الفصل السادس

العيوب في الوصلات الملحومة

(آلية تشكلها، العوامل المؤثرة، نصائح لتلافيها)

Defects in Welded Joints

يُعتبر اللحام بجميع أنواعه تكنولوجيا معقدة، لكثرة العوامل التي تؤثر في جودة الوصلات الملحومة، وللتأثيرات المتبادلة فيما بينها، ولصعوبة ضبط البعض منها إلى الحد المرغوب. ونظراً لصعوبة الضبط الشامل لعملية اللحام، يعاني التكوين النموذجي لمعظم الوصلات الملحومة من انقطاعات Discontinuitys، تتمثل في نقص التجانس في الخواص الميكانيكية، أو الميتالورجية، أو الفيزيائية للمادة أو لمعدن اللحام، وهذه الانقطاعات لا تعتبر بالضرورة عيوبا. فالعيب Defect هو فقط الانقطاع الذي سواء بطبيعته أو بنتيجة الأثر المتراكم يجعل الجزء أو المنتج غير قادر على تلبية الحد الأدنى لمتطلبات المعيارية أو المواصفات المطبقة.

يصنف المعهد الدولي للحام (I.I.W.) عيوب الوصلات الملحومة ضمن ست مجموعات أساسية وهي على التوالي :

- المجموعة الأولى : التشققات Cracks،

- المجموعة الثانية : الفجوات Cavities، (المسامية Porosity وفجوات الانكماش Shrinkage cavities)
- المجموعة الثالثة: المضمنات الصلبة Solid Inclusions، (خبث Slag وأكاسيد Oxides)
- المجموعة الرابعة: الانصهار والتغلغل غير الكاملين Incomplete fusion or penetration،
- المجموعة الخامسة: الأشكال المشوهة Imperfect shape
- المجموعة السادسة: عيوب متنوعة Miscellaneous defects.

وعند النظر إلى الأسباب الأساسية لهذه العيوب، يمكن تصنيفها إلى عيوب تقانية Technological defects ، وعيوب المهارة العملية Workmanship defects. وتعرف العيوب التقانية بأنها العيوب التي تنشأ بسبب تضارب (عدم انسجام) كبير في عملية اللحام، كاختيار قضيب لحام خاطىء، أو معالجة حرارية غير صحيحة، أو تصميم غير ملائم للوصلة ...الخ، ويندرج ضمنها معظم عيوب التشققات، وعيوب نقص الالتحام والتغلغل. في حين تنشأ عيوب المهارة العملية بسبب التغيرية الملازمة لطريقة اللحام، أو أخطاء عامل اللحام التي تحدث صدفة، ويندرج ضمن هذه العيوب معظم عيوب الفجوات والمضمنات الصلبة وعيوب الشكل والعيوب المتنوعة. يعرض هذا الفصل غالبية العيوب الموجودة في المجموعات السته، ويبين صفاتها المميزة، ويشرح أسباب نشوئها، كما يعطي النصائح الضرورية للتخلص من هذه الأسباب قدر الإمكان.

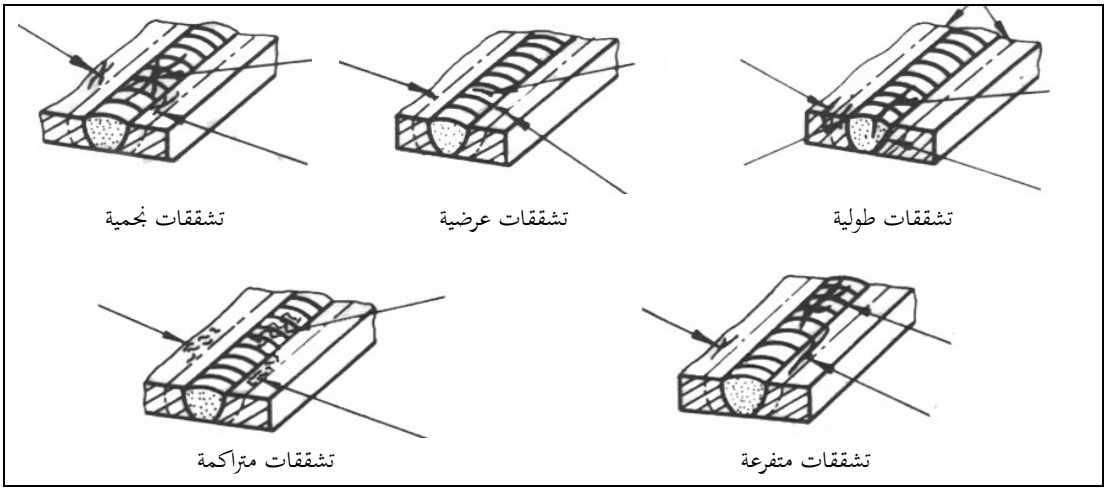
١- المجموعة الأولى : التشققات

تعتبر التشققات من أخطر أنواع عيوب الوصلات الملحومة، فهي تُضعف متانة الوصلة بشكل محسوس، وقد تتوسع تحت تأثير الاجهادات أثناء استثمار المنتج مسببة انهياراً مفاجئاً، وتظهر خطورها خاصةً عندما يتعرض المنتج لشروط عمل تتمثل بدرجة حرارة منخفضة وبتأثير حمولات ديناميكية، وكقاعدة عامة، لا يمكن التسامح بوجود التشققات في المنتجات. تصنف التشققات وفقا لمعايير متعددة كالشكل، ودرجة الحرارة، ومكان تواجدها ...الخ.، ويمكن مثلاً تصنيفها وفقا لمعيار الشكل (الشكل : ٦-١) إلى الأصناف التالية:

- **تشققات طولية** : تشققات في اتجاه درزة اللحام و تقع في درزة اللحام وسطح الفصل (حدود الدرزة) والمنطقة المتأثرة حراريا والمعدن الأصلي.
- **تشققات عرضية** : تشققات في اتجاه عرضي بالنسبة لدرزة اللحام وتقع في درزة اللحام والمنطقة المتأثرة حراريا والمعدن الأصلي.
- **التشققات النجمية** : يكون الشق على شكل نجمة ينبعث من موقع معين ويتشعب في اتجاهات مختلفة ويمكن أن يتواجد في درزة اللحام والمنطقة المتأثرة حراريا والمعدن الأصلي.
- **التشققات المتراكمة** : وهي عبارة عن مجموعة من التشققات لا يتصل بعضها ببعض وهي تنشأ في درزة اللحام والمنطقة المتأثرة حراريا والمعدن الأصلي.
- **تشققات متفرعة** : تشقق رئيسي متفرع عنه تشققات أخرى وهي تنشأ في درزة اللحام والمنطقة المتأثرة حراريا والمعدن الأصلي.

كما سنعرض تصنيفا آخر يسمح بدراسة أسباب نشوء التشققات حيث يتم تصنيف التشققات إلى :

التشققات على الساخن، والتشققات على البارد، وتشققات إعادة التسخين، وتشققات التمزق الرقائقي.

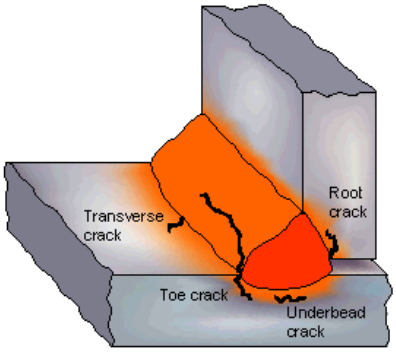


الشكل ٦-١: تصنيف التشققات وفق المعهد الدولي للحام.

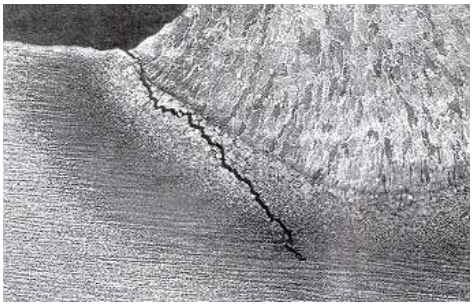
١-١- التشققات الباردة Cold Cracks

تحدث التشققات الباردة، كما يشير اسمها، بعد انتهاء اللحام وانخفاض درجة حرارة الوصلة الملحومة حتى درجة حرارة المحيط، وقد يتأخر ظهورها لساعات أو لأيام بعد تنفيذ اللحام، ولذلك تدعى أحيانا بالتشققات المتأخرة delayed cracks ، كما تدعى أيضا بتشققات الهيدروجين Hydrogen cracks في إشارة لدور الهيدروجين الأساسي في نشوئها. ويمكن لهذه التشققات أن تصيب منطقة المعدن المصهور كما يمكنها أن تصيب المنطقة المتأثرة حرارياً وفقاً لاتجاهات متعددة (الشكل: ٦-٢).

وترتبط التشققات التي تنشأ في المنطقة المتأثرة حراريا بمنطقة الحبيبات الكبيرة (الشكل: ٦-٣)، وتتوسع عبر حدود الحبيبات intergranular كما في أنواع الفولاذ مرتفع الكربون والفولاذ منخفض الخلائطية، أو عبر الحبيبات transgranular كما في أنواع الفولاذ المنغنيزي C-Mn steel، وقد يكون توسعها مزيجا من الحالتين.



الشكل ٦-٢: رسم تخطيطي لبعض المواقع والاتجاهات المحتملة للتشققات الباردة.



الشكل ٦-٣: تشقق على طول بنية الحبيبات الكبيرة ضمن المنطقة المتأثرة حراريا HAZ.

١-١-١- آلية تشكل التشققات على البارد

تنتج التشققات على البارد بسبب وجود وتضافر ثلاثة عوامل حرجة هي البنية الميتالورجية الحساسة والهيدروجين والاجهادات، حيث ينتشر الهيدروجين باتجاه المناطق القصفة الأكثر إجهاداً ضمن الوصلة الملحومة.

- **البنية الميتالورجية الحساسة**

بصورة عامة فإن البنية الأكثر حساسية أو قابلية للتشقق على البارد هي البنية ذات الطبيعة البينيتية أو المارتنسيتية التي تكون قصفة وذات صلادة عالية، والتي يتطلب ظهورها أن تكون قابلية التصلد للفولاذ كبيرة، وأن يكون معدل التبريد مرتفعا. وعند لحام قطع من الفولاذ المنغنيزي أو الفولاذ منخفض الخلائطية مثلاً، فإنه يوجد تنوع واسع في أنواع البنية التي تظهر في المنطقة المتأثرة حرارياً، ويتوقف ذلك على التركيب الكيميائي للمعدن الأساس وعلى إجراءات اللحام:

أ- التركيب الكيميائي

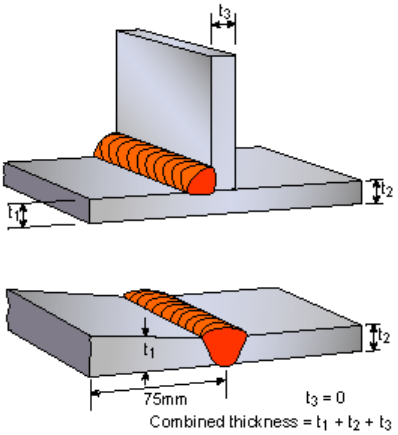
من أجل تقانة لحام معينة ونوع وصلة وثخانات معلومة، تعتمد قابلية الاصلاد للفولاذ في المقام الأول على محتوى الكربون، ونظرا لأن معظم قضبان اللحام المستخدمة (معدن الملء) يكون محتواها من الكربون أقل مما هو في المعدن الأساس فإن احتمال تشكل البنية الحساسة للتشقق يكون أكبر في المنطقة المتأثرة حراريا. من جهة أخرى، فإن العديد من العناصر السبائكية لها تأثيرات متفاوتة على زيادة قابلية الفولاذ للتصلد والتشقق ويقدر فعل هذه العناصر كنسبة من فعل الكربون وذلك باستخدام تعبير المكافىء الكربوني، الذي يمثله العديد من العلاقات إحدها ما يلي :

$$CE = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Ni\% + Cu\%}{15} + \frac{Cr\% + Mo\% + V\%}{5}$$

عندما ترتفع قيمة المكافىء الكربوني، تكون قابلية الفولاذ للتصلد والتشقق كبيرة وتظهر البنية ذات الطبيعة المارتنسيتية حتى عندما يكون معدل التبريد منخفضا. وكقاعدة عامة عندما تبلغ قيمة المكافىء الكربوني 0.41 و/أو ثخانة الصفائح الملحومة 30 mm يُنصح باستخدام قضبان لحام منخفضة الهيدروجين.

ب– معدل التبريد

تتأثر كثيراً درجة صلادة المنطقة المتأثرة بالحرارة ،ضمن وصلة ملحومة لأحد أنواع الفولاذ، بمعدل التبريد لهذه المنطقة، وهي بصورة عامة تصبح أكثر صلادة وأكثر قابلية للتشقق كلما ارتفع معدل تبريدها، الذي يُستدل عليه غالباً بقياس الزمن اللازم لانخفاض درجة الحرارة من 800 إلى 500 درجة مئوية. ومن العوامل الأساسية، التي تسهم في ارتفاع معدل التبريد، انخفاض درجة الحرارة البدائية للقطع المراد لحامها، وأيضاً ازدياد ثخاناتها، أو ازدياد الثخانة الإجمالية (مجموع ثخانة المواد المتلاقية عند خط الوصلة)، وهو ما يُفسر أن معدل التبريد في حالة وصلة زاوية أكبر منه في حالة وصلة تناكبية بالرغم من أن ثخانة الصفائح الملحومة في الحالتين متساوية (الشكل: ٦–٤).



