة اللحامية.

- إن لحام صفائح الفولاذ الكربوني متباينة التركيب الكيميائي والثخانة مع بعضها البعض باستخدام إلكترود من الفولاذ الكربوني لم يغير من نوع البنية في منطقة حوض اللحام (الدرزة اللحامية) وبقيت فريتية- برليتية. وبالمثل فإن لحام صفائح الفولاذ المقاوم للصدأ مع بعضها البعض باستخدام إلكترود من الفولاذ المقاوم للصدأ لا يغير من طبيعة البنية الأوستنيتية للوصلة اللحامية.

- لحام صفائح الفولاذ الكربوني مع صفائح الفولاذ المقاوم للصدأ باستخدام إلكترود من الفولاذ المقاوم للصدأ أعطى بنية أوستنينية للدرزة اللحامية مع احتمالية حدوث انتشار بسيط لبعض ذرات الكربون من الفولاذ الكربوني باتجاه الدرزة اللحامية.

- تجانس قيم القساوة في منطقة الدرزة اللحامية للوصلات فولاذ كربوني- مقاوم للصدأ يدل على أن انتشار ذرات الكربون لم يؤثر في البنية الأوستنيتية لهذه المنطقة. بينما بين الباحث Manjo وزملاؤه [3] حدوث تباين في قيم القساوة مابين السطح البيني للفولاذ الكربوني ومعدن الدرزة اللحامية من جهة والسطح البيني للفولاذ والأوستنيتي المقاوم للصدأ ومعدن الدرزة اللحامية من جهة أخرى، بسبب هجرة الكربون وذلك لأن الباحث استخدم سماكات كبيرة وطاقة دخل عالية.
- تبين قيم القساوة للعينات المدروسة عدم تشكل أطوار قاسية في الوصلات اللحامية. بينما أظهرت الدراسة [3] انخفاض الصلابة في طرف صفيحة الفولاذ الكربوني عند لحامه مع الفولاذ السبائكي الخاص عالي المتانة بسبب تشكل المارتنسيت.

- تبين مخططات الشد للعينات المدروسة أن متانة الوصلات اللحامية كانت أعلى من متانة المعدن الأساس في جميع الحالات، حيث نلاحظ حدوث الكسر في معدن الأساس ذي الثخانة الأقل، مما يدل على أن اللحام كان جيداً وأن بارامترات اللحام المختارة كانت مناسبة.

- نلاحظ أن الكسر في العينة B قد حدث على حافة الدرزة اللحامية مع المعدن ذي الثخانة الأقل، ولكن قيمة المتانة التي تم الحصول عليها كانت أعلى من متانة المعدن الأساس، وهذا يدل على جودة اللحام والدرزة اللحامية.

- في العينة E1 (فولاذ كربوني- فولاذ مقاوم للصدأ) نلاحظ أن قيمة المتانة بلغت [MPa]542.43 والتي تراوحت ضمن المجال MPa[630-490]الذي يمثل حد المتانة للفولاذ الكربوني ST52-3لأن الكسر حصل ضمن المعدن الأساس من جهة الفولاذ الكربوني وهذا يعني أن متانة الشد ضمن الحدود الموصى بها في المواصفات العالمية الناظمة لذلك.

3-5 التوصيات:

- استخدام نطاق أوسع من فرق الثخانات للصفائح الفولاذية الملحومة معاً. إذ قامت أغلب الدراسات المرجعية بدراسة صفائح متماثلة الثخانة، وكان مجال الثخانات المدروسة في هذا البحث محصوراً بين mm (10-2).
- استخدام تقانات أخرى للحام الصفائح الفولاذية ذات الثخانات المختلفة. هناك الكثير من طرائق اللحام المستخدمة في المجالات الصناعية على اختلافها، حيث تناولت الدراسات المرجعية بكثرة اللحام بالقوس الكهربائي في وسط من الغازات الواقية بالكترود ينصهر أو لا ينصهر MIG/TIG، ومن المفيد تطبيق تقانات أخرى لدراسة تأثيرها على اختلاف الثخانات بين الصفائح الفولاذية والمفاضلة فيما بينها.
- لحام الخلائط الفولاذية مع أنواع أخرى من المعادن والمستخدمة في مجالات الصناعة المختلفة. إذ يمكن دراسة لحام الفولاذ مع المعادن الملونة وكذلك دراسة لحام المعادن الملونة فيما بينها.

