وزارة التعليم

رؤية عُمان 2040 OmanVision

اللحام وتشكيل المعادن

Welding and Fabrication

الصف الثاني عشر · كتاب الطالب · الفصل الدراسي الثاني

الجمعية العمانية للطاقة
Oman Energy Association

الطبعة التجريبية
١٤٤٧ هـ – ٢٠٢٥ م

وزارة التعليم

اللحام وتشكيل المعادن

Welding and Fabrication

الصف الثاني عشر · كتاب الطالب · الفصل الدراسي الثاني

الجمعية العمانية للطاقة
Oman Energy Association

الطبعة التجريبية
١٤٤٧ هـ – ٢٠٢٥ م

المغفور لـه
السلطان قابوس بن سعيد
–طيّب اللّه ثراه–

حضرة صاحب الجلالـة
السلطان هيثم بن طارق المعظم
–حفظه اللّه ورعاه–

سلطنة عُمان

(المحافظات والولايات)

النَّشيدُ الْوَطَنِيُّ

يا رَبَّنا احْفَظْ لنا جَلالَةَ السُّلْطان
وَالشَّعْبَ في الأَوْطان بِالْعِزِّ والأَمان
وَلْيَدُمْ مُؤَيَّدًا عاهِلاً مُمَجَّدًا
بِالنُّفوسِ يُفْتَدى

يا عُمانُ نَحْنُ مِنْ عَهْدِ النَّبي أَوْفِياءُ مِنْ كِرامِ الْعَرَبِ
فارْتَقي هامَ السَّماء وَامْلَئي الْكَوْنَ الضِّياء
وَاسْعَدي وَانْعَمي بِالرَّخاء

ترتكز مناهج التخصصات الهندسية والصناعية في التعليم المهني والتقني على التطبيق العملي في ورش التدريب المجهزة باشتراطات الأمن والسلامة؛ وذلك وفق إرشادات وخطوات وأسس تقويم مضمنة في الإطار العام للمناهج، والأنشطة العملية، والخطط التدريسية للوحدات الدراسية، ووثيقة تقويم تعلم الطلبة. وتحوي الوحدات المضمنة في هذا الكتاب على المحتوى المعرفي النظري فقط من المنهج.

ألف هذا الكتاب فريق من المتخصصين تحت إشراف الجمعية العمانية للطاقة (أوبال) الشريك الاستراتيجي في تطبيق التخصصات الهندسية والصناعية، وروجع من عدد من المختصين التربويين من وزارة التعليم، والمديرية العامة للكليات المهنية والكلية المهنية بالسيب (وزارة العمل).

جميع حقوق محفوظة

جميع حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم، ولا يجوز الطبع أو التصوير أو إعادة نسخ الكتاب كاملاً أو مجزأً أو ترجمته أو تخزينه في نطاق استعادة المعلومات بهدف تجاري بأي شكل من الأشكال إلا بإذن كتابي مسبق من الوزارة، وفي حالة الاقتباس القصير يجب ذكر المصدر.

الجمعية العمانية للطاقة
Oman Energy Association

جمعية مهنية مرخصة من وزارة التنمية الاجتماعية منذ عام ٢٠٠١م، تضم في عضويتها أكثر من 500 مؤسسة تعمل في قطاع الطاقة – والذي يعد أهم قطاع اقتصادي في سلطنة عمان – وتشمل هذه المؤسسات المنتجين والمشغلين والمقاولين والموردين. وتقوم الجمعية بالشراكة مع وزارة العمل ووزارة الطاقة والمعادن وبالتعاون مع المؤسسات والشركات العاملة بالقطاع برصد هيكلة سوق العمل، وتحليل احتياجاته من الكوادر، وبناء القدرات، وتطوير كفاءة الموارد البشرية، وتعزيز الجودة، وبناء المعايير المهنية، وتطوير البرامج التدريبية والتعليمية واعتمادها من وزارة التعليم.

تقديم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على خير المرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

يأتي تطبيق التعليم المهني والتقني في مرحلة التعليم ما بعد الأساسي (١١-١٢) استجابة للتوجيهات السامية لحضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظم -حفظه الله ورعاه- الداعية إلى تطوير التعليم بمستوياته وأنواعه المختلفة، والاهتمام بالمخرجات التعليمية للالتحاق بسوق العمل ومؤسسات التعليم العالي، وتطبيقا لرؤية عُمان ٢٠٤٠ التي أكدت على أهمية إيجاد مناهج تعليمية مواكبة لمتطلبات التنمية المستدامة ومهارات المستقبل، ومعززة للقيم، ومراعية لمبادئ الدين الإسلامي، والهوية العمانية، ومستلهمة من تاريخ عمان وتراثها الثري.

ويهدف التعليم المهني والتقني إلى دعم التنوع في المسارات التعليمية، وإكساب الطلبة المعارف والمهارات المهنية التي تهيؤهم لسوق العمل وتؤهلهم للالتحاق بمؤسسات التعليم العالي، وتنمية اتجاهاتهم وقيمهم المهنية الإيجابية، وتحفيزهم للالتحاق بالمهن المختلفة، وتوفير بيئة جاذبة للتعلم تساعد الطلبة على اكتساب المعارف وتنمية مهاراتهم المختلفة.

وتحرص وزارة التعليم على تطبيق التعليم المهني والتقني من خلال تحقيق الشراكات مع القطاعات الاقتصادية في كافة مراحل التخطيط والتنفيذ، ويشمل ذلك تحديد التوجهات والمجالات والتخصصات وتحليل الاحتياجات. ويأتي تدريس التخصصات الهندسية والصناعية لطلبة الصفين الحادي عشر والثاني عشر بالتعاون مع قطاع الطاقة ممثلا بالجمعية العمانية للطاقة (أوبال) بصفتها شريكا استراتيجيا في تدريس المواد التخصصية، من خلال عدد من المؤسسات التدريبية الخاصة المعتمدة من وزارة العمل.

وقد بُنيت المناهج الدراسية للتعليم المهني والتقني (التخصصات الهندسية والصناعية) استنادا إلى المعايير المهنية الوطنية التي تم تطويرها في ضوء الإطار الوطني للمؤهلات، وإلى قانون التعليم المدرسي في تنظيم مجالات العمل التربوي، ومبادئ فلسفة التعليم المؤكدة على تهيئة الفرص المناسبة لبناء الشخصية المتكاملة للمتعلمين، وتعزيز قيم العمل والإنتاج لدى الطلبة، وصقل مهاراتهم، وتعزيز قدراتهم وميولهم المهنية، وتمكينهم من مهارات ريادة الأعمال والابتكار.

إن هذا الكتاب بما يحويه من معارف ومهارات وقيم واتجاهات يأتي متوافقا مع خصوصية البيئة العمانية والهوية الثقافية للمجتمع العماني، إذ يعدّ مصدرا معرفيا ومهاريا خصبا متضمنا تطبيقات مهنية داعمة لتعلم الطلبة.

سائلة اللّٰه العلي القدير لأبنائنا الطلبة التوفيق والنجاح، وتحقيق ما يصبون إليه من تطلعات وآمال؛ لخدمة هذا الوطن العزيز تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان هيثم بن طارق المعظم حفظه اللّٰه ورعاه.

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية
وزيرة التعليم

المحتويات

تقديم 1

الوحدة الأولى

معايير اللحام والتوثيق الفني

(Welding Standards and Technical Documentation) 5

الوحدة الثانية

ممارسات تصنيع اللِحام

(Welding Fabrication Practices) 33

الوحدة الثالثة

عيوب اللِحام وفحص المكونات الملحومة

(Weld Defects and Inspection of Welded Components) 71

الوحدة الرابعة

تطبيق عملي في اللّحام

(Practical Application in Weldin) 111

الوحدة الأولى

معايير اللحام والتوثيق الفني

Welding Standards and Technical Documentation

محتويات الوحدة الأولى

الدرس الأول

مقدمة في معايير اللّحام (Introduction to Welding Standards) 9

الدرس الثاني

منظمات ومعايير اللّحام الدولية وتطبيقاتها في الصناعة
(International Welding Organizations and Standards and Their Applications in Industry)
..... 14

الدرس الثالث

توثيق أعمال اللحام
(Welding Documentation) 21

الدرس الرابع

الوثائق الأساسية في أعمال اللحام وفق المعايير المعتمدة
(Basic Welding Documents According to Approved Standards) 24

أسئلة الوحدة 30

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتَّبع قواعد الصحة والسلامة المهنية في الورش التدريبية.
- يعرّف مفهوم معايير اللِّحام ودورها في تنظيم عمليات اللِّحام في القطاعات الصناعية المختلفة.
- يحدد أهمية الالتزام بالمعايير في تحقيق السلامة المهنية وجودة الإنتاج.
- يُميِّز بين المنظمات الدولية المسؤولة عن إعداد معايير اللِّحام.
- يُحدد دور المنظمات الدولية في توحيد إجراءات العمل الفني.
- يُفسِّر العلاقة بين المعايير المحلية والدولية.
- يُحدد دور المعايير المحلية والدولية في توحيد جودة المنتجات والمواصفات الهندسية.
- يصِف العلاقة بين معايير اللِّحام وجودة المنتج في بيئات التشغيل المختلفة.
- يعرّف مفهوم التوثيق في أعمال اللحام تعريفًا فنيًا صحيحًا.
- يوضح أهمية التوثيق في ضمان جودة أعمال اللحام.
- يذكر مكوّنات التوثيق الأساسية في أعمال اللحام.
- يوضح أهمية WPS في توحيد أسلوب العمل وتقليل العيوب.
- يبيّن دور الوثائق في تنظيم وتنفيذ أعمال اللحام.
- يوضح أهمية تأهيل اللحّامين وفق المعايير المعتمدة.