الشكل ٦-٤: الثخانة الإجمالية في حالتي الوصلة الزاوية، والتناكبية.

تجدر الاشارة إلى أن مستوى الصلادة الحرج الذي يوافق ظهور التشققات ليس ثابتاً، بل يتبع لمحتوى الهيدروجين في الدرزة، وعلى سبيل المثال بالنسبة لأنواع الفولاذ الإنشائي تعتبر أي منطقة خطرة عندما تصل قساوتها إلى HV 350 عندما يكون محتوى الهيدروجين مرتفعاً، بينما يمكن السماح بصلادة تصل قيمتها إلى HV 450 عندما يكون محتوى الهيدروجين منخفضاً.

- **تأثير الهيدروجين**

عند تشكل بنية صلدة ضمن وصلة ملحومة لإحدى خلائط الفولاذ، سواءٌ بسبب التركيب الكيميائي و/أو معدل التبريد، فإن مقاومتها للتشقق عند تعرضها للإجهاد تنخفض بشدة حال تواجد كمية ضئيلة من الهيدروجين ضمنها. ولذلك يتباين خطر تشكل التشققات الباردة وفقا لنوع عملية اللحام بالقوس الكهربائي المستخدمة، فهذه العمليات تسهم في إدخال الهيدروجين إلى معدن اللحام بدرجات متباينة ، وبصورة عامة تنتج عمليات اللحام باستخدام الغازات الواقية TIG و MIG كمية هيدروجين أقل من تلك التي تنتج عن عمليات اللحام القوسي باستخدام القضبان المغلفة أو المحجبة بمساعدات الصهر، كما أن الأغلفة القاعدية تولد كمية هيدروجين أقل من الكمية التي تولدها الأغلفة الروتيلية. يأتي

الهيدروجين أثناء اللحام من مصادر عديدة ، كرطوبة الهواء المحيط، ورطوبة غلاف قضيب اللحام أو الغازات الواقية أو مساعد الصهر (الفلكس)، ورطوبة سطح القطع المراد لحامها، كما يمكن أن ينتج بسبب تواجد شحوم أو زيوت في منطقة اللحام، وتكون قابلية انحلال الهيدروجين كبيرة ضمن معدن الدرزة المنصهر، بينما تنخفض قابلية انحلاله في المعدن عند انتقاله من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة ويزداد هذا الانخفاض مع استمرار التبريد وانخفاض درجة حرارة المعدن، ولذلك فهو يحاول الانتشار باتجاه المناطق التي لا تزال أستنيتية. يُظهر الشكل (٦-٥) أنوع البنية المتشكلة أثناء تقدم اللحام ضمن منطقة المعدن المصهور وضمن المنطقة المتأثرة بالحرارة في حالتين من الوصلات الملحومة، وتأثير ذلك على اتجاه انتشار الهيدروجين وبالتالي على مكان ظهور التشقق :

أ- الحالة الأولى : معدن الدرزة أطرى من المعدن الأساس ، وهي الحالة الأكثر شيوعاً، حيث نسبة الكربون في منطقة المعدن المصهور أقل منها في المعدن الأساس. يُلاحظ أثناء تجمد معدن الدرزة المنصهر في هذه الحالة انتشار الهيدروجين من منطقة الدرزة ذات البنية ألفا المشبعة بشدة بالهيدروجين باتجاه المنطقة المتأثرة حراريا ذات البنية الأوستنيتية، ومع استمرار التبريد تتحول بنية المعدن في المنطقة المتأثرة حراريا الى البنية المارتنسيتية ولا تملك ذرات الهيدروجين الوقت الكافي للهروب فتبقى محتجزة فيها ومسببة ضغط داخلي شديد وتولد تشققات ضمن هذه المنطقة.

ب- معدن الدرزة أقسى من المعدن في المنطقة المتأثرة حراريا :

في هذه الحالة لا يوجد ما يدفع الهيدروجين للهجرة من معدن الدرزة إلى المنطقة المتأثرة حراريا، فيبقى الهيدروجين محتجزاً ضمن البنية المارتنسيتية لمعدن الدرزة، وتظهر التشققات فيها.

- **تأثير الاجهادات**

في غياب الاجهادات لا يظهر أي نوع من التشققات، ولكن مع ازدياد الاجهادات المؤثرة، يمكن أن تظهر التشققات في حال كانت مطيلية (لدونة) المادة التي تعرضت للتصلد غير

كافية لتتلاءم مع الانفعالات الناتجة. والاجهادات الواجب أخذها بعين الاعتبار لدى دراسة التشققات الباردة هي الاجهادات المتبقية بنوعيها المباشرة وغير المباشرة بالاضافة إلى الاجهادات الناتجة عن الحمولات الخارجية. ويُلاحظ أنه عندما يكون مقدار الهيدروجين المنحل في حوض الانصهار كبيراً، تظهر التشققات مباشرة بعد حدوث التحول المارتنسيتي وتكون الاجهادات المتبقية المباشرة كافية وحدها لحدوث ذلك. بينما عندما يكون مقدار الهيدروجين المنحل في حوض الانصهارضئيلاً، تُصبح كمية الهيدروجين المنشرة باتجاه المنطقة المتأثرة حراريا في لحظة التحول المارتنسيتي غير كافية لتحريض الهشاشة التي تقود لنشوء التشقق. وفي هده الحالة، تحدث التشققات في الساعات التي تلي عملية اللحام وغالبا بعد أن تكون الوصلة قد بردت تماما، ويتطلب نشوءها مستوى أعلى من الاجهادات بنوعيها المتبقية والخارجية، ويسهم وجود حزوز أو تغيرات حادة في المقطع ضمن الوصلة الملحومة في ظهور مناطق لتركز الاجهادات، التي تكون في الغالب مواقع لنشوء التشققات.

١-١-٢- النصائح

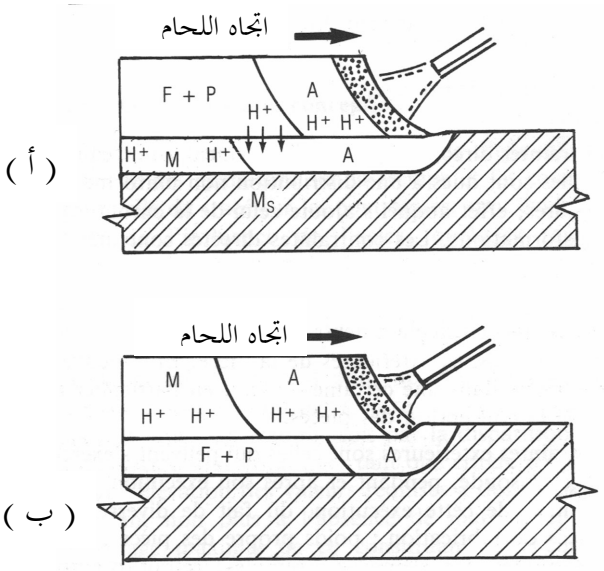
يمكن الإقلال من احتمال حدوث التشققات الباردة عبر إزالة واحد أو أكثر من العوامل الثلاثة الحرجة المساهمة في نشوئها، وينصح باتباع الاجراءات الأساسية التالية :

- محاولة استعباد الهيدروجين من خلال استخدام عمليات لحام و/أو قضبان لحام منخفضة الهيدروجين واتباع إجراءات التجفيف المنصوح بها، وأيضا من خلال تنظيف أسطح الوصلة وإزالة الصدأ والشحوم والزيوت والدهان، ...الخ.
- استخدام معدن أساس ذي قابلية أقل لتشيكيل بنية مارتنسيتية.
- تطبيق الاحماء الأولي على القطع المراد لحامها لتقليل معدل التبريد، بهدف تجنب تشكل بنية قصفة.
- عند الضرورة، استخدام قضبان لحام أوستنيتية تجبر الهيدروجين على البقاء ضمن منطقة الدرزة،

وأكثر الأنواع استخداما هو القضيب ذو التركيب Cr % 25 و Ni% 20.

– استخدام التسخين اللاحق، للوصلة الملحومة المنتهية، الذي يسهم في ابعاد الهيدروجين وفي تقليل الهشاشة.

– اتباع الاجراءات التي تسهم في خفض مستوى الاجهادات المتبقية ضمن الدرزة ومنها على سبيل المثال لا الحصر تجنب التقييد الشديد وتجنب المبالغة بالفرجة عند الجذر بين القطع الملحومة.



الشكل ٦–٥: انتشار الهيدروجين ضمن الوصلة الملحومة

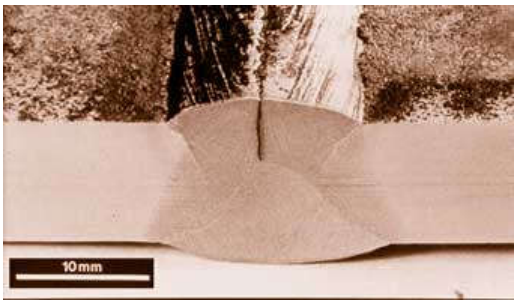
أ– معدن الدرزة أطرى من المعدن الأساس ب– معدن الدرزة أقسى من المعدن في المنطقة المتأثرة حراريا

(A : أوستنيت، M : مارتنسيت، P : بيرليت، F : فيريت)

١–٢– التشققات الساخنة Hot Cracks

تتشكل التشققات الساخنة عند درجات الحرارة المرتفعة، قبل انتهاء عملية تجمد درزة اللحام، وتدعى أحيانا تشققات التجمد Solidification Cracks، وينحصر وجودها في منطقة الدرزة حيث تظهر غالباً على شكل خط مستقيم منطبق على محور تناظر الدرزة

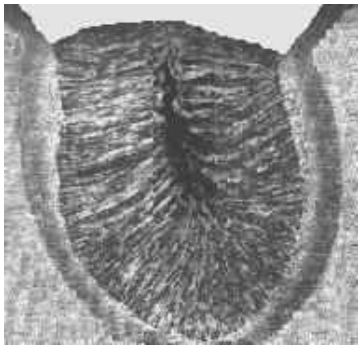
(الشكل: ٦-٦)، وفي بعض الأحيان تكون عرضانية متعامدة معه، وتعتبر شوائب الكبريت والفوسفور من أهم مسببات هذه التشققات، وهي أكثر عرضة للحدوث في أنواع الفولاذ مرتفع الكربون.



شكل ٦-٦: مثال عن التشققات الساخنة الطولانية.

١-٢-١- آلية تشكل التشققات الساخنة

يتلخص السبب الأساسي لتشكل التشققات على الساخن بأن متانة درزة اللحام، في المرحلة الأخيرة من عملية التجمد، غير كافية لمقاومة اجهادات الانكماش المتولدة عن تجمد حوض الانصهار وانخفاض درجة حرارته، وتساعد ظاهرة العزل أو الفصل Segregation ضمن حوض الانصهار على تجمع الشوائب في مركز الدرزة، مع العلم أن درجة حرارة انصهار الشوائب منخفضة وهي تبقى في الحالة السائلة حتى بعد تجمد المعدن الأساس، وبالتالي فإن بقاء نواة من السائل حتى درجة حرارة 900 ºC يُنقص المقطع المقاوم لإجهادات الانكماش، ويجعل الانهيار ممكنا مادام التجمد لم ينته (الشكل: ٦-٧).



الشكل ٦-٧: آلية تشكل التشققات الساخنة.

١-٢-٢- العوامل المؤثرة

يتأثر تشكل التشققات الساخنة في الوصلات الملحومة، بالعديد من العوامل ومنها على سبيل المثال خواص المادة (محتوى الشوائب، أو مقدار الانكماش عند التجمد ...الخ)، وشكل وأبعاد الوصلة الملحومة، ومقدار تقييد الوصلة.

أ- خواص المادة : في حالة الفولاذ، يرتبط تشكل التشققات الساخنة باحتواء معدن اللحام على مقادير حرجة من شوائب الفوسفور والكبريت، ويتعزز احتمال تشكلها مع زيادة نسبة الكربون، في حين أن المنغنيز والسيليكون يسهمان في خفض هذا الاحتمال. وعامة فإن محتوى المعدن المضاف (قضبان وأسلاك اللحام) من الكربون أقل من محتوى المعدن الأساس، كما أنه أكثر نقاءً ومحتواه من الشوائب ضئيل جداً، ولذلك يعتبر المعدن الأساس المصدر الأساسي لوجود هذه العناصر ضمن معدن اللحام، ويزداد مقدار تواجدها كلما كانت كمية المعدن الأساس المنصهرة أكبر (معدل تخفيف مرتفع high dilution)، ولذلك يقل احتمال تشكل تشققات على الساخن عند استخدام عمليات اللحام ذات معدل التخفيف المنخفض، كطريقة اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي MMA أو طريقة اللحام القوسي بوسط غازي MIG ، في حين يزداد احتمال تشكل التشققات الساخنة عند لحام الجذر في الوصلات التناكبية أو عند استخدام عمليات اللحام التي لا تتطلب معدناً مضافاً (كما في

حالة لحام المقاومة أو بعض حالات لحام TIG)، أو عند استخدام عمليات اللحام ذات معدل التخفيف المرتفع كما في طريقة اللحام الآلي بالقوس المحجوب. وكقاعدة عامة يجب ألا يتجاوز المحتوى الاجمالي للفولاذ المنغنيزي من كلتا الشائبتين 0.06%، وعند لحام وصلات شديدة التقييد لأنواع الفولاذ مرتفع المتانة ينصح ألا يتجاوز المحتوى الاجمالي من الشائبتين 0.03%.