المراجع

1- Islam, Tayyab. (2014). **Analysis of Dissimilar Metal Welding of 1020 Mild Steel and 304 Stainless Steel**. Master Thesis. Production Engineering. Department of Mechanical Engineering. National Institute of Technology. Rourkela: India. P: 51.

2- El-Shennawy, M., Masoud, M. I., (2008, 8-10 January). **Similar and Dissimilar Welding in Special Application**. The ninth Cairo University International Conference on Mechanical Design and Production, Cairo, Egypt.

3- Saini, M., Arora, N., Pandey, C., Mehdi, H., (2014, July). Mechanical Properties of Bimetallic Weld Joint Between SA 516 Grade 65 Carbon Steel and SS 304L for Steam Generator Application. **International Journal of Research in Engineering and Technology**. Vol. 3. No.7. P-P: 39-42.

4- Pouraliakbar, H., Hamedi, M., Kokabi, A., H., Nazari, A., (2014). Designing of CK45 Carbon Steel and AISI304 Stainless Steel Dissimilar Welds. **Materials Research**. Vol. 17. No.1. P-P: 106-114.

5- Ul-Hamid, A., Tawancy, H.M., Abbas, N. M., (2004, 12 September). Failure of weld joints between carbon steel pipe and 304 stainless steel elbows. **Engineering Failure Analysis**. Vol. 12. P-P: 181-191.

6- Rajkumar, R. K., Hamimi, F., Charde, N., (2012, November). Investigating the Dissimilar Weld Joints of AISI 302 Austenitic Stainless Steel and Low Carbon Steel. **International Jornal of Scientific and Research Publications**. Vol. 2. No.11. P-P: 2250-3153.

7- Ozlati, A., Movahedi, M. & MohammadKamal, H., (2016, 9 September). Upset Resistance Welding of Carbon Steel to Austenitic Stainless Steel Narrow Rods. **Journal of Materials Engineering and Performance.**

8- Ghosh, N., Kumar Pal, P., Nandi, G. (2017, 3August). GMAW Dissimilar Welding of AISI 409 Ferritic Stainless Steel to AISI 316L Austenitic Stainless Steel by Using AISI 308 Filler Wire. **Engineering Science and technology**, P-P: 1-8.

9- Suresh Kumar, A., Sivaprakasam, S., Mugesh, V., Abdul Rahman, H., Ashok, B., Vijayakumar, K. (2018, April). Optimization of Dissimilar Materials on Stainless Steel (316L) and Mild Steel (IS2062) in MIG Welding Process. **International**

journal of Recent Trends in Engineering & Research, Vol. 04, No. 04. P-P: 94-101.

10-Kumar, R., Bhattacharya, A., Kumar Bera, T. (2015, 20 January). Mechanical and Metallurgical Studies in Double Shielded GMAW of Dissimilar Stainless Steels. **Materials and Manufacturing Prosses**.

11-سلامة، محمد علي. (2018). **علم المعادن وسبائكها**. دمشق: سوريا. المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر. ص: 432.

12-Flenner Engineering Service, LLC. (2007). **Carbon Steel Handbook**. California: The United States of America. Electric Power Research Institute. P: 172.

13-شرف، خالد عثمان، وهدله، حسن فارس. (2012). **الخلائط المعدنية وسباكتها**. دمشق: سوريا. جامعة دمشق. ص: 597.