ملخص الوحدة

تُعَدّ هذه الوحدة مدخلاً أساسيًا لفهم المعايير الفنية الدولية التي تنظّم أعمال اللِّحام في الورش والمشاريع الصناعية، وتهدف إلى تزويد الطلبة بالمعارف والمهارات اللازمة لفهم أهمية هذه المعايير ودورها في توحيد إجراءات العمل وضمان جودة الإنتاج، وتُركّز الوحدة على بناء وعي الطلبة بكيفية ارتباط المعايير الفنية بعناصر السلامة المهنية والجودة والإنتاجية، باعتبارها الأساس الذي تُبنى عليه الوحدات العملية التالية، مثل: إعداد الوصلات، وأوضاع اللِّحام، وتطبيقات اللِّحام المتقدمة، وتتناول الوحدة كذلك توثيق أعمال اللحام والوثائق الأساسية الخاصة بها وفق المعايير المعتمدة، مثل WPS وPQR وسجلات تأهيل اللحّامين، والتي توفر دليلاً لتنفيذ اللحام بطريقة موحدة وآمنة، وتدعم المتابعة الفنية وضبط الجودة خلال عمليات التصنيع.

كما تُمهّد الوحدة لفهم العلاقة التكاملية بين إجراءات السلامة ومتطلبات الجودة في بيئة اللِّحام والتشكيل المعدني، بما يُمكّن الطلبة من تطبيق ممارسات لِحام صحيحة ومتوافقة مع متطلبات الصناعة الحديثة، ويُعزّز قدرتهم على الالتزام بالمعايير الدولية في أعماله المستقبلية ضمن قطاع التصنيع والإنشاءات.

مقدمة في معايير اللِّحام

(Introduction to Welding Standards)

تُعَدُّ عمليات اللِّحام أحد الأعمدة الأساسية في مجال التشكيل المعدني والتصنيع الحديث، لما لها من دورٍ محوري في ربط المعادن بصورةٍ دائمة تُلائم مختلف الصناعات، كصناعة السفن، والجسور، وخطوط الأنابيب، ومعدات الطاقة، ولا يعتمد نجاح عملية اللِّحام على مهارة الفني فقط، بل يرتكز بدرجة كبيرة على الالتزام الدقيق بالمعايير الفنية التي تضمن جودة الوصلة ومتانتها.

وتُعَدُّ معاييرُ اللِّحام لغة موحدة لجميع المهندسين والفنيين فهي تنظّم إجراءات العمل، وتُحدّد خصائص المواد، وتضبط أساليب الفحص والاختبار بما يضمن تنفيذ العمليات وفق أعلى مستويات الجودة والسلامة، ومن هذا المنطلق، فإن الالتزام بهذه المعايير ليس مجرد اتِّباع تعليمات فنية، بل هو منظومة متكاملة تُسهم في بناء صناعة آمنة واحترافية، وقادرة على المنافسة في الأسواق العالمية.

معايير اللّحام (Welding Standards)

تُعَدّ معايير اللِّحام من القواعد والإرشادات الفنية المهمة التي تُنظِّم عمليات اللِّحام وتضمن تنفيذها بسلامة وجودة عالية، وتهدف هذه المعايير إلى توحيد طرق العمل بين المهندسين والفنيين في مختلف الصناعات، من خلال تحديد نوع المواد المناسبة، وطُرق اللِّحام الملائمة، ومتطلبات الفحص والاختبار، وآليات تأهيل اللَّحّامين، ويسهم الالتزام بهذه المعايير في إنتاج وصلات ملحومة آمنة، ومتينة، وذات كفاءة تلبي احتياجات الصناعات الحديثة، مثل: الإنشاءات، والطاقة، وصناعة المركبات.

معايير اللِّحام (Welding Standards):
مجموعة من القواعد والإرشادات الفنية التي تُحدِّد المواصفات المطلوبة لتنفيذ عمليات اللِّحام من حيث التصميم، والإعداد، والتنفيذ، والفحص، والسلامة، وتُعد مرجعًا هندسيًا يُعتمد عليه في المصانع والورش لضمان تنفيذ عمليات اللِّحام بطريقة صحيحة وموثوقة.

وتشمل هذه المعايير جوانب متعددة أهمها ما يأتي:

- **نوع المادة المعدنية المستخدمة، مثل:**
  - الفولاذ منخفض الكربون المستخدم في هياكل المباني.
  - الألومنيوم المستخدم في هياكل الطائرات وخزانات الوقود.
  - المعادن عالية السبائك المستخدمة في محطات الطاقة والضغوط العالية.
- **طريقة اللِّحام المناسبة لكل تطبيق، مثل:**
  - استخدام لحام القوس المعدني (SMAW) في الأعمال الميدانية والإنشاءات.
  - استخدام لحام الغاز الخامل (GTAW/TIG) للحامات عالية الجودة في الأنابيب الرقيقة، والفولاذ المقاوم للصدأ.
  - استخدام لحام القوس المغمور (SAW) في لحامات الأنابيب الكبيرة وخزانات الضغط.
- **إجراءات الفحص أو الاختبار المطلوب بعد التنفيذ، مثل:**
  - الفحص البصري (VT) للتأكد من خُلو الوصلة من العيوب السطحية.
  - التصوير الإشعاعي (RT) للكشف عن الفراغات والشروخ الداخلية.
  - الاختبار بالموجات فوق الصوتية (UT) لتقييم جودة اللحام في المواد السميكة.
- **متطلبات تأهيل اللَّحّامين، وإجراءات اعتمادهم:**
  - إثبات القدرة على تنفيذ لحِامات في أوضاع مختلفة.
  - الاعتماد على نوع المادة وسُمكها، مثل: لحام الفولاذ الكربوني بسمك 10 mm.
  - تسجيل نتائج الاختبار في شهادة اعتماد (Welder Qualification Test Record (WQTR)).

أهمية المعايير في تطوير الصناعة الوطنية
(Importance of Standards in Developing the National Industry)

تُسهم معايير اللِّحام في رفع جودة الإنتاج الوطني، وتساعد على الآتي:

- تطوير كفاءات وطنية مُعتمَدة دوليًّا.
- تحسين سُمعة المنتجات العُمانية في الأسواق الخارجية.
- تشجيع الاستثمار الصناعي من خلال تطبيق الجودة الموحدة.
- تحقيق أهداف "رؤية عمان 2040" في التصنيع المستدام والمبني على الابتكار والمعايير العالمية.

أهداف معايير اللّحام في الصناعة
(Objectives of Welding Standards in Industry)

تهدف معايير اللِّحام عُمومًا إلى تنظيم وتنفيذ العمليات الصناعية بطريقة تحقق أعلى مستويات الكفاءة والسلامة والجودة، التي تشمل الآتي:

- **توحيد الإجراءات والمواصفات:**

  لضمان اتِّباع جميع الفنيين والمهندسين نفس القواعد أثناء العمل.

- **تحقيق الجودة المستدامة:**

  من خلال تحديد متطلبات التصميم والفحص والمراقبة المستمرة.

- **رفع مستوى الأمان الصناعي:**

  عبر تطبيق ضوابط السلامة في بيئة العمل واستخدام المعدَّات المعتمدة.

- **تحسين كفاءة الموارد:**

  إذ تساعد المعايير على تقليل الهدر في المواد والطاقة والوقت.

- **دعم التنافس الدولي:**

  لأن المنتجات المطابقة للمعايير أكثر قبولاً في الأسواق العالمية.

تصنيف معايير اللّحام (Classification of Welding Standards)

تُصنَّف معايير اللِّحام إلى أنواعٍ مختلفة وفقًا لمجال استخدامها، وتشمل مراحل التصميم، والتنفيذ، والفحص، والسلامة، ويهدف هذا التصنيف إلى تنظيم عملية اللِّحام بالكامل؛ لضمان الجودة والدقة في جميع مراحلها، كما يتضح في الجدول الآتي:

نوع المعيار	الهدف منه	أمثلة على المعايير
معايير التصميم (Design Standards)	تحديد أبعاد الوصلات، ونوع اللِّحام، والمواد المسموح بها في التصميم الهندسي.	■ ASME Section VIII ■ AWS D1.1
معايير التنفيذ (Fabrication Standards)	تنظيم خطوات التحضير والتنفيذ واختيار طُرق اللِّحام المسموح بها.	■ AWS A5 ■ ISO 15614
معايير الفحص والاختبار (Inspection & Testing Standards)	تحديد أساليب الكشف عن العيوب الظاهرة والباطنة.	■ ASNT SNT-TC-1A ■ ISO 9712
معايير السلامة المهنية (Safety Standards)	وضع متطلبات الوقاية الشخصية وبيئة العمل الآمنة أثناء اللِّحام.	■ ISO 45001 ■ OSHA 1910

دور معايير اللّحام في السلامة والجودة
(Role of Welding Standards in Safety and Production)

تُعد المعايير الفنية في اللِّحام عنصرًا أساسيًّا لتحقيق كل من السلامة والجودة في الإنتاج، إذ تضمن تنفيذ العمليات بطريقة آمنة ومنظمة وفق أسس علمية معتمدة، ويتضح دورها من حيث السلامة والإنتاج، وجانب الجودة والتطوير المهني في الآتي:

1 السلامة والإنتاج:

- **ضمان سلامة العاملين:**

تحدد المعايير إجراءات السلامة الشخصية ومواصفات بيئة العمل؛ لتقليل مخاطر الحريق، والانفجار، والصدمات الكهربائية.