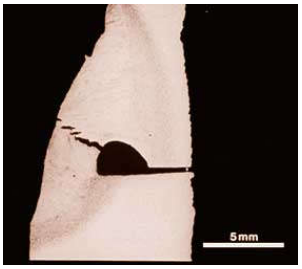
عند تنفيذ وصلة اللحام باستخدام اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي، يزول خطر تشكل تشققات على الساخن إذا تحققت النسب التالية :

$$S \langle 0.04\ \% \ , P \langle 0.04\ \% \ , C \langle 0.13\ \% , Mn/S > 20$$

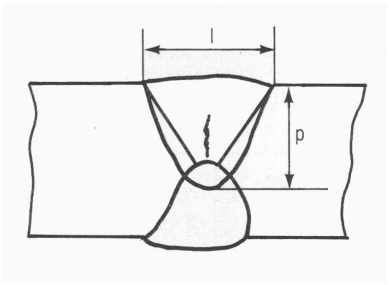
ب- شكل الوصلة: يؤثر شكل الوصلات الملحومة على احتمال تشكل التشققات الساخنة، ويُقيم أثره من خلال نسبة عمق التغلغل إلى عرض الوصلة $\frac{P}{L}$ ، ويمكن تمييز الحالتين الحديتين التاليتين (الشكل: ٦-٨) :

- الوصلات العريضة وغير العميقة، وتظهر مثل هذه الحالة عندما تكون الفرجة gap بين القطع الملحومة كبيرة فيتشكل العيب المسمى بالجسرية bridging، ويكون مقطع الدرزة صغيرا ولا يقدر على مقاومة إجهادات الانكماش العرضي.
- الوصلات الضيقة والعميقة : تكون عرضة لتشكيل الشقوق الساخنة فهي تساعدعلى بقاء نسبة عالية من الشوائب محتجزة في مركز الدرزة.

ج- مقدارالتقييد: يسهم ارتفاع مقدار التقييد، للوصلات الملحومة، بنوعيه الذاتي (حالة الوصلات ذات الثخانات الكبيرة) و/أو الخارجي في زيادة مقدار اجهادات الإنكماش ضمنها، مما يزيد من خطر تشكل التشققات.



أ- حالة وصلة تناكبية ملحومة من طرف واحد، والنسبة P/L صغيرة.



ب- حالة وصلة تناكبية ملحومة من الوجهين، والنسبة P/L كبيرة.

الشكل ٦-٨: أثر الشكل الهندسي للوصلة الملحومة.

١-٢-٣- النصائح

للإقلال من خطر تشكل التشققات الساخنة، يُنصح باتباع الاجراءات التالية :

- الانتباه للتركيب الكيميائي للمعدن الأساس، ولمحتواه من الشوائب.

- إعطاء عناية خاصة لاختيار المعدن المضاف (قضبان وأسلاك اللحام) بحيث يكون ذا محتوى منخفض من الكربون والشوائب، وبالمقابل يفضل أن يكون محتواه من المنغنيز والسيليكون مرتفعاً نسبياً. وعند استخدام قضبان اللحام المغلفة مثلاً، ينصح أن يكون الغلاف من النوع القاعدي حيث تسهم المواد الموجودة في هذه الأغلفة وخاصة المنغنيز بتنقية معدن الدرزة من شوائب الكبريت والفوسفور.

- تجنب العوامل التي تقود إلى التبريد السريع للدرزة، ويمكن عند الضرورة استخدام التسخين المسبق للإقلال من معدل التبريد.

- الإقلال من سرعة تقدم اللحام.

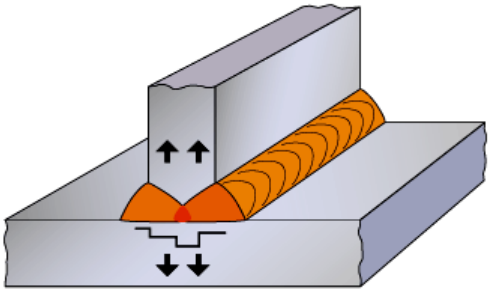
- الانتباه لتحضير حواف الوصلة الملحومة ، ولعدم المبالغة بمقدار التباعد بين حافتيها.

- استخدام برامترات اللحام التي تسمح بتحقيق نسبة عمق التغلغل إلى العرض ملائمة في الوصلات التناكبية $\frac{0.5}{1} < \frac{P}{L} < \frac{2}{1}$، أو مقطع مناسب في الوصلات الزاوية.

- المحافظة على نظافة قضبان اللحام أو أي معدن ملء.
- تنظيف حواف الوصلة قبل اللحام من كل أنواع الشوائب.
- عند الضرورة، استبدال عملية اللحام المستخدمة بأخرى تعطي نسبة تخفيف أقل.
- اتباع الاجراءات التي تسهم في خفض مستوى اجهادات الانكماش في الوصلة.

١-٣- التمزق الرقائقي Lamellar tearing

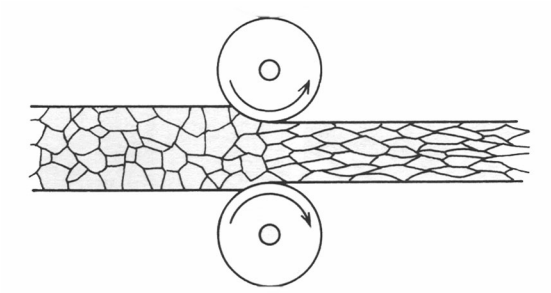
يحدث هذا العيب خاصةً عند لحام الصفائح الفولاذية المصنعة بالدرفلة، التي تكون مطيليتها منخفضة عبر ثخانتها، ويتوضع ضمن المعدن الأساس حصراً ويكون موازيا لسطح الصفيحة (الشكل: ٦-٩). ويتأثر احتمال ظهوره كثيراً بتصميم الوصلة الملحومة، وبالقيود المفروضة على مكونات المنتج الملحوم. .



الشكل ٦-٩: تمزق رقائقي ضمن وصلة ملحومة من الشكل Tee.

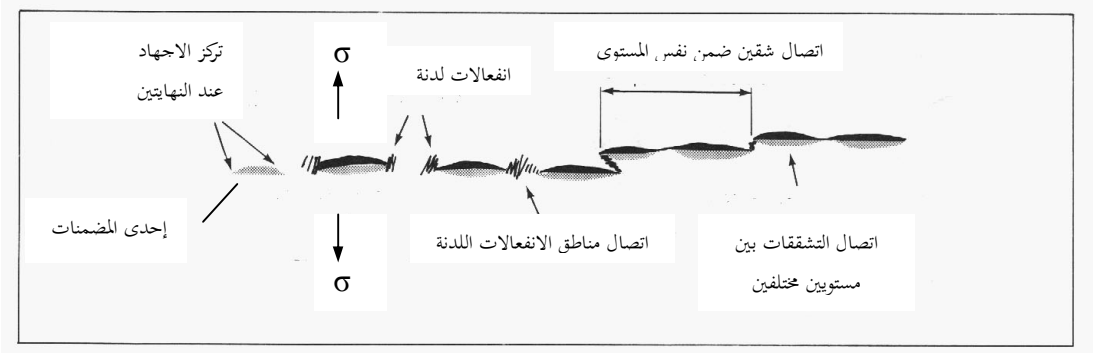
١-٣-١- آلية التشققات الرقائقية

تؤثر عملية الدرفلة في شكل الحبيبات والمضمنات ضمن المنتجات المعدنية، فتصبح بنية الصفائح ذات طبيعة رقائقية، وتأخذ الحبيبات والمضمنات شكلاً متطاولاً (الشكل: ٦-١٠)، وتكون متانة المعدن في الاتجاه المعامد لسطح الدرفلة (عبر الثخانة) أقل بكثير من متانتها في الاتجاه الموازي لها.



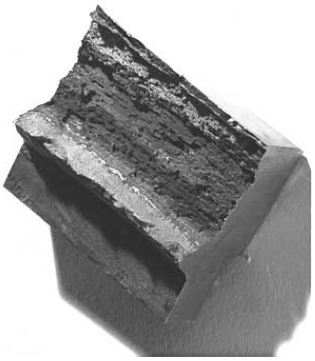
الشكل ٦-١٠: تأثير تكنولوجيا الدرفلة على شكل الحبيبات في المعدن.

ولذلك عندما ينجم عن عملية اللحام تطبيق إجهاد شد، ذو شدة كافية، في الاتجاه العمودي على سطح درفلة الصفيحة، تنتج التشققات بالتمزق الصفائحي ويتم تشكلها على مرحلتين (الشكل: ٦-١١)، ففي المرحلة الأولى يزول الترابط أو الالتصاق بين الشوائب والمعدن الأساس فتتشكل تشققات مجهرية حول الشوائب، ومع تشكل الانفعالات اللدنة عند نهايات الشوائب (بسبب تركز الاجهاد ومساعدة حرارة اللحام) يتوسع التشقق المتشكل حول الشائبة ليتصل بشق آخر ضمن نفس الطبقة وهكذا ، وفي المرحلة الثانية تتصل التشققات في مختلف الطبقات بسبب انهيار المعدن بينهما الناجم عن اجهادات القص، ويكون اتجاه الانهيار متعامداً تقريباً مع اتجاه الدرفلة.



الشكل ٦-١١: آلية حدوث التمزق الرقائقي.

يُظهر الشكل (٦-١٢) نموذجا لسطح كسر، في وصلة ملحومة، ناجم عن التمزق الرقائقي وهو يعكس، من خلال مظهره الخشبي Woody ، بشكل واضح آلية التمزق الآنفة الذكر.



الشكل ٦-١٢: مظهر سطح كسر ناجم عن تمزق رقائقي.

١-٣-٢- النصائح

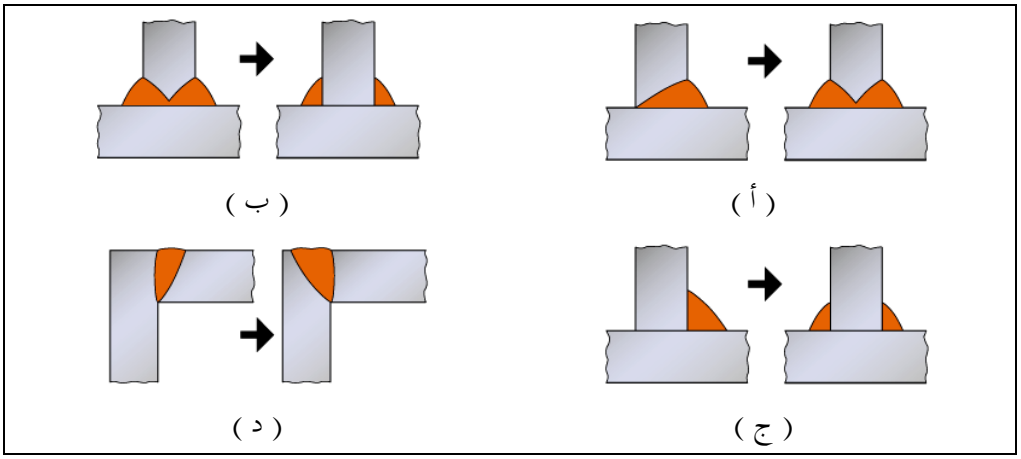
☜ اختيار أنواع فولاذ أكثر مقاومة للتمزق الرقائقي، يكون محتواها من المضمنات ضئيلاً وتكون ذات مطيلية مقبولة عبر الثخانة. وتعتمد مثلاً المواصفة الأوربية EN 10 164, في تقويمها لمدى مقاومة المعدن للتمزق الرقائقي على إجراء تجارب شد على عينات تم انتزاعها عبر ثخانة المعدن، وتستخدم النسبة المئوية لتغير مقطع العينة خلال تجربة الشد كمعيار لذلك، وتحدد ثلاثة مستويات جودة هي Z15 وZ25 وZ35 ينصح بها على التوالي للوصلات الملحومة التي تتعرض لمستوى متوسط من الاجهادات، ثم لمستوى مرتفع من الاجهادات، وأخيرا لمستوى إجهاد شديد جدا.

☜ تعديل تصميم الوصلة بما يسمح بتجنب أو الإقلال ما أمكن من إجهادات الانكماش عبر ثخانة الصفيحة، ويراعى مثلاً أن خطر التمزق الرقائقي في الوصلات التناكبية ضئيل جدا لأن اجهادات الانكماش العرضي لا تؤثر عبر ثخانة الصفائح الملحومة، في حين أن الوصلات الملحومة على شكل حرف Tee والوصلات الزاوية معرضة بشدة لخطر التمزق

الرقائقي، ويوضح الشكل (٦-١٣) بعض الأمثلة عن إمكانيات تعديل تصميم هذين النوعين من الوصلات للإقلال من احتمال تشكل التمزق الرقائقي فيهما.