14-سلامة، محمد علي، وموسى، عصام. (2005). **طرائق التصنيع (3) (لحام المعادن)**. دمشق: سوريا. جامعة دمشق. ص:544.

15-شافعي، محمود أحمد.(2011). **الفحص البصري للملحومات**.تونس. الهيئة العربية للطاقة الذرية. ص:345.

16-موسى، عصام. غنمة، محمد فتحي. (2014). **اختيار المواد واختبارها**. دمشق: سوريا. جامعة دمشق. ص: 380.

17-حرارة، وفيق. حديدي، محي الدين. باظو، زهير، الأحدب، أحمد. (1999). **البرنامج النظري والعملي للتدريب في عمليات التصوير الشعاعي**. تونس. الهيئة العربية للطاقة الذرية. ص: 243.

18-Lippold, John C., (2015). **Welding Metallurgy and Weldability**. New Jersey: The United States of America. John Wiley & Sons, Inc. P: 421.

19-Islam, Tayyab. (2014). **Analysis of Dissimilar Metal Welding of 1020 Mild Steel and 304 Stainless Steel**. Master Thesis. Production Engineering. Department of Mechanical Engineering. National Institute of Technology. Rourkela: India. P: 51.

20-Back, Mimmi. (2015). **Welding of Dissimilar Metals in Different Welding Positions**. Stockholm: Sweden. KTH Royal Institute of Technology. P: 93.

21-Guiraldenq, P., Duparc, O. H., (2017) The genesis of the Schaeffler diagram in the history of stainless steel. **Metallurgical Research Technology**. Vol. 114. No. 613. P-P: 1-9.

22- American Petroleum Institute (2013). **Welding of Pipelines and Related Facilities.** Washington: United States of America. API Publishing Services. P: 131.

23- The American Society of Mechanical Engineers. (2019). **An International Code, 2019 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section IX**. (2019 ed). New York: United States of America. The American Society of Mechanical Engineers. P: 422.

24- Avery, Richard E., (1991, May). Pay Attention to Dissimilar- Metal Welds. **American Institute of Chemical Engineers**. P-P: 1-6.

25- The American Society forTesting and Materials. (1902).**ASTM A270-03a**. New York: United States of America.The American Society for Testing and Materials. P:3.

26- The German Institute for Standardization (1980). **Steel for General Structural Purposes DIN 17100**. Berlin: Germany. The German Institute for Standardization.P: 19.

ملاحق البحث

الملحق 1
القيم التقريبية للقساوة المستنتجة بطريقة روكويل وبرينيل وفيكرز

A 370

TABLE 2 Approximate Hardness Conversion Numbers for Nonaustenitic Steels[A] (Rockwell C to other Hardness Numbers)