- **التحكم في المخاطر الصناعية:**

تُسهم في الحد من العيوب التي قد تسبب فشل الوصلات، أو انهيار الهياكل.

- **رفع كفاءة عمليات الإنتاج:**

تنظم خطوات العمل، وتحدد متطلبات المعدَّات والإجراءات المُثلى لعمليات اللِّحام من حيث الإعداد، والتنفيذ، والفحص.

- **تقليل الهدر والأعطال:**

تقلل الأخطاء وإعادة العمل؛ مما يحسِّن استغلال الوقت والموارد.

2 الجودة والتطوير المهني:

- **تحقيق الجودة المتكررة:**

تضمن المعايير تطابق جميع الوصلات الملحومة في مستوى الجودة.

- **تقليل الأخطاء والعيوب:**

تُحدِّد خطوات العمل بدقة؛ مما يقلل من احتمالية ظهور الشقوق والمسامية وضعف الاختراق.

- **تسهيل التعاون الصناعي:**

عندما تعتمد الشركات نفس المعايير، مثل: (AWS)، أو (ISO)، يسهل تبادل المنتجات والمكونات.

- **تحسين كفاءة العاملين:**

الالتزام بالمعايير يرفع من أداء الفنيين، ويُكسبهم مهارات احترافية متقدمة ومتسقة مع الممارسات العالمية.

الدرس الثاني

منظمات ومعايير اللّحام الدولية وتطبيقاتها في الصناعة

(International Welding Organizations and Standards and Their Applications in Industry)

مع التوسّع الكبير في الصناعات الحديثة، وتنوّع المواد والطرق المستخدمة في اللِّحام، أصبح من الضرورة وجود نُظُم ومعايير دولية موحَّدة تضمن تنفيذ عمليات اللِّحام وفق أسس فنية دقيقة ومعترف بها عالميًا، ومن هنا جاءت أهمية المنظمات الدولية المتخصصة في اللِّحام، إذ تُعَدّ المرجع الأساسي في إعداد وتطوير هذه المعايير التي تُنظِّم عمليات اللِّحام في مختلف القطاعات الصناعية حول العالم، وتعمل هذه المنظمات على وضع مواصفات وإجراءات قياسية تُغطي مراحل عملية اللِّحام كاملة.

ويُعد فهم طبيعة هذه المنظمات ومعاييرها خطوة أساسية لكل فني، أو مهندس يعمل في مجال اللِّحام والتشكيل المعدني، إذ تمثل هذه المعايير القاعدة التي تُبنى عليها الجودة، وتعتمد عليها الشركات في تحقيق الثقة والمطابقة في الأسواق المحلية والعالمية.

أهمية المعايير للمتدربين والفنيين
(Importance of Standards for Trainees and Technicians)

تُعد معرفة المعايير أمرًا بالغ الأهمية للمتدربين والفنيين العاملين في مجال اللِّحام والتصنيع المعدني، لما لها من أثر مباشر في جودة العمل وسلامة المنشآت، ويمكن توضيح أهميتها في النقاط الآتية:

- تنفيذ عمليات اللِّحام وفق مواصفات دقيقة ومعتمدة.
- الالتزام بإجراءات السلامة في البيئة الصناعية.
- فهم رموز اللِّحام والمواصفات في المخططات الهندسية.
- التعامل مع عمليات الفحص والاعتماد بثقة واحترافية.
- الانخراط في المشاريع المحلية والعالمية بكفاءة عالية.

العلاقة بين المعايير وجودة المنتج في اللّحام
(Relationship Between Standards and Product Quality in Welding)

تؤدي المعايير الفنية في اللِّحام دورًا محوريًا في تحقيق جودة المنتج وضمان موثوقيته في بيئات التشغيل المختلفة، فهي لا تقتصر على تنظيم خطوات العمل، بل تُعد أداة أساسية لتوحيد الأداء وتحقيق نتائج مستقرة ومتكررة، ويمكن توضيح العلاقة بينهما من خلال النقاط الآتية:

- تحديد متطلبات الجودة من حيث المواد والإجراءات.
- توحيد خطوات العمل لتقليل الأخطاء والاختلافات.
- ضمان السلامة التشغيلية للمنتج النهائي.
- تحسين موثوقية اللِّحامات ومتانتها.
- زيادة ثقة العملاء بالمنتجات المحلية والدولية.
- خفض تكاليف الصيانة والإصلاح الناتجة عن العيوب.

منظمات ومعايير اللّحام الدوليَّة
(International Welding Organizations and Standards)

تُعَد هذه المنظمات الركيزة الأساسية لتوحيد المفاهيم والممارسات الفنية في مجال اللِّحام عالميًّا، ويُوضح الجدول الآتي أهم المنظمات التي تُصدر المعايير المعتمدة دوليًّا:

الجمعية الأمريكية للِحام
(American Welding Society (AWS))

مجال الاختصاص	■ تطوير معايير وإجراءات اللِّحام. ■ تأهيل اللَّحَّامين والمفتشين الفنيين.
أهم المعايير	■ AWS D1.1 : لِحام الهياكل الفولاذية. ■ AWS D1.2 : لِحام الألمنيوم. ■ AWS QC1 : تأهيل مُفتّشي اللِّحام.
المقر الرئيسي	■ الولايات المتحدة الأمريكية.

الجمعية الأمريكية للمهندسين الميكانيكيين
(American Society of Mechanical Engineers (ASME))

مجال الاختصاص	■ تصميم وبناء المعدَّات الميكانيكية وأوعية الضغط وخطوط الأنابيب.
أهم المعايير	■ ASME Section IX : تأهيل اللَّحّامين، وإجراءات اللِّحام. ■ ASME B31.3 : أنظمة الأنابيب الصناعية.
المقر الرئيسي	■ الولايات المتحدة الأمريكية.

المنظمة الدولية للمعايير القياسية

(International Organization for Standardization (ISO))

مجال الاختصاص	■ وضع معايير موحدة للجودة والإنتاج الصناعي على مستوى العالم.
أهم المعايير	■ ISO 3834: جودة عمليات اللِّحام. ■ ISO 9606: تأهيل اللَّحّامين. ■ ISO 14731: مهام مُنسّق اللِّحام.
المقر الرئيسي	■ جنيف، سويسرا.

الجمعية الأمريكية للفحص غير الإتلافي

(American Society for Nondestructive Testing (ASNT))

مجال الاختصاص	■ تطوير تقنيات ومعايير الفحص غير الإتلافي (NDT) لضمان جودة اللِّحام دون إتلاف القِطَع.
أهم المعايير	■ SNT-TC-1A: تأهيل مفتشي الفحص غير الإتلافي (NDT). ■ ISO 9712: اعتماد مفتّشي الفحص بالتعاون مع ISO.
المقر الرئيسي	■ الولايات المتحدة الأمريكية.

المعايير المحليّة في سلطنة عُمان في مجال اللّحام
(Local Welding Standards in the Sultanate of Oman)

تتولى سلطنة عُمان إعداد وتطبيق المعايير المحلية المتعلقة بعمليات اللِّحام من خلال وزارة التجارة والصناعة وترويج الاستثمار ممثَّلة بالمديرية العامة للمواصفات والمقاييس، إضافة إلى بعض الجهات التنظيمية الأخرى في قطاعات النفط والغاز والطاقة، وتهدف هذه المعايير إلى ضمان جودة الأعمال الملحومة في المشاريع الوطنية، ورفع مستوى السلامة في المنشآت الصناعية، وتوحيد طرق الفحص والاختبار، وترتكز المواصفات العمانية على المعايير الدولية المعتمدة، مثل: (ISO) و(ASME) و(AWS)، إلا أنها تُعدَّل بما يتناسب مع البيئة الصناعية في سلطنة عُمان ومتطلبات المشاريع المحلية، مثل: أعمال الأنابيب في قطاع النفط، والغاز، والإنشاءات البحرية.

العلاقة بين المعايير المحلية والدولية
(Relationship Between Local and International Standards)

تتمثل العلاقة بين المعايير المحلية والدولية في كونها منظومة مترابطة تهدف إلى توحيد جودة الإنتاج وسلامة العمليات، مع مراعاة الاحتياجات الخاصة بكل دولة أو قطاع صناعي، ويمكن تلخيص العلاقة بينهما في النقاط الآتية:

- **الاستفادة من الخبرات العالمية:**

  تستند الدول إلى المعايير الدولية أساسًا لتطوير معاييرها الوطنية.

- **التكيّف مع البيئة المحلية:**

  تعديل بعض البنود لتناسب القوانين وظروف الصناعة المحلية.

- **توحيد الجودة والسلامة:**

  الدمج بين المعايير المحلية والدولية يضمن جودة ثابتة واعترافًا عالميًا.

- **تسهيل التجارة الدولية:**

  توافُق المعايير يُسهِّل تصدير واستيراد المنتجات دون إعادة الاختبار.