☜ استخدام طبقة ملاط Buttering

وهي طريقة شائعة الاستخدام ، وتتلخص هذه الطريقة بوضع طبقة رقيقة (ملاط) من معدن مضاف أقل متانة من المعدن المضاف الأساسي على السطح المتوقع حدوث تشقق رقائقي فيه (الشكل: ٦-١٤). تتراوح ثخانة طبقة الملاط من 5 إلى 10 mm وتكون ممتدة قبل وبعد الوصلة بنحو من 15-25 mm. يتوجب قبل استخدام هذه الطريقة إجراء الحسابات التصميمية الضرورية لضمان أن المتانة الاجمالية للوصلة تقع ضمن الحدود المقبولة.



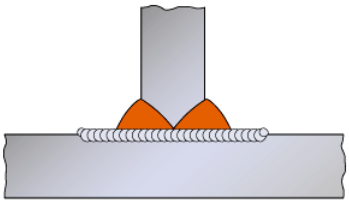
الشكل ٦-١٣: بعض إمكانيات التعديل في تصميم الوصلات الملحومة للإقلال من احتمال تشكل التمزق الرقائقي فيها:

أ- استبدال اللحام من طرف واحد بلحام من الطرفين، مما يسمح بتوازن أفضل لاجهادات الإنكماش ويقلل احتمال التمزق في منطقة الجذر.

ب- استخدام درزتين زاويتين صغيرتين من الجانبين عوضاً عن درزتين بتغلغل كامل.

ج- درزتان زاويتان صغيرتان من الجانبين أفضل من درزة زاوية كبيرة من طرف واحد.

د- تعديل حواف الوصلة (حواف الانصهار) لتصبح متعامدة تقريبا مع سطح الصفيحة المعرضة للتمزق.



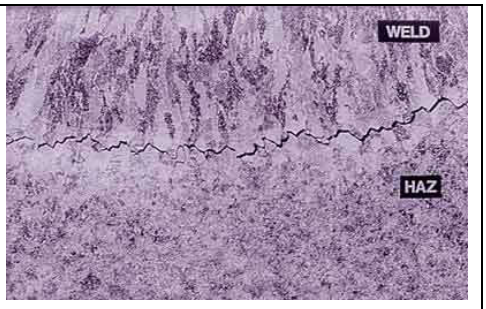
الشكل ٦-١٤: استخدام طبقة ملاط.

- استخدام الاحماء المسبق
- اتباع الإجراءات التي تسهم في انقاص الاجهادات والانفعالات المصاحبة للحام

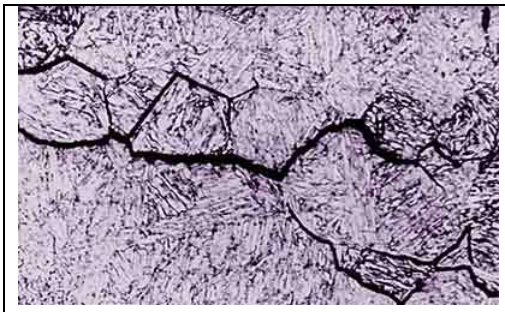
١-٤- تشققات إعادة التسخين Reheat Cracking

يمكن لتشققات إعادة التسخين أن تتشكل في أنواع الفولاذ منخفض الخلائطية، الحاوية على إضافات خلائطية من الكروم ، والموليبدينيوم ، والفاناديوم، عندما تخضع الوصلات الملحومة لهذه المعادن لعمليات تسخين لاحق، كما هو الحال في المعاملات الحرارية الخاصة بتخفيف الاجهادات المتبقية، أو عندما توجد الوصلة في شروط استثمار تخضع خلالها لدراجات حرارة عالية (وخاصة ضمن المجال من 350 إلى 550 درجة مئوية)، أو عندما تكون الوصلات الملحومة متعددة الطبقات. توجد هذه التشققات بشكل خاص في مناطق الحبيبات الكبيرة ضمن المنطقة المتأثرة بالحرارة (الشكل: ٦-١٥)، كما قد توجد في مناطق الحبيبات الكبيرة ضمن معدن الدرزة، ويمكن ملاحظتها في معظم الأحيان بالعين المجردة، وتكون مرتبطة غالبا بمناطق تركز الإجهادات ومنها مثلا منطقة اتصال سطح الدرزة مع المعدن الأساس Weld toe.

تتوسع تشققات إعادة التسخين عبر حدود الحبيبات (الشكل: ٦-١٦)، وتكون التشققات ضمن معدن الدرزة إما طولانية أو عرضانية بالنسبة لاتجاه اللحام، بينما تكون عادة التشققات ضمن المنطقة المتأثرة بالحرارة موازية لاتجاه اللحام.



الشكل ٦-١٥: ارتباط تشققات إعادة التسخين بالمنطقة المتأثرة حراريا ذات الحبيبات الكبيرة.



الشكل ٦-١٦: طبيعة تشققات إعادة التسخين عبر حدود الحبيبات.

١-٤-١- النصائح

للإقلال من احتمال تشكل تشققات إعادة التسخين ، يُنصح بشكل أساسي باتباع ما يلي :

١- تجنب استخدام أنواع الفولاذ المعروفة بحساسيتها لهذا النمط من التشققات، فعلى سبيل المثال عند انتقاء أحد أنواع الفولاذ المقاومة للزحف، يُلاحظ أن مقاومة الخليطة 0.5Cr 0.5Mo 0.25V والخليطة 2.25Cr 1Mo للزحف متماثلة، ولكن قابلية الخليطة الثانية للتشقق أقل بكثير من قابلية الأولى. ولتقدير مدى قابلية إحدى خلائط الفولاذ لتشققات إعادة التسخين، تم وضع العديد من العلاقات التجريبية التي تعتمد على معرفة التركيب الكيميائي ومن هذه العلاقات :

$$R = Cr + Cu + 10V + 7Nb + 5Ti + 2Mo - 2$$

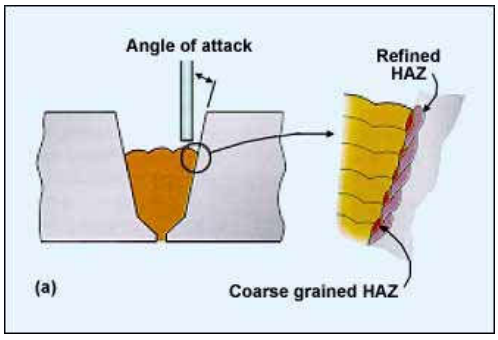
حيث يعتبر أنه يوجد خطر تشكل تشققات إعادة التسخين عندما تكون $R > 0$

٢- الانتباه لمستوى الشوائب (مثل البور والنبيوم والفوسفور والكبريت ...إلخ) في الفولاذ ومراعاة ألا تتجاوز النسبة المئوية لمجمل الشوائب % 0.01، لأنها تتسبب في الهشاشة وتُضعف حدود الحبيبات.

٣- اتباع إجراءات اللحام التي تسهم في الحد من تضخم حبيبات الأوستنيت، ومنها مثلاً استخدام كمية حرارة دخل منخفضة مع الإنتباه لضرورة رفع درجة حرارة الإحماء المسبق في هذه الحالة تجنباً لتشكل التشققات الباردة.

٤- اتباع الإجراءات التي تسهم في إعادة تنعيم الحبيبات الكبيرة ضمن المنطقة المتأثرة حراريا، ففي الوصلات التناكبية يمكن تحقيق أكبر قدر من إعادة التنعيم عبر استخدام أسلوب اللحام متعدد الطبقات والتحضير المناسب لزاويا حواف الوصلة واستخدام قضيب اللحام بزاوية هجوم صغيرة تسمح بالإقلال من كمية معدن الحواف المنصهر (الشكل: ٦-١٧).

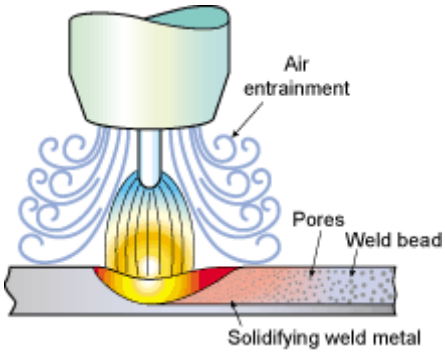
٥- الحد من مسببات تركز الإجهاد، مثل عيوب الشكل وعيوب التغلغل الناقص ...إلخ.



الشكل ٦-١٧: يساهم اللحام متعدد الطبقات واستخدام قضيب اللحام بزاوية هجوم صغيرة في إعادة تنعيم حجم الحبيبات ضمن المنطقة المتأثرة بالحرارة.

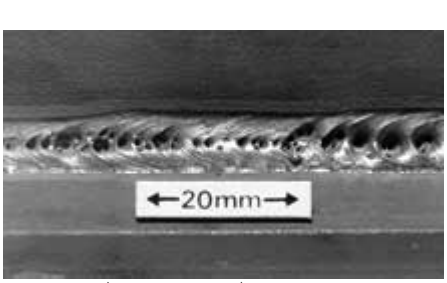
٢- المجموعة الثانية : الفجوات Cavities

الفجوات هي جيوب غازية Gas Pockets، يوجد منها أنواع متعددة كفجوات الانكماش Shrinkage Voids مثلاً، ولكن أكثر أنواعها شيوعاً تلك المعروفة بالمسامية Porosity وهي تنجم عن فقاعات الغازات المحتجزة ضمن معدن الدرزة المتجمد (الشكل: ٦-١٨). في الواقع، تنحل بعض الغازات (مثل الهيدروجين ، والأكسجين والآزوت ...إلخ) بسهولة ضمن حوض الانصهار عند درجات الحرارة العالية، وأثناء التجمد تقل قابلية انحلالهم في المعدن، ويتم نبذهم على شكل فقاعات، وعندما يكون معدل التبريد كبيراً، لا يُتاح الوقت الكافي لهروب الغازات بشكل كامل فيبقى بعضها محتجزاً ضمن كتلة المعدن المتجمدة على شكل مسامات غازية.

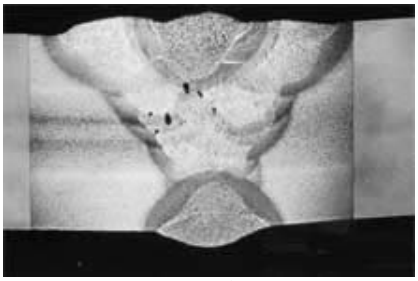


شكل ٦-١٨: تشكل المسامية ضمن درزة اللحام.

ويُظهر الشكل (٦-١٩) نموذجين من المسامية ، الأول هو لمسامية سطحية يمكن ملاحظتها بالعين المجردة، أما الثاني فهو لمسامية داخلية موجودة ضمن معدن الدرزة.
تأخذ الفجوات غالباً شكلاً كروياً Spherical، ولكن في بعض الأحيان تأخذشكلاً متطاولاً ذا نهايات حادة يدعى بالدودي Wormhole (الشكل: ٦-٢٠).

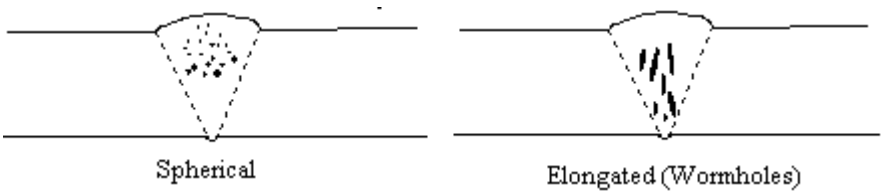


مسام داخلية موزعة بانتظام



مسام سطحية

الشكل ٦-١٩: أنواع المسامية.



الشكل ٦-٢٠: رسم تخطيطي لأشكال المسامات.

٢-١- مصادر الغازات

للغازات مصادر عديدة بعضها خارج عن الدرزة وبعضها داخلي، ومن أهم هذه المصادر:

أ- تلوث جو الحماية المحيط.

ب- الهواء المحيط، في حال عدم تأمين حماية مناسبة وكافية لمنطقة القوس.

ج- رطوبة غلاف قضبان اللحام أو الغاز الواق أو مساعد اللحام (الفلكس) وذلك تبعا لطريقة اللحام المستخدمة.

ج- رطوبة المعدن الأساس.

د- التلوث (شحم أو زيت) على حواف الوصلة.

هـ- وسائل حماية الأسطح كالدهان وتغليف الزنك مثلا، يمكن أن تكون مصدرا لمقدار كبير من الدخان أثناء اللحام.

و- التفاعلات الكيميائية المولدة للغازات التي تحدث في حوض الانصهار ،خاصة عند عدم احتواء المعدن الأساس أو المعدن المضاف على عناصر مزيلة للتأكسد (مختزلة) مثل المنغنيز والسيليسيوم والألمنيوم بكميات كافية، كما هو الحال في أنواع الصلب غير المخمد، وقد تحدث هذه التفاعلات أيضا عند وجود كميات زائدة من الأكاسيد ضمن حوض الانصهار.

ز- الغازات الموجودة ضمن المعدن الأساس من مراحل التصنيع وتتحرر أثناء انصهار حواف الوصلة.