Rockwell C Scale, 150-kgf Load, Diamond Penetrator	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness, 3000-kgf Load, 10-mm Ball	Knoop Hardness, 500-gf Load and Over	Rockwell A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell Superficial Hardness			
					15N Scale, 15-kgf Load, Diamond Penetrator	30N Scale 30-kgf Load, Diamond Penetrator	45N Scale, 45-kgf Load, Diamond Penetrator	Approximate Tensile Strength, ksi (MPa)
68	940	...	920	85.6	93.2	84.4	75.4	...
67	900	...	895	85.0	92.9	83.6	74.2	...
66	865	...	870	84.5	92.5	82.8	73.3	...
65	832	739	846	83.9	92.2	81.9	72.0	...
64	800	722	822	83.4	91.8	81.1	71.0	...
63	772	706	799	82.8	91.4	80.1	69.9	...
62	746	688	776	82.3	91.1	79.3	68.8	...
61	720	670	754	81.8	90.7	78.4	67.7	...
60	697	654	732	81.2	90.2	77.5	66.6	...
59	674	634	710	80.7	89.8	76.6	65.5	351 (2420)
58	653	615	690	80.1	89.3	75.7	64.3	338 (2330)
57	633	595	670	79.6	88.9	74.8	63.2	325 (2240)
56	613	577	650	79.0	88.3	73.9	62.0	313 (2160)
55	595	560	630	78.5	87.9	73.0	60.9	301 (2070)
54	577	543	612	78.0	87.4	72.0	59.8	292 (2010)
53	560	525	594	77.4	86.9	71.2	58.6	283 (1950)
52	544	512	576	76.8	86.4	70.2	57.4	273 (1880)
51	528	496	558	76.3	85.9	69.4	56.1	264 (1820)
50	513	482	542	75.9	85.5	68.5	55.0	255 (1760)
49	498	468	526	75.2	85.0	67.6	53.8	246 (1700)
48	484	455	510	74.7	84.5	66.7	52.5	238 (1640)
47	471	442	495	74.1	83.9	65.8	51.4	229 (1580)
46	458	432	480	73.6	83.5	64.8	50.3	221 (1520)
45	446	421	466	73.1	83.0	64.0	49.0	215 (1480)
44	434	409	452	72.5	82.5	63.1	47.8	208 (1430)
43	423	400	438	72.0	82.0	62.2	46.7	201 (1390)
42	412	390	426	71.5	81.5	61.3	45.5	194 (1340)
41	402	381	414	70.9	80.9	60.4	44.3	188 (1300)
40	392	371	402	70.4	80.4	59.5	43.1	182 (1250)
39	382	362	391	69.9	79.9	58.6	41.9	177 (1220)
38	372	353	380	69.4	79.4	57.7	40.8	171 (1180)
37	363	344	370	68.9	78.8	56.8	39.6	166 (1140)
36	354	336	360	68.4	78.3	55.9	38.4	161 (1110)
35	345	327	351	67.9	77.7	55.0	37.2	156 (1080)
34	336	319	342	67.4	77.2	54.2	36.1	152 (1050)
33	327	311	334	66.8	76.6	53.3	34.9	149 (1030)
32	318	301	326	66.3	76.1	52.1	33.7	146 (1010)
31	310	294	318	65.8	75.6	51.3	32.5	141 (970)
30	302	286	311	65.3	75.0	50.4	31.3	138 (950)
29	294	279	304	64.6	74.5	49.5	30.1	135 (930)
28	286	271	297	64.3	73.9	48.6	28.9	131 (900)
27	279	264	290	63.8	73.3	47.7	27.8	128 (880)
26	272	258	284	63.3	72.8	46.8	26.7	125 (860)
25	266	253	278	62.8	72.2	45.9	25.5	123 (850)
24	260	247	272	62.4	71.6	45.0	24.3	119 (820)
23	254	243	266	62.0	71.0	44.0	23.1	117 (810)
22	248	237	261	61.5	70.5	43.2	22.0	115 (790)
21	243	231	256	61.0	69.9	42.3	20.7	112 (770)
20	238	226	251	60.5	69.4	41.5	19.6	110 (760)

[A] This table gives the approximate interrelationships of hardness values and approximate tensile strength of steels. It is possible that steels of various compositions and processing histories will deviate in hardness-tensile strength relationship from the data presented in this table. The data in this table should not be used for austenitic stainless steels, but have been shown to be applicable for ferritic and martensitic stainless steels. Where more precise conversions are required, they should be developed specially for each steel composition, heat treatment, and part.