- **رفع كفاءة الكوادر:**

  التدريب وفق معايير دولية يرفع أداء الفنيين، ويؤهلهم للمشاريع الكبرى.

تطبيق معايير اللّحام في الصناعات المختلفة
(Application of Welding Standards in Different Industries)

تُستخدم معايير اللِّحام في العديد من الصناعات الحيوية، حيث تختلف تطبيقاتها تبعًا لمتطلبات كل قطاع كالآتي:

1 صناعة النفط والغاز (Oil & Gas Industry):

تُعد من أكثر القطاعات التي تتطلب دقة عالية في اللِّحام لضمان عدم التسرّب، أو الانفجار، ومن أبرز هذه المعايير ما يأتي:

- تطبيق المعيار (ASME Section IX) لتأهيل اللَّحّامين وإجـراءات اللِّحام في خطوط الأنابيب، وخزانات الضغط.
- اعتماد المعيار (API 1104) مرجعًا أساسيًّا في لِحام خُطوط نقل النفط والغاز.
- تنفيذ اختبارات الفحص غير الإتلافي (RT وUT) وفق معايير (ANST)، و(ISO 9712) للتحقق من سلامة اللِّحامات.

2 قطاع البناء والإنشاءات (Construction Industry):

يُعتمد على عمليات اللِّحام في تنفيذ الجسور والهياكل المعدنية الضخمة، ومن أبرز المعايير في هذا القطاع ما يأتي:

- استـخـدام المعـيـار (AWS D1.1) في لِحام الهياكل الفولاذية.
- تطبيق المعيار (ISO 3834)؛ لضمان جودة عمليات اللِّحام في الورش والمشاريع.
- تنفيذ اختبارات الفحص البصري (Visual Testing (VT))، واختبار الاختراقات اللونية (Penetrant Testing (PT))، والاختبـار بالجسيمات المغناطيسية (Magnetic Testing (MT))؛ للكشف عن العيوب السطحية.

3 صناعة المعدَّات والآلات (Manufacturing Industry):

تُركز على إنتاج معدَّات وأجزاء تتحمل الأحمال العالية، وظروف التشغيل المستمرة، ومن أبرز المعايير في هذا القطاع ما يأتي:

- تطبيق المعيار (ISO 15614) لتأهيل إجراءات اللِّحام.
- اعتماد المعيار (ASME Section VIII) في تصنيع أوعية الضغط والمبادلات الحرارية.
- تنفيذ اختبارات الفحص بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Testing (UT))، والفحص الإشعاعي (Radiographic Testing (RT))، والفحص بالجسيمات المغناطيسية (Magnetic Particle Testing (MT))؛ للتأكد من جودة اللِّحامات الداخلية والخارجية.
- تطبيق المعيارين (ISO 9001)، و(ISO 3834) باعتبارهما نظاميّ إدارة جودة للإنتاج.

الدرس الثالث

توثيق أعمال اللحام

(Welding Documentation)

يُعد التوثيق في أعمال اللحام أحد الركائز الأساسية التي تقوم عليها المعايير والمواصفات الدولية في مجال التصنيع والإنشاءات المعدنية، إذ لا تقتصر جودة اللحام على مهارة اللحّام أو سلامة المعدّات فقط، بل تعتمد بشكل رئيسي على وجود نظام توثيق فني يضمن تنفيذ جميع عمليات اللحام وفق متطلبات محددة ومعتمدة مسبقًا، ويُستخدم التوثيق لضمان تتبع العمليات الفنية، والتحقق من الالتزام بالمعايير، وتوفير سجل موثوق يمكن الرجوع إليه عند الحاجة، سواء لأغراض الجودة أو السلامة أو التحقيق الفني.

مفهوم التوثيق في أعمال اللحام
(Documentation Concept in Welding Operations)

يقصد بالتوثيق في أعمال اللحام عملية تسجيل وتنظيم جميع البيانات الفنية المتعلقة بتنفيذ عمليات اللحام، بما يشمل تفاصيل الوصلة الملحومة، وطريقة التنفيذ، ونتائج الفحص، ولا يُعد التوثيق إجراءً إداريًا فقط، بل هو متطلب فني أساسي تشترطه جميع المعايير الدولية في مجال اللحام، ويهدف إلى توفير سجل فني يمكن الرجوع إليه للتحقق من إنجاز أعمال اللّحام وفق المتطلبات والمعايير المعتمدة، وضمان الشفافية والدقة في تنفيذ الأعمال الصناعية.

ويهدف التوثيق في أعمال اللحام إلى تحقيق مجموعة من الأهداف الفنية والتنظيمية، من أهمها ما يأتي:

- ضمان تنفيذ عمليات اللحام وفق إجراءات وتعليمات معتمدة.
- توحيد أساليب العمل داخل الورش والمواقع الصناعية.
- تسهيل متابعة جودة الوصلات الملحومة خلال مراحل التنفيذ المختلفة.
- توفير مرجع فني موثوق عند الحاجة إلى المراجعة أو التقييم.
- دعم اتخاذ القرار الفني بشأن قبول الأعمال أو الحاجة إلى الإصلاح.
- تقليل الأخطاء الناتجة عن الاجتهادات الفردية.
- تحسين موثوقية المنتجات الصناعية.
- تحقيق جودة متكررة ومتجانسة في الوصلات الملحومة.
- دعم أنظمة ضبط الجودة (QC) من خلال تسجيل نتائج الفحوصات.
- دعم أنظمة ضمان الجودة (QA) من خلال تنظيم الإجراءات والعمليات.

ضمان الجودة (Quality Assurance (QA))

ضمان الجودة هو نظام إجراءات وقواعد تنظيمية يُطبق قبل وأثناء تنفيذ أعمال اللحام، بهدف منع حدوث الأخطاء وضمان تنفيذ العمل بطريقة صحيحة من البداية.

ضبط الجودة (Quality Control (QC))

ضبط الجودة هو مجموعة الفحوصات والاختبارات التي تُجرى على أعمال اللحام أثناء أو بعد التنفيذ، بهدف اكتشاف العيوب، والتأكد من مطابقة اللحام للمواصفات الفنية والمعايير المعتمدة.

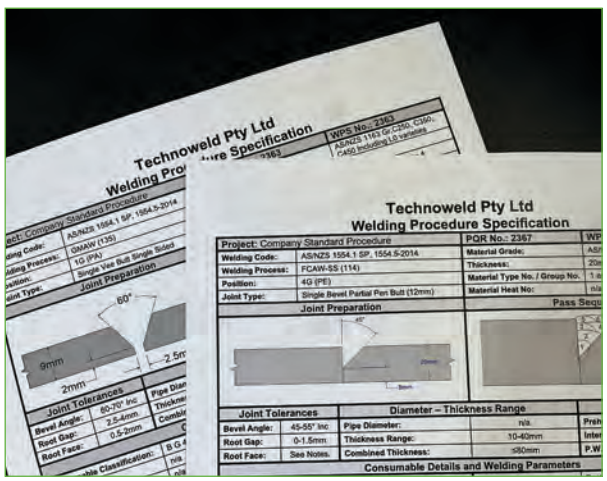
عناصر التوثيق في أعمال اللحام
(Documentation Elements of in Welding Operations)

يشمل التوثيق في أعمال اللحام مجموعة من البيانات الفنية الأساسية التي تُسجَّل لضمان متابعة جودة العمل والتحقق من مطابقته للمتطلبات والمعايير المعتمدة، ومن أهم هذه العناصر ما يأتي:

- بيانات تعريف الوصلة الملحومة وموقعها.
- طريقة اللحام المستخدمة ونوع العملية.
- نتائج الفحص والاختبارات المنفذة.
- القرار الفني النهائي بشأن الوصلة.
- بيانات اللحّام المنفذ للعمل.

الوثائق الأساسية في أعمال اللحام وفق المعايير المعتمدة

(Basic Welding Documents According to Approved Standards)



تتطلب أعمال اللحام تنفيذًا دقيقًا ومنظمًا يضمن سلامة الوصلات وجودتها، ولا يمكن تحقيق ذلك دون الاعتماد على وثائق فنية معتمدة تُنظّم كيفية التنفيذ وتُحدّد المسؤوليات الفنية، وتُعد الوثائق الأساسية في أعمال اللحام المرجع الرسمي الذي تُبنى عليه جميع عمليات اللحام قبل البدء في التنفيذ، وتُستخدم لضمان الالتزام بالمعايير المعتمدة وتحقيق الجودة المطلوبة.