ح- الهواء أو الغازات الأخرى المحتجزة في الفراغات والجيوب التي توفرها بعض أنواع الوصلات الملحومة، أو بعض أنواع العيوب، فهذه الغازات تتمدد بتأثير حرارة اللحام، وبحكم موقعها لا تجد منفذاً للهرب إلا عبر معدن الدرزة المنصهر.

٢-٢- أنماط تواجد المسامات

توجد المسامات معزولة بعضها عن بعض أو توجد ضمن مجموعات وأنساق (الشكل: ٦-٢١)، ويمكن تمييز الحالات الرئيسية التالية :

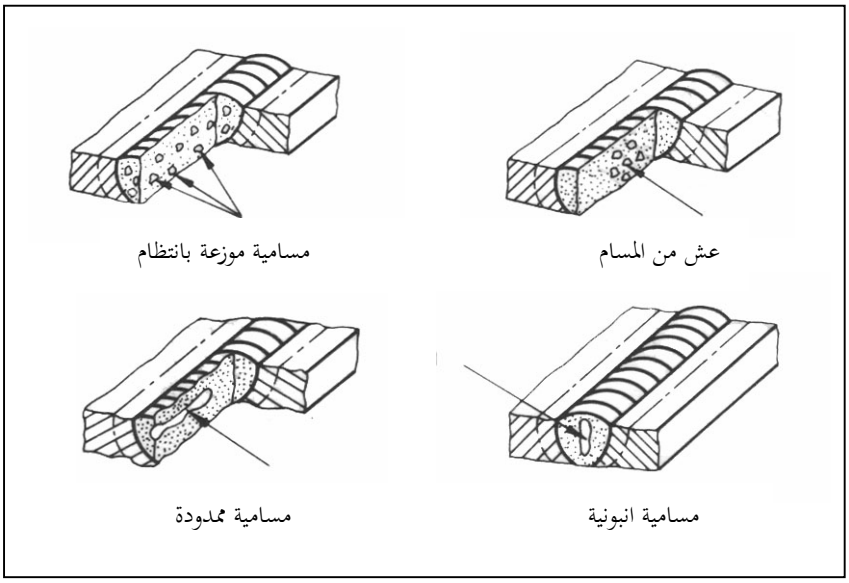
أ- مسامية مبعثرة Scattered porosity : وهي فجوات صغيرة متناثرة ضمن درزة اللحام، وتنجم عن ذوبان الغازات كالنتروجين والأكسجين والهيدروجين في معدن اللحام المنصهر وانحباس البعض منها عند التجمد، وعندما يكون مقدار المسامات كبيرا يظهر بعضها على شكل مسامات سطحية. وأسبابها إما أسلوب لحام خاطىء أو مواد ملوثة أو الاثنان معاً.

ب- أعشاش من المسام Cluster porosity : تكون المسام متجمعة في مواقع معينة نتيجة تولد غازات من تفاعلات كسوة اللحام في تلك المواقع، أو بسبب قدح أو انهاء قوس اللحام بشكل غير سليم.

ج- مسام متراصفة في خطوط Aligned porosity : وهي عبارة عن صفوف من المسام تواجد عند السطح البيني للدرزة أو عند الجذر أو عند الحد الفاصل بين طبقات اللحام وتنجم عن ملوثات تحرر الغازات في تلك المواقع.

د- مسامية ممدودة Elongated porosity : وتدعى أيضا فجوات دودية Wormholes وهي عبارة عن قناة غازية ممتدة طوليا في الاتجاه الطولي لدرزة اللحام وفي بعض الحالات يمكن أن تقع على السطح، وأسبابها انحباس مقدار كبير من الغازات ضمن معدن اللحام المتجمد، ويمكن أن يتشكل هذا القدر الكبير من الغازات اعتبار من تلوث السطح بشدة أو من طبقة دهان ذات ثخانة كبيرة.

- مسامية انبوبية Piping porosity وهي عبارة عن فجوة طولها أكبر من عرضها تكون متعامدة تقريبا مع سطح الدرزة، وفي حالة الوصلات الزاوية تمتد الفجوة من الجذر باتجاه السطح، وتتشكل في المرحلة الأخيرة للتجمد بسبب انكماش المعدن وتترافق بفقاعات من الغاز.



الشكل ٦-٢١: أنماط وجود المسامية ضمن الوصلات الملحومة.

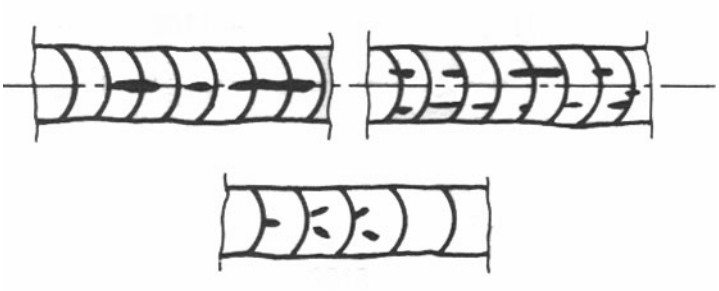
٢-٣- أسلوب المعالجة :

للإقلال من إمكانية تشكل الفجوات فإنه ينصح بما يلي :

- ازالة مصادر الغازات ما أمكن من خلال العناية بنظافة حواف الوصلة قبل اللحام، وإزلة أية حماية سطحية (دهان، زنك ...الخ) من منطقة اللحام، وبتجفيف قضبان اللحام والقطع المراد لحامها، كما يفضل استخدام غازات حماية مناسبة، ومنع أي تسرب للهواء، واستخدام معدن ملء ذي محتوى مناسب من المواد مزيلة الأكسدة...إلخ.
- تجنب المبالغة بكل من شدة التيار، وطول القوس، كما ينصح بالإقلال من سرعة تقدم اللحام لاتاحة زمن أكبر أمام الغازات للهرب.
- وفي حال لوحظ ارتفاع معدل التبريد، ينصح بتطبيق التسخين المسبق على المنتج الملحوم.

٣- المجموعة الثالثة : المضمنات الصلبة Solid Inclusions

المضمنات الصلبة عبارة عن جسيمات غريبة انحبست داخل المعدن المنصهر وأنواعها الأساسية مضمنات الخبث Slag inclusions، ومضمنات الأكاسيد Oxide inclusions، ومضمنات التنغستين Tungsten inclusions. تسهم المضمنات بشكل عام في اضعاف متانة الوصلات الملحومة ويتوقف خطر انهيار وصلة اللحام بسبب المضمنات الصلبة على شكل هذه المضمنات وأماكن وجودها (الشكل: ٦-٢٢)، فالمضمنات الطولانية ذات النهايات الحادة تسبب تركز إجهاد أكثر من المضمنات ذات النهايات المستديرة، والمضمنات الموجودة في أماكن تركز الاجهاد، كما تُسهم شوائب الأكاسيد أو المعادن الغريبة في زيادة هشاشة الوصلة.



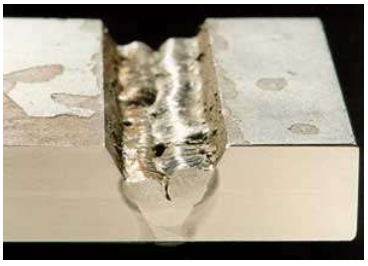
الشكل ٦-٢٢: مضمنات خبثية.

٣-١- مضمنات الخبث :

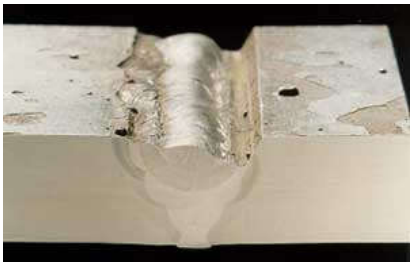
مضمنات الخبث عبارة عن مواد صلبة غير معدنية محتجزة ضمن معدن الدرزة أو عند السطوح البينية، كالأسطح الفاصلة بين الدرزة والمعدن الأساس أو تلك الفاصلة بين طبقات اللحام، وهي موجودة في معظم طرق لحام القوس الكهربائي، إما بسبب تنفيذ اللحام بشكل غير فني أو بسبب صعوبة الوصول لمكان الوصلة أو الاثنين معا. ففي طريقة اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي مثلاً، تحتوي أغلفة قضبان اللحام المستخدمة على مواد تشكل طبقة من الخبث تطفو على سطح المعدن المنصهر (لأنها أقل كثافة منه) وتقوم بعزله عن الوسط الخارجي. وأيضا في طريقة اللحام بالقوس المحجب، ينصهر مساعد اللحام ويطفو فوق سطح المعدن المنصهر كما يطفو قسم منه عند مقدمة القوس مما يجعل المعدن المضاف يترسب فوقه. وعندما يوجد الخبث ضمن المعدن المصهور لأي سبب كان، تسهم بعض العوامل في إعاقة تحرره وبقاء بعضه محتجزاً داخل معدن اللحام المتجمد، ومن هذه العوامل بصورة خاصة فشل المعدن في البقاء في حالته المنصهرة لفترة زمنية كافية تسمح للخبث بأن يرتفع إلى السطح، أو اللزوجة العالية لمعدن اللحام.

من جهة أخرى، عندما يتطلب تنفيذ الوصلة إجراء أكثر من مسار لحام فانه يتوجب التخلص من طبقة الخبث التي تغطي المعدن في المسار السابق ولكن في معظم الأحيان لا يكون التنظيف كافيا فتتبقى بعض جزيئات الخبث محتجزة بين أشواط اللحام. تجدر الإشارة

إلى أن جودة تنفيذ اللحام والحصول على سطح درزة أملس خالٍ من العيوب يسهم إلى حد بعيد في سهولة تنظيف الخبث، في حين أن سطح الدرزة المتعرج والحاوي على عيوب يجعل مهمة تنظيف الخبث صعبة جداً (الشكل: ٦-٢٣).



تنفيذ سيء



تنفيذ جيد

الشكل ٦-٢٣: أثر جودة تنفيذ اللحام على سهولة تنظيف الخبث بين طبقات اللحام المتعاقبة.

المعالجة

أ- قبل اللحام

- يتوجب تنظيف حواف الوصلة جيداً قبل البدء بتنفيذ اللحام كما ينصح بتلافي الشنفرة الضيقة.

ب- أثناء تنفيذ اللحام

- يتوجب إزالة الخبث كلياً بين طبقات اللحام المتتالية باستخدام أداة تنظيف مناسبة واستخدام التجلخ إن تطلب الأمر.

- تلافي استخدام قضيب لحام بقطر كبير واختيار تغليف قضيب اللحام بما يلائم وضعية اللحام المراد تنفيذها.

- تنفيذ اللحام بطريقة فنية (تجنب المبالغة بطول القوس، والتعامل مع ظاهرة النفخ المغناطيسي).

- اللجوء إلى العوامل التي تجعل المعدن المنصهر أقل لزوجة، وتؤخر تجمدة.

٣-٢- مضمنات الأكاسيد :

تسهم مضمنات الأكاسيد في زيادة هشاشة الوصلة الملحومة، وتنجم إما عن أكسدة المعدن الأساس قبل اللحام، و/أو عن أكسدة المعدن الأساس والمعدن المضاف أثناء إجراء اللحام بسبب التماس مع الهواء لعدم كفاية الحماية التي يوفرها الخبث أو الغازات الواقية كما في حالة تقدم اللحام بشكل سريع جدا أو استخدام قوس لحام طويل ...الخ.

٣-٣- مضمنات التنغستين :

يوجد هذا النوع من المضمنات خاصة عند تنفيذ اللحام بطريقة القوس الكهربائي والغازات الخاملة والكترود التنغستين المعروفة اختصارا بطريقة TIG ، إما بسبب اصطدام مفاجئ بين الكترود التنغستين وحوض الانصهار مما يؤدي إلى تفتت جزء منه، أو بسبب استخدام شدة تيار مرتفعة بالنسبة لقطر القضيب فينصهر جزء منه.

٤- المجموعة الرابعة: نقص الالتحام والتغلغل

Lack of fusion and Penetration

يعتبر الالتحام (الاندماج) والتغلغل (الاختراق) الجيدان شرطين أساسيين في جودة الوصلات الملحومة، وإن النقص في أحدهما أو كليهما يسيء كثيراً لمتانتها وجودتها.

٤-١- نقص الالتحام (الاندماج) Lack of fusion

يتمثل هذا العيب بعدم انصهار حافتي المعدن الأساس في وصلة اللحام أو طبقة اللحام السابقة أثناء عملية اللحام، فيتوضع المعدن المضاف إلى جوار المعدن الأساس غير المنصهر دون أن يمتزج معه ودون أن يشكلا حوض انصهار مشتركاً. يترافق غالباً نقص انصهار المعدن الأساس بعملية أكسدة له، وهذه الأكاسيد إما أن تكون أكاسيد منصهرة تؤمن ربط المعدن الأساس مع المعدن المضاف، أو تكون أكاسيد غير منصهرة تتوضع بينهما، ويمكن

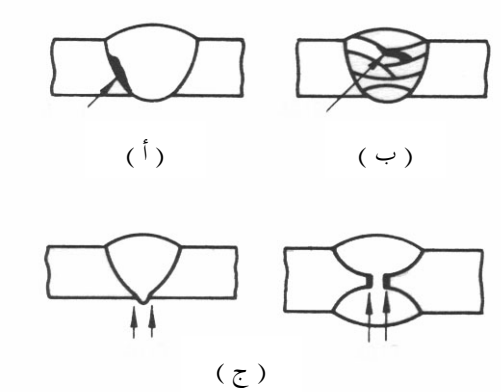
بسهولة وفقا لمظهر سطح الكسر التمييز بين نقص الالتحام الناجم عن كلا النوعين من الأكاسيد.