274

TABLE 28 Approximate Hardness Conversion Numbers for Nonaustenitic Steels[A] (Rockwell B to other Hardness Numbers)

Rockwell B Scale, 100-kgf Load 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Vickers Hardness Number	Brinell Hardness, 3000-kgf Load, 10-mm Ball	Knoop Hardness, 500-gf Load and Over	Rockwell A Scale, 60-kgf Load, Diamond Penetrator	Rockwell F Scale, 60-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	Rockwell Superficial Hardness			Approximate Tensile Strength ksi (MPa)
						15T Scale, 15-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	30T Scale, 30-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	45T Scale, 45-kgf Load, 1/16-in. (1.588-mm) Ball	
100	240	240	251	61.5	...	93.1	83.1	72.9	116 (800)
99	234	234	246	60.9	...	92.8	82.5	71.9	114 (785)
98	228	228	241	60.2	...	92.5	81.8	70.9	109 (750)
97	222	222	236	59.5	...	92.1	81.1	69.9	104 (715)
96	216	216	231	58.9	...	91.8	80.4	68.9	102 (705)
95	210	210	226	58.3	...	91.5	79.8	67.9	100 (690)
94	205	205	221	57.6	...	91.2	79.1	66.9	98 (675)
93	200	200	216	57.0	...	90.8	78.4	65.9	94 (650)
92	195	195	211	56.4	...	90.5	77.8	64.8	92 (635)
91	190	190	206	55.8	...	90.2	77.1	63.8	90 (620)
90	185	185	201	55.2	...	89.9	76.4	62.8	89 (615)
89	180	180	196	54.6	...	89.5	75.8	61.8	88 (605)
88	176	176	192	54.0	...	89.2	75.1	60.8	86 (590)
87	172	172	188	53.4	...	88.9	74.4	59.8	84 (580)
86	169	169	184	52.8	...	88.6	73.8	58.8	83 (570)
85	165	165	180	52.3	...	88.2	73.1	57.8	82 (565)
84	162	162	176	51.7	...	87.9	72.4	56.8	81 (560)
83	159	159	173	51.1	...	87.6	71.8	55.8	80 (550)
82	156	156	170	50.6	...	87.3	71.1	54.8	77 (530)
81	153	153	167	50.0	...	86.9	70.4	53.8	73 (505)
80	150	150	164	49.5	...	86.6	69.7	52.8	72 (495)
79	147	147	161	48.9	...	86.3	69.1	51.8	70 (485)
78	144	144	158	48.4	...	86.0	68.4	50.8	69 (475)
77	141	141	155	47.9	...	85.6	67.7	49.8	68 (470)
76	139	139	152	47.3	...	85.3	67.1	48.8	67 (460)
75	137	137	150	46.8	99.6	85.0	66.4	47.8	66 (455)
74	135	135	147	46.3	99.1	84.7	65.7	46.8	65 (450)
73	132	132	145	45.8	98.5	84.3	65.1	45.8	64 (440)
72	130	130	143	45.3	98.0	84.0	64.4	44.8	63 (435)
71	127	127	141	44.8	97.4	83.7	63.7	43.8	62 (425)
70	125	125	139	44.3	96.8	83.4	63.1	42.8	61 (420)
69	123	123	137	43.8	96.2	83.0	62.4	41.8	60 (415)
68	121	121	135	43.3	95.6	82.7	61.7	40.8	59 (405)
67	119	119	133	42.8	95.1	82.4	61.0	39.8	58 (400)
66	117	117	131	42.3	94.5	82.1	60.4	38.7	57 (395)
65	116	116	129	41.8	93.9	81.8	59.7	37.7	56 (385)
64	114	114	127	41.4	93.4	81.4	59.0	36.7	...
63	112	112	125	40.9	92.8	81.1	58.4	35.7	...
62	110	110	124	40.4	92.2	80.8	57.7	34.7	...
61	108	108	122	40.0	91.7	80.5	57.0	33.7	...
60	107	107	120	39.5	91.1	80.1	56.4	32.7	...
59	106	106	118	39.0	90.5	79.8	55.7	31.7	...
58	104	104	117	38.6	90.0	79.5	55.0	30.7	...
57	103	103	115	38.1	89.4	79.2	54.4	29.7	...
56	101	101	114	37.7	88.8	78.8	53.7	28.7	...
55	100	100	112	37.2	88.2	78.5	53.0	27.7	...
54	99	...	111	36.8	87.7	78.2	52.4	26.7	...
53	98	...	110	36.3	86.5	77.9	51.7	25.7	...
52	97	...	109	35.9	86.0	77.5	51.0	24.7	...
51	96	...	108	35.5	85.4	77.2	50.3	23.7	...
50	95	...	107	35.0	84.8	76.9	49.7	22.7	...
49	94	...	106	34.6	84.3	76.6	49.0	21.7	...
48	93	...	105	34.1	83.7	76.2	48.3	20.7	...
47	92	...	104	33.7	83.1	75.9	47.7	19.7	...
46	91	...	103	33.3		75.6	47.0	18.7	...