دور الوثائق الفنية في تنظيم وتنفيذ أعمال اللحام (Technical Documents Role in Organizing and Executing Welding Operations)

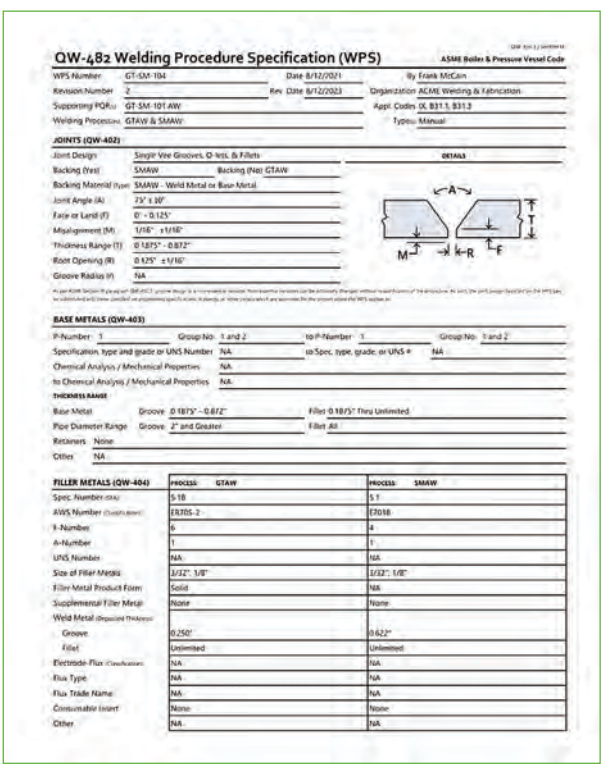
تُستخدم الوثائق الفنية في أعمال اللحام لتنظيم عملية التنفيذ والتحكم في خطوات العمل، حيث تعمل كمرجع عملي يوضّح كيفية تنفيذ اللحام ويحدّد المسؤوليات الفنية أثناء العمل، وتسهم في الآتي:

- تحديد طريقة تنفيذ اللحام بصورة واضحة قبل البدء في العمل.
- ضبط العمل الميداني ومنع الاجتهادات غير المسموح بها.
- تنظيم المتابعة والمراجعة الفنية أثناء التنفيذ.
- دعم إجراءات الاعتماد الفني للأعمال الصناعية.
- ربط التنفيذ العملي بالمعايير والإجراءات المعتمدة.

مواصفات إجراءات اللحام (Welding Procedure Specification (WPS))

إجراء اللحام هو وثيقة فنية معتمَدة توضح الطريقة الصحيحة لتنفيذ عملية اللحام خطوة بخطوة، وتُستخدم لضمان تنفيذ جميع الوصلات الملحومة بطريقة آمنة ومتوافقة مع المعايير، كما تسهم في توحيد أسلوب تنفيذ اللحام بين الفنيين، وتقليل العيوب الناتجة عن الإعداد الخاطئ، وضمان جودة ثابتة ومتكررة للوصلات، وتحقيق متطلبات السلامة والمعايير الفنية، وعادة ما يتضمن إجراء اللحام العناصر الآتية:

- نوع عملية اللحام المستخدمة.
- نوع القطب أو معدن الحشو.
- نوع التيار والقطبية.
- وضعية اللحام.
- نطاق السماكات المسموح بها.
- المتطلبات الأساسية للسلامة.



QW-482 Welding Procedure Specification (WPS)

ASME Boiler & Pressure Vessel Code

WPS Number	GT-SM-104	Date	8/12/2021
Revision Number	2	Rev. Date	8/12/2023
Supporting PQR(s)	GT-SM-101-AW		
Welding Processes	GTAW & SMAW		

By Frank McCain

Organization ACME Welding & Fabrication

Appl. Codes IX, B31.1, B31.3

Type(s) Manual

JOINTS (QW-402)

Joint Design	Single Vee Grooves, O-less, & Fillets		
Backing (Yes)	SMAW	Backing (No)	GTAW
Backing Material (Type)	SMAW - Weld Metal or Base Metal		
Joint Angle (A)	75° ± 10°		
Face or Land (F)	0" - 0.125"		
Misalignment (M)	1/16" ± 1/16"		
Thickness Range (T)	0.1875" - 0.872"		
Root Opening (R)	0.125" ±1/16"		
Groove Radius (r)	NA		

DETAILS

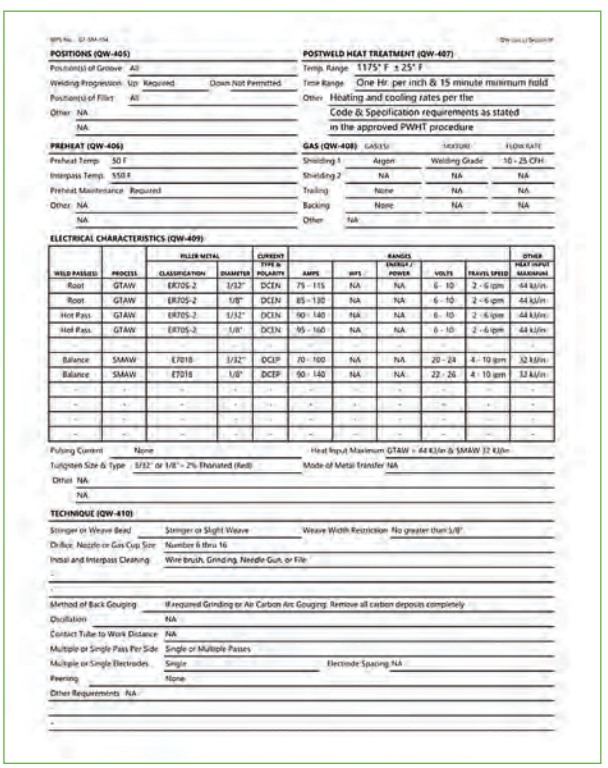
BASE METALS (QW-403)

P-Number	1	Group No.	1 and 2
to P-Number	1	Group No.	1 and 2
Specification, type and grade or UNS Number	NA	to Spec, type, grade, or UNS #	NA
Chemical Analysis / Mechanical Properties	NA		
to Chemical Analysis / Mechanical Properties	NA		

THICKNESS RANGE

Base Metal	Groove 0.1875" - 0.872"	Fillet	0.1875" Thru Unlimited
Pipe Diameter Range	Groove 2" and Greater	Fillet	All
Retainers	None		
Other	NA		

FILLER METALS (QW-404)	PROCESS: GTAW	PROCESS: SMAW
Spec. Number (SFA)	5.18	5.1
AWS Number (Classification)	ER70S-2	E7018
F-Number	6	4
A-Number	1	1
UNS Number	NA	NA
Size of Filler Metals	1/32", 1/8"	1/32", 1/8"
Filler Metal Product Form	Solid	NA
Supplemental Filler Metal	None	None
Weld Metal (Deposited Thickness)		
Groove	0.250"	0.622"
Fillet	Unlimited	Unlimited
Electrode-Flux (Classification)	NA	NA
Flux Type	NA	NA
Flux Trade Name	NA	NA
Consumable Insert	None	None
Other	NA	NA



POSITIONS (QW-405)

Position(s) of Groove	All		
Welding Progression	Up: Required	Down: Not Permitted	
Position(s) of Fillet	All		
Other	NA		
	NA		

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temp. Range	1175° F ± 25° F
Time Range	One Hr. per inch & 15 minute minimum hold
Other	Heating and cooling rates per the Code & Specification requirements as stated in the approved PWHT procedure

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp.	50 F
Interpass Temp.	550 F
Preheat Maintenance	Required
Other	NA
	NA

GAS (QW-408)

	GAS(ES)	MIXTURE	FLOW RATE
Shielding 1	Argon	Welding Grade	10 - 25 CFH
Shielding 2	NA	NA	NA
Trailing	None	NA	NA
Backing	None	NA	NA
Other	NA		

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

		FILLER METAL		CURRENT TYPE & POLARITY	RANGES				OTHER
WELD PASS(ES)	PROCESS	CLASSIFICATION	DIAMETER		AMPS	WFS	ENERGY / POWER	VOLTS	TRAVEL SPEED	HEAT INPUT MAXIMUM
Root	GTAW	ER70S-2	1/32"	DCEN	75 - 115	NA	NA	6 - 10	2 - 6 ipm	44 kJ/in
Root	GTAW	ER70S-2	1/8"	DCEN	85 - 130	NA	NA	6 - 10	2 - 6 ipm	44 kJ/in
Hot Pass	GTAW	ER70S-2	1/32"	DCEN	90 - 140	NA	NA	6 - 10	2 - 6 ipm	44 kJ/in
Hot Pass	GTAW	ER70S-2	1/8"	DCEN	95 - 160	NA	NA	6 - 10	2 - 6 ipm	44 kJ/in
Balance	SMAW	E7018	1/32"	DCEP	70 - 100	NA	NA	20 - 24	4 - 10 ipm	32 kJ/in
Balance	SMAW	E7018	1/8"	DCEP	90 - 140	NA	NA	22 - 26	4 - 10 ipm	32 kJ/in
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

Pulsing Current None

Heat Input Maximum GTAW = 44 KJ/in & SMAW 32 KJ/in

Tungsten Size & Type 1/32" or 1/8" - 2% Thoriated (Red)

Mode of Metal Transfer NA

Other NA

NA

TECHNIQUE (QW-410)

Stringer or Weave Bead	Stringer or Slight Weave	Weave Width Restriction	No greater than 3/8"
Orifice, Nozzle or Gas Cup Size	Number 6 thru 16		
Initial and Interpass Cleaning	Wire brush, Grinding, Needle Gun, or File		
-			
Method of Back Gouging	If required Grinding or Air Carbon Arc Gouging. Remove all carbon deposits completely		
Oscillation	NA		
Contact Tube to Work Distance	NA		
Multiple or Single Pass Per Side	Single or Multiple Passes		
Multiple or Single Electrodes	Single	Electrode Spacing	NA
Peening	None		
Other Requirements	NA		

سجلات تأهيل اللحّامين
(Welder Qualification Records (WQR/WPQ))

سجلات تأهيل اللحّامين هي وثائق رسمية تُستخدم للتأكد من أن اللحّام مؤهل وقادر على تنفيذ أعمال اللحام المطلوبة بطريقة صحيحة وآمنة، وذلك وفق إجراء لحام معتمد، ويسهم تأهيل اللحّامين في ضمان تنفيذ اللحام بواسطة كوادر مؤهلة، وتقليل احتمالية حدوث العيوب، ورفع مستوى السلامة في مواقع العمل، وتحقيق متطلبات المعايير الدولية في الاعتماد.