يصنف عادة نقص الالتحام، وفقاً لموقعه، في ثلاثة أنواع أساسية (الشكل: ٦-٢٤) وهي:

أ- نقص التحام (ا) الجانب أو الطرف Lack of side fusion ويتمثل بترابط سيئ بين إحدى حافتي المعدن الأساس في وصلة اللحام مع المعدن المضاف،

ب- نقص الالتحام عند جذر الدرزة lack of fusion at the root of the weld ويتمثل بترابط سيئ بين إحدى حافتي المعدن الأساس في منطقة جذر وصلة اللحام مع المعدن المضاف،

ج- نقص الالتحام بين الطبقات أو المسارات Lack of inter-run fusion وهو عبارة عن ترابط سيء بين طبقات المعدن المضاف.



الشكل ٦-٢٤: أصناف نقص الالتحام،

أ- عدم التحام على الجوانب ، ب- عدم التحام بين طبقات اللحام، ج- عدم التحام عند الجذر

٤-١-١- الصفات المميزة لنقص الاندماج (الالتحام) :

أظهرت الفحوص الميتالوغرافية أنه، وفقاً للصفات المميزة لنقص الالتحام، يمكن التمييز بين الأنواع الثلاثة التالية:

أ- نقص الاندماج الصافي Pur lack of fusion

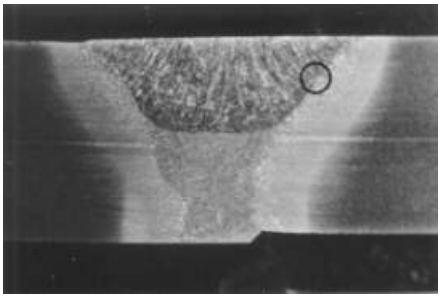
ينجم نقص الاندماج الصافي غالباً بسبب مضمنات الأكاسيد القابلة للصهر، ويعتبر عيباً بنيوياً، حيث يلتصق المعدن المضاف المنصهر على سطح المعدن الأساس الذي لم ينصهر بما فيه الكفاية أثناء اللحام، فتتشكل الوصلة بين الحالة الصلبة والحالة السائلة. لا يمكن اكتشاف هذا العيب بواسطة طرق الاختبارات اللاإتلافية، وإنما يستعان بالفحص المجهري لكشفه وتكون استقامة خط الانصهار في الغالب دليلاً على نقص الالتحام بين المعدن الأساس ومعدن اللحام (الشكل: ٦-٢٥).

ب- نقص الاندماج المنفتح Open lack of fusion

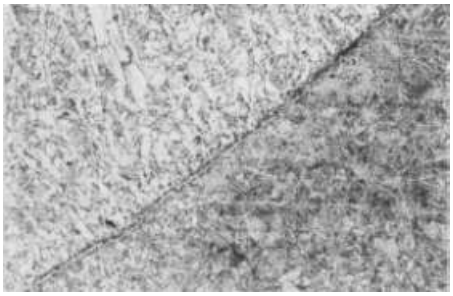
تؤدي الاجهادات الداخلية في الوصلة الملحومة أحياناً إلى انفصال السطوح المتلاصقة وتشكيل فجوات يصعب تمييزها عن عيوب التشققات (الشكل: ٦-٢٦). ويمكن كشف هذا العيب بطرق الاختبارات اللاإتلافية.

ج- نقص الاندماج المتكون من مضمنات غير معدنية
Lack of fusion consisting of non metallic inclusion

يترافق نقص الاندماج غالبا بوجود أكاسيد ومضمنات غير معدنية (الشكل: ٦-٢٧)، وعندما لا تنصهر طبقة الأكاسيد يكون توزع المضمنات غير المعدنية منتظما عبر كامل سطح عدم الاندماج، أما عندما تنصهر هذه الطبقة تأخذ المضمنات شكلا كرويا.

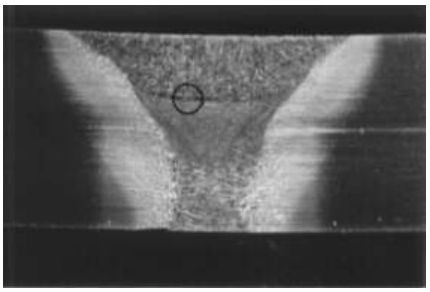


التكبير ٣.٥ مرة

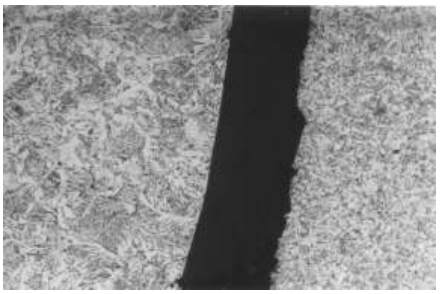


التكبير ١٠٠ مرة

الشكل ٦-٢٥: نقص التحام نقي بين طبقة اللحام الأخيرة والمعدن الأساس.

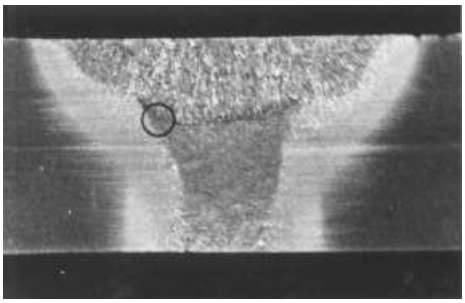


التكبير ٣.٥ مرة

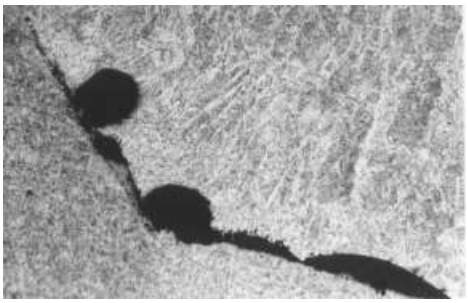


التكبير ١٠٠ مرة

الشكل ٦-٢٦: نقص التحام مفتوح بين الطبقة المركزية والنهائية.



التكبير ٣.٥ مرة



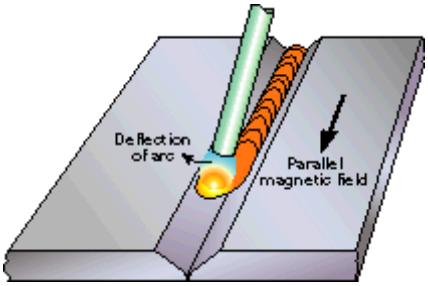
التكبير ١٠٠ مرة

الشكل ٦-٢٧: نقص الاندماج المتكون من مضمنات غير معدنية.

٤-١-٢- الأسباب :

تنشأ عامة عيوب نقص الالتحام عندما لا تصل درجة حرارة كل من حواف المعدن الأساس أو طبقة معدن اللحام السابقة، خلال عملية اللحام، حتى نقطة الانصهار وتتلخص الأسباب الأساسية لذلك بما يلي :

- طاقة لحام غير كافية (العمل عند تيار كهربائي ذي شدة منخفضة)
- سرعة تقدم كبيرة أثناء تنفيذ الوصلة.
- ضعف مهارة عامل اللحام واستخدامه لقضيب اللحام بزاوية لحام غير صحيحة، حيث يؤدي ذلك إلى توزع غير متجانس للحرارة.
- وجود الخبث والأكاسيد والقشور ومواد أخرى غير معدنية على حواف المعدن الأساس المراد لحامها، فهي تمنع بلل المعدن الأساس، وتسهم في الإقلال من كمية الحرارة المنتقلة إليه.
- التحضير السيئ للحواف : تتسبب الحواف الضيقة جدا على سبيل المثال في جذب القوس إلى إحدى الحافتين، مسببة نقص الالتحام مع الحافة الأخرى، أو تغلغلاً غير متناظر مع طبقة اللحام السابقة، ويمكن أيضا أن تعيق وصول قضيب اللحام بشكل ملائم إلى المكان المطلوب ضمن الوصلة.
- الانحراف غير المضبوط للقوس : تعرف هذه الظاهرة باسم النفخ المغناطيسي Magnetic arc blow. وتتمثل بانحراف القوس بسبب تشوه الحقل المغناطيسي المحيط بالقوس (الشكل: ٦-٢٨)، كنتيجة للتأثير المتبادل مع الحقل المغناطيسي الناجم عن مرور التيار ضمن القطعة الملحومة وصولا إلى مأخذ كبل التيار الراجع و/أو الحقل المغناطيسي المتبقي في القطعة، بسبب استخدام مغناطيس في عمليات المناولة، و/أو الحقل المغناطيسي للأرض (عند لحام خطوط نقل النفط والغاز).



الشكل ٦-٢٨: انحراف القوس بسبب ظاهرة النفخ المغناطيسي.

٤-١-٣- النتائج وأسلوب المعالجة:

يعتبر هذا العيب خطراً، لأنه يصعب اكتشافه بطرق الاختبارات اللاإتلافية، ولأنه يُشكل مصدراً لنشوء تشققات التعب، خاصةً عندما يكون في مناطق تركز الاجهادات مثل جذر وصلة اللحام. يُنصح لتلافي عيوب نقص الالتحام باتباع الإجراءات التالية:

- المحافظة على الالكترود أثناء تنفيذ اللحام منطبقاً على محور تناظر الوصلة.
- العناية بنظافة سطوح المعدن الأساس في الوصلة قبل البدء باللحام.
- الاختيار الجيد لبرامترات (لمتحولات) عملية اللحام (شدة مرتفعة لتيار اللحام، طول القوس قصير، سرعة تقدم اللحام معتدلة).
- اختيار الكترود بقطر أكبر.
- تحضير حواف الوصلة بشكل صحيح.
- تجنب أن تكون بداية الوصلة ونهايتها في مناطق تركز الإجهاد.
- استخدام التسخين المسبق لحواف الوصلة.
- وفي حال ملاحظة انحراف الحقل المغناطيسي للقوس، فإنه ينصح بتعديل موقع مأخذ كبل التيار العائد، وعند استخدام طريقة اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي ينصح إن أمكن باستخدام التيار المتناوب عوضا عن التيار المستمر، وبإزلة مغنطة الفولاذ قبل المباشرة

بلحامه، وأخيراً ينصح باستخدام قوس قصير لأن ازدياد طول القوس يزيد من احتمال انحرافه.

٤-٢- نقص التغلغل Lack of Penetration

يقاس مقدر التغلغل (الاختراق) أو عمق الصهر بالمسافة الفاصلة بين سطح المعدن الأساس والنقطة التي يتوقف الانصهار عندها، وتتطلب جودة وصلة اللحام في غالب الأحيان أن يكون تغلغل اللحام عبر كامل سماكة المعدن الأساس، ولذلك ينصح عند لحام الصفائح الثخينة بإعداد حواف الصفائح على شكل مجرى وتنفيذ اللحام بأكثر من مسار (الشكل: ٦-٢٩) . يأخذ العيب المتمثل بنقص التغلغل مظاهر مختلفة، وفقاً لنوع الوصلة، ففي اللحام التناكبي (الشكل: ٦-٣٠) مثلاً تترك أحيانا فتحة جذرية أسفل الأخدود في لحام الطرف الواحد ، أو في مركز الوصلة اللحامية في لحام الطرفين.

٤-٢-١- الأسباب :

يوجد أسباب عديدة لهذا النوع من العيوب، وهي بشكل أساسي التحضير غير الجيد لحواف جزئي الوصلة، ونقص في شدة التيار، وسرعة تقدم اللحام، وإمساك قضيب اللحام بزاوية غير صحيحة، واستخدام قضيب لحام كبير القطر عند لحام شوط الجذر،.

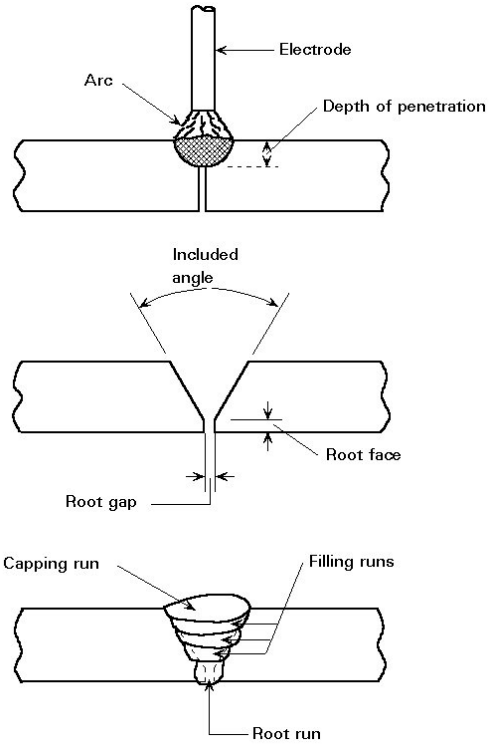
٤-٢-٢- النتائج وأسلوب المعالجة

تكمن خطورة هذا النوع من العيوب في أنه يُنقص مقطع الوصلة المقاوم للحمولات، وبأنه يتوضع عند جذر الوصلة حيث يوجد تركز كبير للاجهادات.