Abstract

An experimental study of metallic joints, varied in chemical composition and thickness, has been performed in this study, in order to show the effect of arc welding parameters on micro-structure and mechanical properties of this joints. Carbon steel and stainless steel were used as a studied metals in this research. Electrodes type have been chosen depending on the welded metal and its thickness, so that low carbon steel electrodes (E6013) & (E7018-1) were used to join carbon steel plates, and stainless steel electrodes (E316L-16) were used to join stainless steel and (carbon steel- stainless steel) plates. The metallic joints were welded using the manual arc welding machine, in two types: butt joints and lap joints. Welding current, arc voltage and welding speed variation were recorded in each case, then heat input was calculated. Light microscope was used to examine the microstructure of welded joints at X100 & X200. Ferrite- Perlite structure was seen in various zones of the carbon steel joints (WM, FL, HAZ & PM), austenitic structure was seen in the weld metal zone of stainless steel and austenitic structure with few amount of ferrite were seen in (carbon steel- stainless steel) joints. The macro-hardness test has showed that hard phases were not formed in the various zones of welded joints. Tensile test has showed that the ultimate stress of welded joints was higher than that of the parent metals of each one, as the fracture place of the tensile specimen was noted in the less thickness parent metal.

Key Words: Arc welding process- Carbon steel- Stainless steel- Thickness- Chemical composition.

Al Baath University
Journal of Al Baath University

جامعة البعث
مجلة جامعة البعث

قبول نشر بحث
طالب دراسات عليا

الرقم: ٢٤٧٤
التاريخ ١٥/ ٩ / 2021

طالب الدراسات العليا: نادين يزبك الدكتور المشرف: أ.د.م محمد علي سلامة + أ.د.م أحمد رعيد

كلية:الهمك جامعة: دمشق

نود إعلامكم بقبول بحثكم الموسوم:

البنية البلورية والقساوة الماكروية لمناطق مختلفة من الوصلات اللحامية الفولاذية متباينة التركيب الكيميائي والثخانة

للنشر في مجلة جامعة البعث بالمجلد **43** لعام **2021**

بعد أن تم تحكيمه من قبل مختصين.

نشكر لكم هذه المساهمة الطيبة ونتطلع إلى استمرار تواصلكم مع مجلتنا ومدها بما لديكم من جديد والاطلاع على الأبحاث المنشورة في المجلة على موقع المجلة والرابط المدونين في أسفل الصفحة.

موقع الجامعة www.albaath-univ.edu.sy والرابط magazine @ albaath-univ.edu.sy

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية

١٥/٩/٢٠٢١ أ.د. درغام سلوم

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical & Electrical Engineering
Department of Mechanical Design Engineering

The effect of arc welding process on micro- structure and mechanical properties of metalic joints, varied in chemical composition and thickness

A discussion Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Master Degree in Material Science and Engineering

By:

Eng. Nadine Yazbek

Associated Supervisor
Prof.Dr.Eng Ahmed Al Rassis
Professor- Higher Institute of Applied Sciences and Technology

Scientific Supervisor
Prof.Dr.Eng Mohamad Ali Salameh
Professor- Department of Mechanical Design Engineering- Damascus University

2021-2022