وتشمل سجلات تأهيل اللحّامين مجموعة من المعلومات المهمة، وهي كالآتي:

- **بيانات اللحّام:** وتوضح هوية اللحّام، مثل اسمه الكامل، ورقم اللحّام، وجهة العمل أو المشروع، وخبرته أو تصنيفه إن وجد.
- **بيانات اختبار التأهيل:** وتشمل تاريخ إجراء الاختبار، ومكان الاختبار، والجهة المشرفة عليه، والكود أو المواصفة القياسية التي تم الاختبار وفقها.
- **إجراء اللحام المستخدم:** يوضح هذا الجزء رقم إجراء اللحام المعتمد (WPS)، ونوع عملية اللحام المستخدمة، ونوع القطب، ونوع التيار والقطبية، بالإضافة إلى وضعية اللحام التي تم الاختبار عليها.
- **تفاصيل العينة المختبرة:** تتضمن نوع المعدن الأساسي المستخدم في الاختبار، وسماكته، ونوع الوصلة، وأبعاد العينة، ووضعية اللحام، واتجاه التقدم.
- **نطاق التأهيل:** يتضمن هذا الجزء حدود العمل المسموح بها للحّام بعد التأهيل، مثل السماكات التي يمكنه لحامها، وأوضاع اللحام المسموح بها، ونوع الوصلات، والمواد المماثلة، وعمليات اللحام التي تم تأهيله عليها.
- **نتائج الفحص والاختبارات:** تشمل نتائج الفحص البصري للحام، وقد تتضمن الاختبارات غير الإتلافية، وكذلك الاختبارات الإتلافية، مثل اختبار الثني أو الشد إذا تطلب الكود ذلك.
- **نتيجة التأهيل:** يُحدد فيها ما إذا كان اللحّام مؤهلاً أو غير مؤهل، مع ذكر أي ملحوظات أو شروط خاصة.
- **التوقيعات والاعتماد:** يشمل توقيع المفتش أو الفاحص، وتوقيع مسؤول الجودة، وتاريخ الاعتماد، مما يجعل السجل وثيقة رسمية معتمدة.

QW-200.2 / Section IX

QW-483 Procedure Qualification Record (PQR)

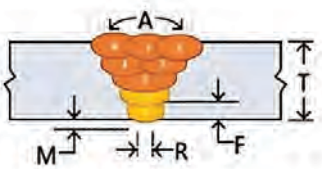
ASME Boiler & Pressure Vessel Code

Organization	Quality Inspection Forms	PQR No.	GT-SM-101 AW
Welding Process(es)	GTAW & SMAW	WPS No.	GT-SM-101
Type(s)	Manual	Date	3/21/2025

JOINTS (QW-402)

Joint Design	Groove		
Backing (Yes)	SMAW	Backing (No)	GTAW
Backing Material (Type)	None (SMAW Weld Metal)		
Joint Angle (A)	75°		
Face or Land (F)	0		
Misalignment (M)	1/32"		
Thickness (T)	0.436"	Diameter 2" Sch. XXS	
Root Opening (R)	0.125"		
Groove Radius (r)	NA		

DETAILS



BASE METAL (QW-403)

Material Specification	SA-516	to	SA-516
Type/Grade or UNS	Gr 60	to	Gr 70
P-No. 1	Group No. 1	to P-No. 1	Group No. 2
Thickness of Test Coupon	0.375		
Diameter of Test Coupon	NA (Plate)		
Maximum Pass Thickness	Less than 1/2"		
Other	NA		
	NA		

FILLER METALS (QW-404)

	PROCESS 1	PROCESS 2
SFA Specification	5.18	5.1
AWS Classification	ER70S-2	E7018
Filler Metal F-Number	6	4
Weld Metal A-Number	1	1
Size of Filler Metals	3/32" & 1/8"	3/32" & 1/8"
Filler Metal Product Form	Solid	NA
Supplemental Filler Metal	None	None
Electrode Flux Class	NA	NA
Flux Type	NA	NA
Flux Trade Name	NA	NA
Weld Metal Thickness	0.125"	0.311"
Other	NA	NA

POSITION (QW-405)

Position of Groove	6G
Welding Progression	Uphill
Other	NA

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp.	75° F
Interpass Temp.	425° F
Other	NA
	NA

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temp	1150 F to 1175 F
Time	Hold time of 2 Hrs
Other	NA
	NA

GAS (QW-408)

	GAS(ES)	MIXTURE	FLOW RATE
Shielding 1	Argon	Welding Grade	23 CFH
Shielding 2	None	NA	NA
Trailing	NA	NA	NA
Backing	NA	NA	NA
Other	NA		

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current 1	Direct Current	Current 2	93 - 125
Polarity 1	Electrode Negative	Polarity 2	Electrode Positive
Amps 1	98 - 120	Amps 2	93 - 125
Volts 1	13 - 14	Volts 2	14 - 15
Waveform Control	NA		
Power or Energy	NA		
Pulsing Current	GTAW - None & SMAW - Not Applicable		
WFS 1	NA	WFS 2	NA
Mode of Metal Transfer (GMAW & FCAW)	NA		
Tungsten Electrode Size	1/8"		
Heat Input 1	NA	Heat Input 2	NA

TECHNIQUE (QW-410)

Travel Speed 1	1.5 - 3	Travel Speed 2	3.2 - 4.5
Stringer or Weave Bead	Stringer and Weave		
Oscillation	NA		
Single or Multi Pass (per side)	Multi-Pass		
Single or Multiple Electrodes	Single		
Back Gouge Method	None		
Other	NA		

POR No. GT-SM-101 AW

QW-200.2 / Section IX

TENSILE TESTS (QW-150)

SPECIMEN NO.	WIDTH	THICKNESS	AREA	ULTIMATE TOTAL LOAD	ULTIMATE TENSILE STRESS	TYPE of FAILURE & LOCATION
T1	0.767	0.409	0.314	22,500	71,724	Ductile - Base Metal
T2	0.753	0.403	0.303	22,300	73,486	Ductile - Base Metal
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

GUIDED-BEND TESTS (QW-160)

TYPE & FIGURE NUMBER	RESULT
Side Bend - Figure QW-462.2	Acceptable
Side Bend - Figure QW-462.2	Acceptable
Side Bend - Figure QW-462.2	Acceptable
Side Bend - Figure QW-462.2	Acceptable

TOUGHNESS TESTS (QW-170)

					IMPACT VALUES			
SPECIMEN NO.	NOTCH LOCATION	NOTCH TYPE	SPECIMEN SIZE	TEST TEMP.	FT-LB OR J	% SHEAR	MILS OR MM	DROP WEIGHT BREAK
1	Weld	V	10 mm X 7.5 mm	-25 F	177 ft-lb	100%	78	-
2	Weld	V	10 mm X 7.5 mm	-25 F	168 ft-lb	100%	69	-
3	Weld	V	10 mm X 7.5 mm	-25 F	156 ft-lb	100%	81	-
4	HAZ	V	10 mm X 7.5 mm	-25 F	91 ft-lb	100%	83	-
5	HAZ	V	10 mm X 7.5 mm	-25 F	119 ft-lb	100%	83	-
6	HAZ	V	10 mm X 7.5 mm	-25 F	80 ft-lb	100%	90	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Other NA

NA

NA

FILLET-WELD TEST (QW-180)

Satisfactory Result Yes - No - Penetration into Parent Metal Yes - No -

Macro Results -

-

OTHER TESTS

Type of Test -

Deposit Analysis -

Other -

-

Tests Conducted By ACME Labs Inc. Laboratory Test No. WR-2010a

We certify that the statements in this record are correct and that the test welds were prepared, welded, and tested in accordance with the requirements of Section IX of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code.

Welder's Name Clark Rogers Organization ACME Welding & Fabrication

Clock Number 2010 Stamp WCR

Date - Certified By Signature Here

الفرق بين مواصفات إجراءات اللحام وسجلات تأهيل اللحّامين

تُنشأ وثيقة سجلات تأهيل اللحّامين (PQR) أولاً لتسجيل نتائج لحام فعلي، ثم تُستخدم كأساس لإعداد وثيقة إجراء اللحام (WPS) الذي يُعد دليلاً لتنفيذ اللحام في الورش والمواقع الصناعية، ورغم ارتباطهما، تختلف وظيفة كل وثيقة، كما يوضحه الجدول الآتي:

سجلات تأهيل اللحّامين (Procedure Qualification Record (PQR))	مواصفات إجراءات اللحام (Welding Procedure Specification (WPS))
يُسجِّل نتائج تنفيذ لحام فعلي لوصلة باستخدام الإجراءات المحددة في WPS.	يوضح الإجراءات التفصيلية التي ستُستخدم لتنفيذ لحام وصلة معينة.
يُستخدم كقائمة تحقق للتأكد من تنفيذ تعليمات اللحام تنفيذًا صحيحًا.	يُعد دليل تعليمات اللحّام أثناء العمل.
يُعد وثيقة فنية متخصصة تُستخدم أثناء الفحص وبعده.	يُستخدم قبل الفحص وأثناء التحضير والتنفيذ.
يكون محددًا ودقيقًا لوصلة أو إجراء معين.	يكون عامًا، ويمكن تطبيقه على أكثر من وصلة ضمن نطاق محدد.
يُعد وثيقة خارج نطاق الورشة، وغالبًا ما يُنجز من قِبل جهات أو مختصين معتمدين.	يُستخدم مباشرة من قبل اللحّامين في الورش والمصانع والمواقع الصناعية.
يكون على شكل نموذج يحتوي على خانات ومساحات لتسجيل الملحوظات والنتائج.	يحتوي على نصوص تعليمية واضحة وقد يتضمن جداول أو رسومات توضيحية.