يمكن الاقلال من احتمال ظهور نقص التغلغل من خلال اتباع الاجراءات التالية (الشكل: ٦-٣١) :

- توسيع الشنفرة المستخدمة وزيادة قليلة للفرجة بين حافتي القطع المراد تجميعها.

- استخدام قضيب لحام بقطر أصغر.
- زيادة شدة تيار اللحام.
- الإقلال من سرعة التقدم أثناء تنفيذ الوصلة.
- المحافظة على قضيب اللحام منطبقاً على محور تناظر الوصلة.
- إنقاص طول قوس اللحام.



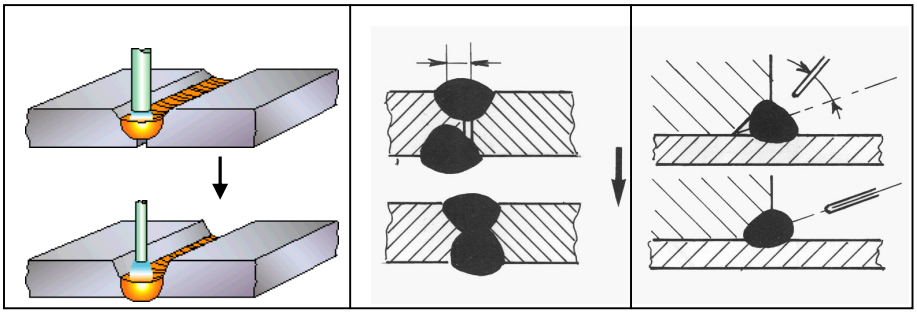
الشكل ٦-٢٩: التغلغل في اللحام القوسي،

أ- تغلل غير كامل ضمن وصلة تناكبية دون تحضير للحواف، ب- تحضير الحواف بشكل حرف V،

ج- تأمين تغلغل على كامل السماكة باستخدام تحضير الحواف واللحام متعدد الطبقات.

أ- لحام من جهة واحدة. ب- لحام من الجهتين.

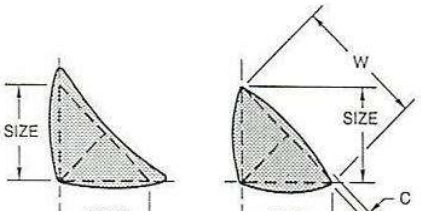
الشكل ٦-٣٠: مظاهر نقص التغلغل في الوصلات التناكبية.



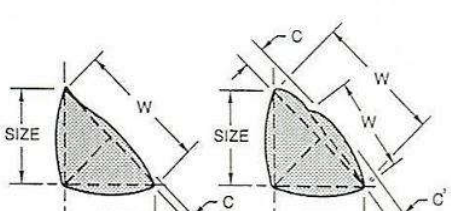
الشكل ٦-٣١: بعض الممارسات الخاطئة وكيفية تصحيحها لتلافي عيب نقص التغلغل.

٥- المجموعة الخامسة : عيوب الشكل الهندسي
Geometric shape imperfections

تضم هذه المجموعة مختلف العيوب التي تمثل انحرافات في شكل وأبعاد الدرزة عن الشكل الاسمي المرغوب (الشكل :٦-٣٢)، ومنها على سبيل المثال الحزوز أو التقعرات الجذرية Root concavity، والتحدب الكبيرة لدرزة اللحام Excess convexity، وتراكب الدرزة Overlap على المعدن الأساس ...إلخ. تولد هذه العيوب العديد من نقاط تركز الإجهاد، مما يزيد من احتمال الانهيار تحت حمولات التعب، خاصة عندما تكون هذه العيوب في مناطق مثل جذر الوصلة حيث المنطقة المتأثرة حراريا ذات بنية قصفة و/أو في حال العمل عند درجات حرارة منخفضة.



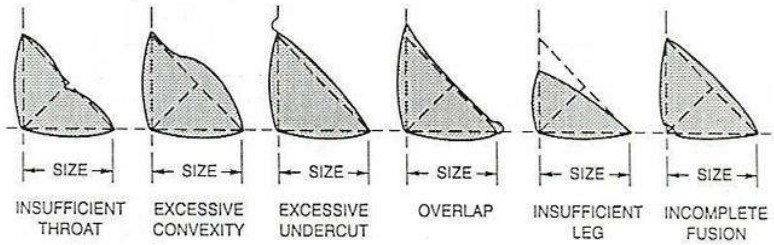
(أ) الأشكال المرغوبة لمقطع درزة لحام زاوية



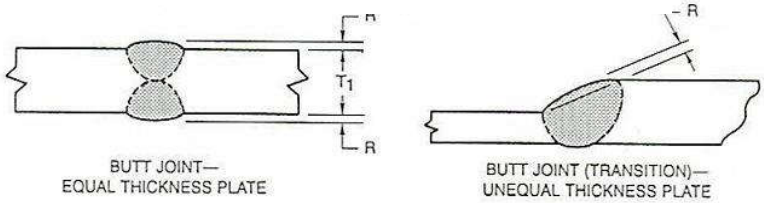
(ب) الأشكال المقبولة لمقطع درزة لحام زاوية

NOTE: CONVEXITY, C, OF A WELD OR INDIVIDUAL SURFACE BEAD WITH DIMENSION W SHALL NOT EXCEED THE VALUE OF THE FOLLOWING TABLE:

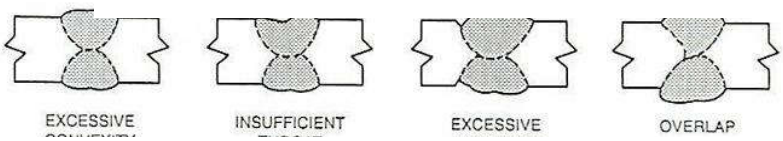
WIDTH OF WELD FACE OR INDIVIDUAL SURFACE BEAD, W	MAX CONVEXITY, C
W ≤ 5/16 in. (8 mm)	1/16 in. (1.6 mm)
W > 5/16 in. TO W < 1 in. (25 mm)	1/8 in. (3 mm)
W ≥ 1 in.	3/16 in. (5 mm)



(ج) الأشكال غير المقبولة لمقطع درزة لحام زاوية



(د) الأشكال غير المقبولة لمقطع درزة اللحام في وصلة تناكبية مع تحضير للحواف

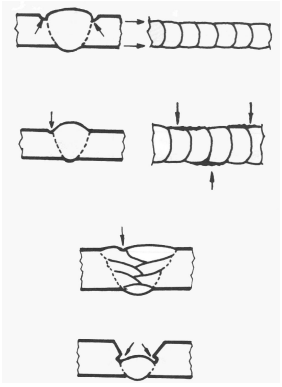


(هـ) الأشكال غير المقبولة لمقطع درزة اللحام في وصلة تناكبية مع تحضير للحواف

الشكل ٦-٣٢: الأشكال المقبولة والمرفوضة لمقطع درزة اللحام في الوصلات التناكبية والزاوية.

٥-١- التثلم Undercut

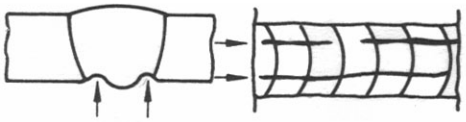
قد يصهر عامل اللحام، أثناء قيامه بلحام الشوط النهائي أو شوط التغطية، جزءا من المعدن الأساس ويزيله دون أن يتم تعويضه من معدن الملء، فينتج عن ذلك أخدود متقطع أو مستمر بأكثر من حافة حادة على طول اللحام الداعم بالقرب من الدرزة اللحامية، وهذا العيب يمكن أن يرى بالفحص البصري بسهولة (الشكل : ٦-٣٣). وفي اللحام متعدد المسارات، قد يحدث العيب بعد ترسيب كل طبقة لحام في مناطق التلاقي مع حواف المعدن الأساس. إن الأسباب الأساسية لهذا العيب هي ضعف مهارة عامل اللحام واستخدامه قضيب اللحام بزاوية غير صحيحة أثناء تنفيذ الوصلة، والاختيار غير الصحيح لبرامترات اللحام كحالة جهد قوس مرتفع مع تغذية غير كافية بمعدن الملء (شدة تيار منخفضة أو سرعة تقدم اللحام مرتفعة)، أو حالة شدة تيار مرتفعة مترافقة بسرعة تقدم كبيرة. تساهم الحزوز في الاقلال من مقطع الصفائح الملحومة وقد تكون سببا في انهيار الوصلة الملحومة، ولاستبعاد هذا العيب ينصح بإنقاص شدة التيار و/أو سرعة التقدم، وتعديل زاوية قضيب اللحام، والمحافظة على طول مناسب لقوس الاشتعال، والتحقق من تأهيل عامل اللحام.



الشكل ٦-٣٣: عيوب التثلم في الوصلات الملحومة الوحيدة والمتعددة المسارات
أ- أخدود مستمر، ب- أخدود متقطع، ج- ثلم بين الطبقات ناجم عن الطبقة الأخيرة،
د- ثلم في حواف الوصلة بعد طبقة اللحام الأولى.

٥-٢- حزوز أو تقعرات جذرية Root concavity

يظهر هذا العيب في الوصلات التناكبية على شكل حزوز أو أخاديد قليلة العمق على جانبي الجذر (الشكل: ٦-٣٤)، وتنجم هذه الأخاديد عن انكماش معدن اللحام عبر اتجاه ثخانة الوصلة، ويمكن أن تنتج عندما يتسبب مسار اللحام الثاني في صهر معدن اللحام الناجم عن مسار الجذر. إن السبب المحتمل لهذا العيب هو اتساع الفجوة بين طرفي الوصلة، خاصة إذا ترافق ذلك مع سرعة عالية لتقدم اللحام، ولتجنبه يُنصح بتحديد مقدار التباعد بين حواف الوصلة، وبضرورة تأهيل عمال اللحام.

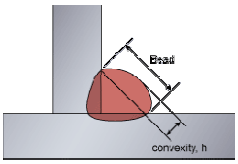


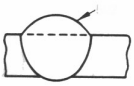
الشكل ٦-٣٤ : حزوز أو تقعرات جذرية.

٥-٣- تحدب كبيرة لدرزة اللحام Excess convexity

يتكون العيب من معدن اللحام المتوضع خارج المستوي المار من حواف الدرزة (نقاط تلاقيها مع المعدن الأساس) (الشكل: ٦-٣٥)، ويُطلق عليه في المراجع الأمريكية تسمية التقوية Reinforcement، ولكن المراجع الأوربية تتجنب هذه التسمية لأنه قد يفهم منها خطأً بأن هذا العيب يمنح الوصلة متانة اضافية وذلك ليس صحيحا إلا في بعض الحالات النادرة. تؤدي المبالغة في تحدب درزة اللحام إلى هدر كبير في المعدن المضاف وإلى ظهور تركيز في الاجهاد يمكن أن يكون سببا في انهيار الوصلة.

والأسباب المحتملة لهذا العيب هي اختيار الكترود بقطر أكبر من اللازم، وبطء التقدم أثناء اللحام. وفي حالة اللحام اليدوي تعتبر مهارة عامل اللحام ضرورية لتجنب هذا العيب، بينما ينصح في حالة اللحام المؤتمت بزيادة سرعة تقدم اللحام.

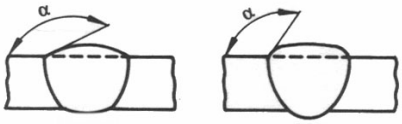




الشكل ٦-٣٥: المبالغة في تحدب الدرزة.

٥-٤- زاوية تحدب الدرزة غير صحيحة

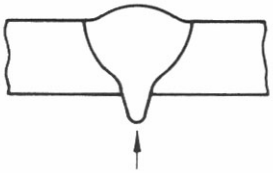
قد يكون أحياناً ارتفاع التقوية صحيحاً، ولكن زاوية التلاقي بين سطح الدرزة وسطح المعدن الأساس غير صحيحة (الشكل: ٦-٣٦)، فيتولد تركز اجهاد بسبب الانتقال غير التدريجي بينهما. الأسباب المحتملة لهذا العيب هي زيادة قطر قضيب اللحام وبطء تقدم اللحام.



الشكل ٦-٣٦: خطأ في زاوية تحدب الدرزة.

٥-٥- بروز كبير عند الجذر

يدعى هذا العيب أيضا التغلغل الزائد Excessive penetration ، ويظهر على هيئة بروز مستمر عند الجذر لدى تنفيذ لحام الوصلات التناكبية من جهة واحدة (الشكل: ٦-٣٧)، كما يظهر عند لحام الأنانيب ويتمثل ضرره في هذه الحالة بالتأثير على جريان السائل ضمنها وبالتالي تأثيره على ظواهر التآكل والحت فيها. والأسباب المحتملة لهذا العيب هي اتساع الفجوة بين طرفي الوصلة، وزيادة شدة التيار، وبطء تقدم اللحام. ولتجنبه، يتوجب إذاً التقيد بالأبعاد التصميمية للفجوة بين القطع الملحومة، وإذا كانت مهارة عامل اللحام غير كافية يتوجب إعادة تدريبه.