توضح المعايير الفنية العلاقة التكاملية بين الوثيقتين، حيث:

- يحدد WPS كيفية تنفيذ اللحام.
- تحدد WQR/WPQ من يحق له تنفيذ اللحام.

ولا يُسمح بتنفيذ أي عملية لحام إلا بوجود الوثيقتين وضمن نطاق التأهيل المعتمد.

أسئلة الوحدة

1. عـرِّف معايير اللِّحام، واشـرح الغرض من تطبيقها في بيئة العمل الصناعي.
2. اذكر أهم الجوانب التي تشملها معايير اللِّحام من حيث: (التصميم، والتنفيذ، والفحص، والسلامة).
3. اشرح أهمية توحيد معايير اللِّحام على المستوى الدَّولي.
4. ما العلاقة بين معايير اللِّحام وجودة المنتج؟
5. اذكر ثلاثة أهداف رئيسية لمعايير اللِّحام في تحسين السلامة والجودة والإنتاج.
6. اشرح دور منظمة ISO في تطوير معايير الجودة في عمليات اللِّحام.
7. ما العلاقة بين المعايير المحلية والمعايير الدَّولية في مجال اللِّحام؟
8. اذكر ثلاثة أمثلة لتطبيق معايير اللِّحام في قطاع النفط والغاز، وبيّن أهميتها.
9. ما الفائدة من إعداد إجراء اللِحام (WPS) قبل تنفيذ العمل؟
10. ما المقصود بالتوثيق في أعمال اللحام؟

11 اذكر ثلاثة أهداف رئيسية للتوثيق في أعمال اللحام.

12 عدّد مكوّنات التوثيق الأساسية في أعمال اللحام.

13 كيف يسهم التوثيق في تقليل الأخطاء أثناء اللحام؟

14 لماذا يُعد التوثيق متطلبًا فنيًا وليس إداريًا فقط؟

15 ما المقصود بالوثائق الأساسية في أعمال اللحام؟

16 ما دور الوثائق الفنية في تنظيم وتنفيذ أعمال اللحام؟

17 ما أهمية WPS في ضمان جودة اللحام؟

18 عدّد أهم البيانات التي تتضمنها سجلات تأهيل اللحّامين.

19 لماذا يُعد تأهيل اللحّامين أمرًا ضروريًا في المشاريع الصناعية؟

الوحدة الثانية

ممارسات تصنيع اللِحام

Welding Fabrication Practices

محتويات الوحدة الثانية

الدرس الأول

تحضير المواد وطرق القطع

(Material Preparation and Cutting Methods) 37

الدرس الثاني

تهيئة الأسطح وضبط الوصلات

(Surface Preparation and Joint Fit-Up) 41

الدرس الثالث

إعداد وتشغيل معدّات لحام القوس المعدني المغلف

(SMAW Welding Equipment Setup and Operation) 50

الدرس الرابع

لحام الوصلة التناكبية وفق المعايير الدولية

(Butt Joint Welding in Accordance with International Standards) 57

الدرس الخامس

أعمال التشطيب بعد اللِحام

(Post-Weld Finishing Operations) 66

أسئلة الوحدة 69

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتَّبع قواعد الصحة والسلامة المهنية في الورش التدريبية.
- يحدد خطوات تحضير المواد قبل بدء عمليات اللِحام.
- يستخدم أدوات القطع البسيطة استخدامًا صحيحًا وآمنًا.
- يحدد جودة القِطع وجاهزيتها لعمليات اللِحام.
- يميّز بين طرق القطع اليدوية والحرارية، ويحدد الاستخدام الأنسب لكل منها.
- يوضح أهمية تنظيف الأسطح قبل البدء في عملية اللِحام.
- ينفذ عمليات المحاذاة الصحيحة للتجميع قبل البدء في عملية اللِحام.
- يحدد أخطاء عدم المحاذاة أثناء عملية اللِحام، ويقترح طرق تجنبها ومعالجتها.
- يذكر أدوات التثبيت والتجميع قبل اللِحام.
- يتعرف مكونات جهاز اللِحام (SMAW)، ووظيفة كل جزء.
- يشرح نظام ترميز أقطاب اللِحام بالقوس المعدني المغلف (SMAW).
- يضبط التيار والجهد والقطبية ضبطًا صحيحًا.
- ينفذ الإعدادات الأساسية للجهاز قبل البدء في عملية اللِحام.
- يطبق معايير السلامة المهنية أثناء تشغيل المعدّات.
- يجهز الحواف والقِطع المطلوبة لعملية اللِحام.
- يوضح مفهوم الوصلة التناكبية وتطبيقاتها الصناعية.
- يجهز الوصلة التناكبية قبل اللِحام وفق معيار AWS D1.1.
- يضبط التيار والجهد والقطبية بما يتناسب مع أوضاع اللِحام المختلفة.
- ينفذ خطوات لحام الوصلة التناكبية بطريقة (SMAW) وفق التسلسل الصحيح.
- يفحص الوصلة التناكبية بصريًّا مع الالتزام بإجراءات السلامة.
- يوضح أهمية أعمال التشطيب، وتأثيرها في جودة ومتانة الوصلة الملحومة.
- ينفذ تقنيات التنعيم والتلميع لتحقيق سطح متساوٍ وجاهز للمعالجة النهائية.

ملخص الوحدة

تركّز هذه الوحدة على تزويد الطلبة بالمهارات الأساسية لعمليات اللِحام بالقطب المعدني المغلف (SMAW)، بدءًا من تحضير المواد وطرق القطع، ثم تنظيف الأسطح والمحاذاة؛ لضمان جاهزية الوصلة قبل اللِحام، ويتدرب الطلبة على إعداد وتشغيل معدّات اللِحام تشغيلاً صحيحًا، وتطبيق لحام الوصلات التناكبية وفق المعايير الدولية في أوضاع اللِحام المختلفة، مع مراعاة التحكم بالقوس وجودة الانصهار، وتتناول الوحدة كذلك أعمال التشطيب بعد عمليات اللِحام؛ بهدف تحسين جودة الوصلة وتجهيزها للاستخدام أو الفحص، وبذلك توفّر الوحدة إطارًا عمليًّا متكاملاً يمكّن الطلبة من فهم وتنفيذ عمليات اللِحام وفق ممارسات مهنية صحيحة، مع تعزيز وعيهم بجوانب الجودة والسلامة، التي تُعَد أساسًا للأعمال الهندسية في قطاعي التصنيع والإنشاءات.

تحضير المواد وطرق القطع

(Material Preparation and Cutting Methods)

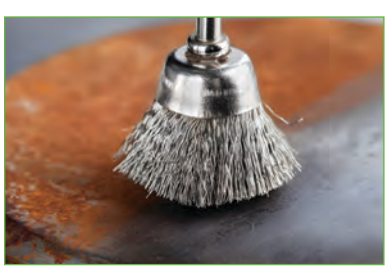
تمثل مرحلة تحضير المواد وطرق القطع الأساس المتين لأي عملية تصنيع أو لحام صناعي، حيث تؤثر مباشرة في جودة المنتج النهائي وكفاءته التشغيلية، ولا يقتصر التحضير على قطع المعدن وفق المقاسات المحددة في المخططات الهندسية، بل يشمل أيضًا تقييم خصائص المادة، مثل: النوع، والسماكة، وصلابة السطح، بالإضافة إلى تنظيفها وإزالة أي شوائب قد تؤثر في جودة اللِحام.

وتؤدي دقة التحضير دورًا حيويًا في تحسين اندماج اللِحام وتقليل العيوب المحتملة، مثل: التشققات أو الترسيب غير المنتظم، ويؤثر اختيار طريقة القطع في كفاءة العملية ودقتها، سواء كانت يدوية للأعمال الدقيقة والصغيرة، أو حرارية للقِطَع السميكة والمعقدة، أو باستخدام تقنيات متقدمة، مثل: القطع بالبلازما، أو الليزر.

إجراءات أساسية قبل عمليات القطع
(Basic Procedures Before Cutting Operations)

قبل البدء بعمليات القطع، يجب اتباع مجموعة من الإجراءات التحضيرية؛ لضمان جودة العمل وسلامة العملية، وتشمل هذه الإجراءات الآتي:

1. **اختيار المواد:** تحديد نوع المعدن المناسب (فولاذ، أو ألمنيوم، أو نحاس، أو سبائك خاصة)، وفق التطبيق ومتطلبات التحمّل والتحميل.