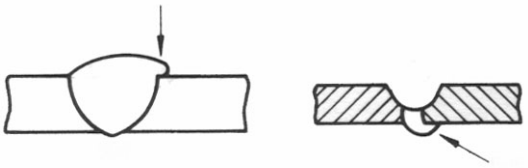
الشكل ٦-٣٧: بروز الجذر بشكل كبير.

٥-٦- تراكب الدرزة Overlap

يحدث هذا العيب في الوصلات التناكبية والزاوية، ويتمثل بوجود فائض من معدن اللحام متراكب على المعدن الأساس دون التحام معه، ويظهر ذلك عند جذر الدرزة أو عند أطرافها العلوية (الشكل: ٦-٣٨). ويمكن إيجاز الأسباب المحتملة لهذا العيب بما يلي :

- ضعف مهارة عامل اللحام وسوء تعامله مع قضيب اللحام،
- وجود أكاسيد أو شوائب على سطح المعدن الأساس، فهي تمثل عائقاً للبلل وللإنتقال الحراري بين القطرة المنصهرة وسطح المعدن الأساس،

ولتجنب هذا العيب ينصح بتدريب عمال اللحام وزيادة مهارتهم، والاعتناء بنظافة سطوح المعدن الأساس، وإقلال كمية معدن الملء في حوض اللحام (من خلال إنقاص شدة تيار اللحام أو زيادة سرعة تقدم اللحام).



الشكل ٦-٣٨: تراكب الدرزة.

٥-٧- أبعاد الدرزة Weld Size

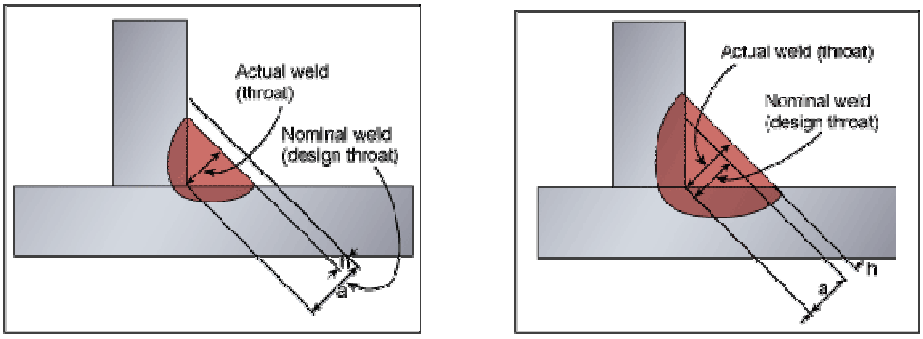
يعتبر انحراف أبعاد الدرزة عن قيمها التصميمية أمرا غير مستحب سواء أكان ذلك زيادةً أو نقصاناً (الشكل: ٦-٣٩). فالمبالغة في الأبعاد تضعف الانتاجية وتتسبب في هدر معدن اللحام وزيادة التكلفة، وهي تنجم عن شدة تيار مرتفعة مع سرعة تقدم لحام بطيئة. أما

النقص في الأبعاد فيزيد من احتمال انهيار الوصلة تحت تأثير الحمولات المطبقة، وينجم عن شدة تيار منخفضة مع سرعة تقدم لحام عالية.

٥-٨- عيوب التوضع Poor fit-up

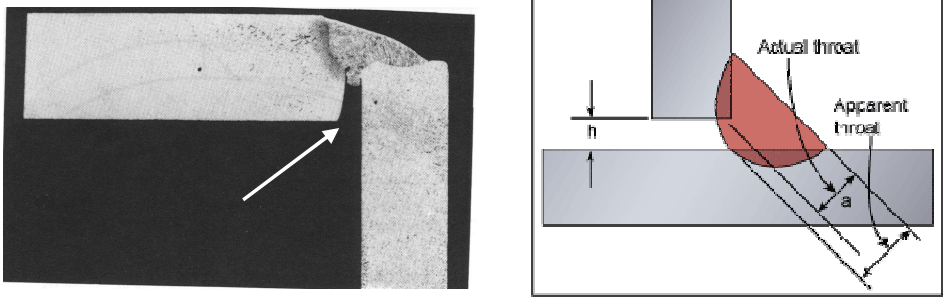
تشتمل عيوب التوضع حالات عديدة من أهمها :

أ- زيادة التباعد بين حواف القطع المراد لحامها (الشكل: ٦-٤٠)، الأمر الذي يمكن أن يولد مشاكل تنفيذ كما يمكن أن يقلل السطح المقاوم للحمولات المطبقة على الوصلة. ينجم هذا العيب بسبب الممارسات الخاطئة في الورشة، أو بسبب أخطاء في أبعاد القطع وتسامحاتها على المخططات التصميمية.



(ب) (أ)

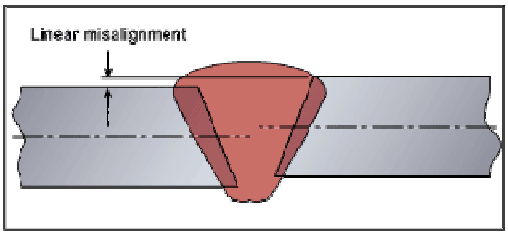
الشكل ٦-٣٩: انحراف أبعاد الدرزة في الوصلات الزاوية والتناكبية عن الأبعاد التصميمية (أ- زيادة الأبعاد، ب- نقص الأبعاد).



الشكل ٦-٤٠: زيادة التباعد بين حواف القطع المراد لحامها.

ب- عدم التراصف الخطي Linear misalignment

عدم التراصف الخطي، ويعرف أيضا في بعض المراجع بتسمية فوق-تحت high-low، وهو عبارة عن انحراف عن الوضع/التراصف الصحيح للوصلة (الشكل: ٦-٤١).



الشكل ٦-٤١: عدم التراصف الخطي في وصلة تناكبية.

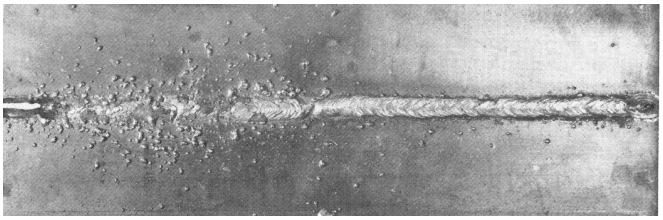
هذا العيب نيجة مباشرة لخطأ في توضيع المكونات قبل اللحام، ويمكن أن يتضافر ذلك مع تغيرات في شكل وأبعاد المكونات. وقد يحدث هذا الخطاء أثناء اللحام بسبب كسر في الدرزات النقطية الأولية (التلقيط)، أو بسبب خلل في المثبتات المستخدمة.

٦- المجموعة السادسة : عيوب متنوعة Miscellaneous defcts

تشتمل هذه المجموعة على جميع العيوب التي لم ترد ضمن المجموعات السابقة ومنها، على سبيل المثال، الترشش، ومواقع احتراق، والمظهر السيء ...إلخ، ومعظم هذه العيوب مرتبط بضعف في مهارة عامل اللحام.

٦-١- الترشش الزائد Excessive weld spatter

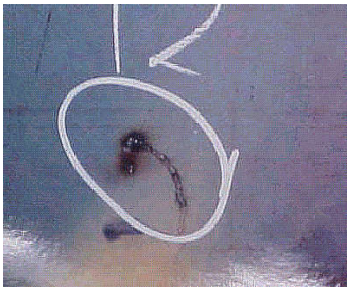
لا يؤثر الترشش على متانة وصلة اللحام ولكنه يعطي مظهراً سيئاً ويزيد من كلفة التنظيف (الشكل: ٦-٤٢). والأسباب المحتملة لهذا العيب هي ظاهرة النفخ المغناطسي واستخدام قضيب لحام غير مناسب أو شدة تيار غير مناسبة أو لحام غير فني ناجم عن ضعف مهارة العامل. ولتجنب الترشش الزائد، يجب محاولة الإقلال من طول القوس، والتأكد من قطبية قضيب اللحام المستخدم، ومن تجفيفه، وصحة اختيار شدة التيار.



الشكل ٦-٤٢: ترشش زائد.

٦-٢- مواقع احتراق Arc strikes:

وهي عبارة عن انصهار موضعي على سطح المعدن (الشكل: ٦-٤٣)، تنشأ هذه المواقع من وميض إشعال القوس نتيجة التلامس بين قضيب اللحام وسطح المعدن الأساس في الأماكن غير المرغوبة، وقد يطرح هذا العيب مشكلة خاصة عند لحام أنواع الفولاذ القابلة للتصلد.



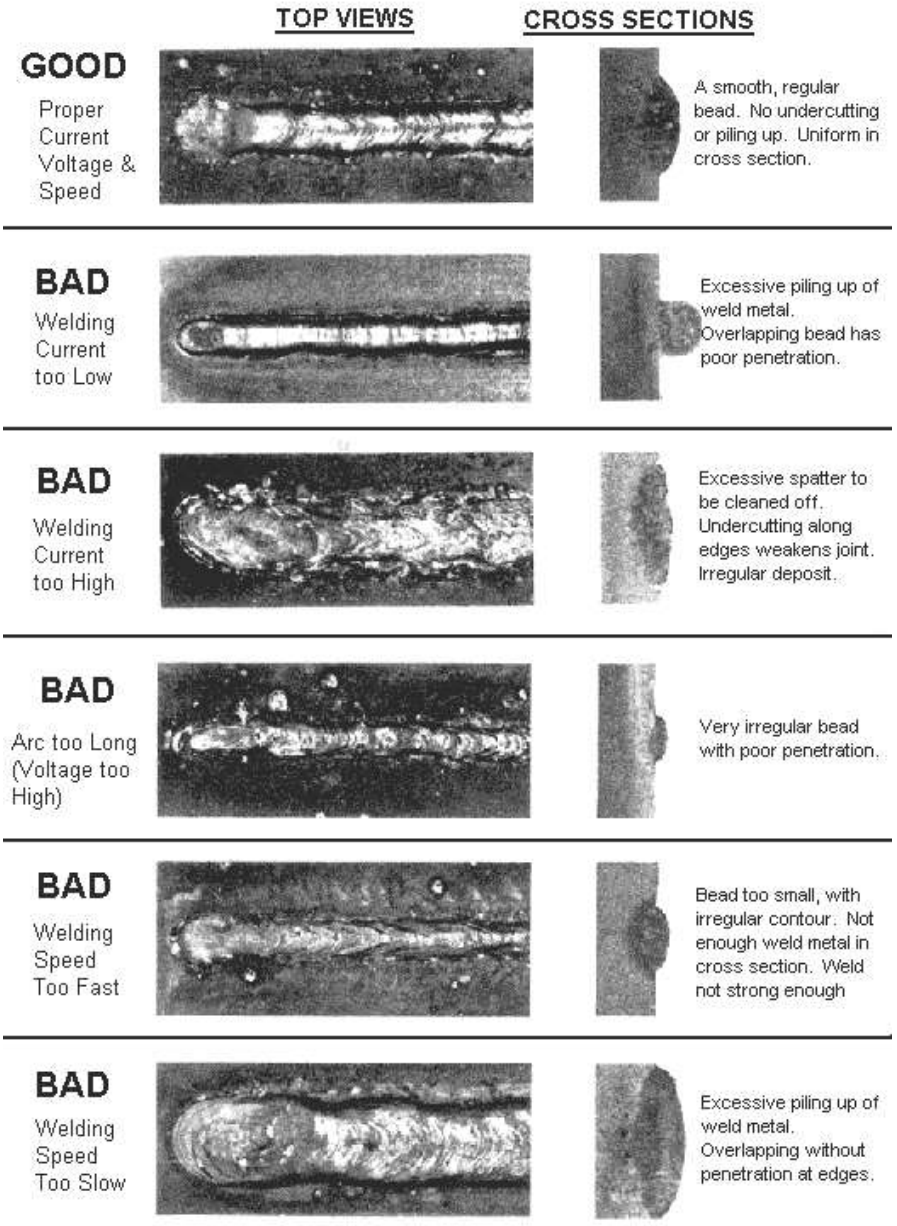
الشكل ٦-٤٣: موقع احتراق على سطح المعدن الأساس.

٦-٣- المظهر السيىء Poor appearace:

تأخذ أحيانا درزة اللحام مظاهر غير صحيحة (الشكل: ٦-٤٤) والأسباب المحتملة لذلك هي شدة تيار مرتفعة جدا أو منخفضة جدا، وأسلوب لحام غير فني، واستخدام قضيب لحام غير مناسب، وسرعة تقدم غير منتظمة. وتعتمد المعالجة بشكل أساسي على تدريب العمال واستخدام قضيب لحام مناسب.

ومن العيوب المتنوعة الأخرى، مثلاً، تلك المتعلقة بالتشوهات الموضعية لسطح الوصلة ومنها:

- سطح ممزق : عبارة عن تشويه موضعي السطح بسبب قيام غير المختص بنزع درزات اللحام.
- حزوز تجليخ : عبارة عن تشويه موضعي السطح بسبب قيام غير المختص بعملية التجليخ.
- أغوار تجليخ : تجليخ زائد يُسبب نقص مقطع المعدن الأصلي أو درزة اللحام.



الشكل ٦-٤٤: بعض الأشكال السيئة لدرزة اللحام.