2. **الفحص الأولي:** التحقق من عدم وجود عيوب سطحية، أو صدأ، أو شقوق، أو تشوهات قد تؤثر في اللِحام.

3. **تحديد الأبعاد والقياسات:** استخدام أدوات القياس المناسبة، سواء القياسات العادية، مثل: المسطرة والفرجار، أو القياسات الدقيقة، مثل: الميكروميتر والقدمة ذات الورنية؛ لضمان مطابقة القطع للمخططات الهندسية.

4. **تنظيف السطح:** إزالة الصدأ، والزيوت، والدهان، والشحوم؛ لضمان عملية قطع نظيفة وسليمة.
5. **التخطيط ووضع العلامات:** وضع خطوط توجيه القطع؛ لتسهيل عملية القطع وضمان الدقة.

طرق القطع اليدوي (Manual Cutting Methods)

تستخدم طرق القطع اليدوي للمواد الصغيرة، أو عند عدم توفر معدّات القطع الحراري، أو الميكانيكي، وتشمل ما يأتي:

الأمثلة	المميزات	العيوب
■ **المنشار اليدوي (Hacksaw):** مناسب لقطع الأنابيب والقِطع الحديدية الصغيرة. ■ **المقصات المعدنية (Metal Shears):** تُستخدم لقطع الصفائح المعدنية الرفيعة (Sheet Metal). ■ **المبرد والمطارق (Files & Hammers):** تُستخدم لتنظيف الحواف وتحسين التشطيب بعد عملية القطع.	■ **دقة جيدة للمواد الصغيرة:** يسمح القطع اليدوي بالتحكم الدقيق في اتجاه القطع والزوايا، ما يجعله مناسبًا للقطع الدقيق على المواد الصغيرة، أو القطع التي تتطلب تفاصيل دقيقة. ■ **مستوى أمان عالي:** عند الالتزام بإجراءات السلامة الأساسية، يقل خطر الحوادث مقارنة بالآلات الكهربائية عالية السرعة، خصوصًا عند العمل في الورش الصغيرة، أو في حالات التمرين العملي. ■ **منخفض التكلفة:** لا يتطلب مصادر طاقة كهربائية، ويعتمد على استخدام أدوات بسيطة، مثل، المنشار اليدوي، والمقصات، والمبارد؛ مما يجعله خيارًا اقتصاديًّا للمشاريع الصغيرة، أو أعمال الصيانة الطارئة.	■ **بطء في الإنجاز:** يحتاج إلى وقت أطول لإتمام القطع مقارنة بالآلات الكهربائية أو القطع الميكانيكي، خاصة عند التعامل مع كميات كبيرة، أو قِطع طويلة. ■ **غير مناسب للمواد السميكة:** يصعب استخدامه في قطع المعادن السميكة، أو شديدة الصلابة، حيث يحتاج ذلك إلى قوة كبيرة وجهد متواصل، وقد يؤدي إلى قطع غير متساوٍ، أو إجهاد العامل. ■ **محدودية الاستخدام في الإنتاج الكبير:** لا يناسب خطوط الإنتاج الصناعي، أو المشاريع التي تتطلب سرعة عالية وكميات كبيرة، حيث يكون الإنتاج اليدوي غير فعال بالمقارنة مع القطع الميكانيكي أو الآلي.

طرق القطع الحراري (Thermal Cutting Methods)

تُعد طرق القطع الحراري من التقنيات الأساسية في الصناعات المعدنية، حيث تعتمد على استخدام مصادر حرارة عالية لقطع المعادن بدقة وكفاءة، وتستخدم هذه الطرق لتنفيذ عمليات قطع سريعة للمواد السميكة، أو ذات الأشكال المعقدة مع الحفاظ على جودة الحواف، وتقليل الجهد البدني المبذول من قِبل الفنيين، ومن هذه الطرق ما يأتي:

١. القطع بالأوكسي – أسيتيلين (Oxy-acetylene Cutting)

الوصف	■ يعتمد على تسخين المعدن باستخدام لهب ناتج عن احتراق غازَي الأكسجين والأسيتيلين حتى يصل المعدن إلى درجة الاشتعال، ثم يُنفَخ بالأكسجين النقي لإتمام عملية القطع.
المميزات	■ اقتصادي وسهل الاستخدام. ■ مناسب لقطع المعادن السميكة.
العيوب	■ لا يصلح لقطع الفولاذ المقاوم للصدأ والألمنيوم. ■ أقل دقة مقارنة ببعض طرق القطع الحديثة.

٢. القطع بالبلازما (Plasma Cutting)

الوصف	■ يعتمد على استخدام قوس كهربائي لتحويل الغاز إلى حالة البلازما ذات درجة الحرارة العالية؛ مما يتيح قطع المعادن الموصلة للكهرباء بسرعة ودقة عاليتين.
المميزات	■ دقة عالية وجودة ممتازة لحواف القطع. ■ سرعة عالية في القطع. ■ مناسب لقطع معظم أنواع المعادن الموصلة للكهرباء.
العيوب	■ تكلفة أعلى مقارنة بالقطع بالأوكسي – أسيتيلين.

معايير جودة القطع (Cutting Quality Criteria)

لضمان جودة المنتج النهائي يجب التأكد من تحقيق المعايير الآتية أثناء عمليات القطع:

- أن تكون حافة القطع منتظمة وخالية من النتوءات، أو الخَبَث بما يسهل عمليات اللِحام، أو التجميع اللاحق.
- الالتزام بالأطوال والأبعاد المحددة في المخططات دون أي زيادة أو نقص.
- تجنب التشوهات الحرارية، أو الانحناءات الناتجة عن الحرارة المفرطة أثناء عملية القطع.
- ضمان استقامة خط القطع ودقته بما يتوافق مع متطلبات التصميم الفني.

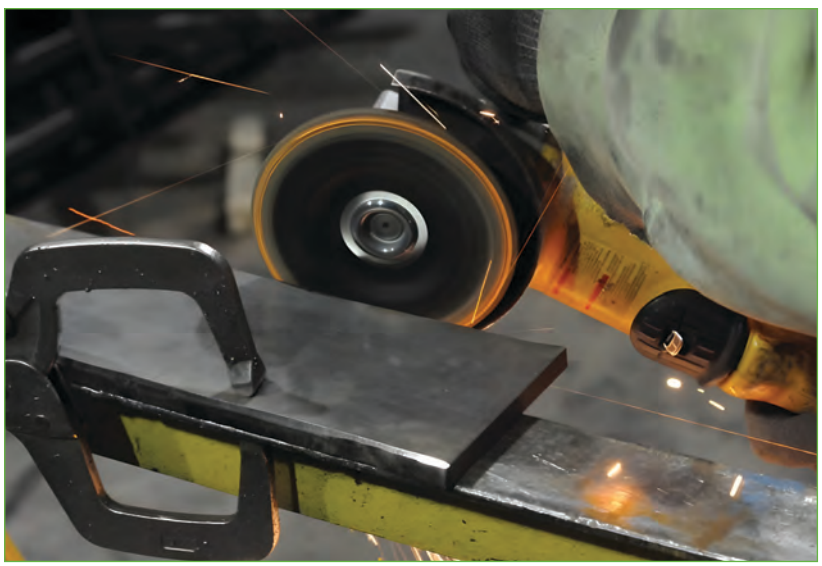
إجراءات السلامة عند القطع (Safety Procedures During Cutting Operations)

تُعد إجراءات السلامة من المتطلبات الأساسية التي يجب الالتزام بها أثناء تنفيذ عمليات القطع داخل الورش الصناعية، خاصة عمليات القطع الحراري، مثل: القطع بالأوكسي – أسيتيلين والقطع بالبلازما؛ وذلك لما تنطوي عليه هذه العمليات من مخاطر ناتجة عن الحرارة العالية ومصادر الطاقة المختلفة، وتشمل هذه الإجراءات ما يأتي:

- ارتداء معدّات الوقاية الشخصية: مثل: النظارات الواقية، والقفازات المقاومة للحرارة، والأحذية الواقية، والملابس الطويلة المقاومة للشرر.
- ضمان تهوية مناسبة أثناء عمليات القطع الحراري، أو القطع بالبلازما؛ لتقليل تراكم الغازات والأبخرة.
- الحفاظ على مسافة آمنة بين أداة القطع والمشغل أثناء العمل.
- إجراء الصيانة الدورية لأدوات القطع، مثل: تنظيف رؤوس القطع، وفحص التوصيلات والتيار الكهربائي للأدوات.
- مراجعة قائمة المخاطر المحتملة لكل نوع من أنواع القطع، مثل: الحرارة العالية، وتطاير الشرر، وانبعاث الغازات، أو تطاير الأجزاء المعدنية.
- التأكد من تثبيت القطعة المراد قطعها بإحكام قبل البدء بالعمل؛ لتجنّب الانزلاق، أو الاصطدام.

تهيئة الأسطح وضبط الوصلات

(Surface Preparation and Joint Fit-Up)



تُعد تهيئة الأسطح وضبط الوصلات قبل اللِحام مرحلة أساسية لضمان جودة اللِحام وقوة الوصلة، حيث تبدأ بفحص الأسطح للتأكد من خلوها من العيوب الظاهرة، ثم تنظيفها من الصدأ والزيوت والشحوم التي قد تؤثر في اندماج المعدن أثناء اللِحام، باستخدام وسائل مناسبة، وذلك بما يتوافق مع متطلبات المعيار (ISO 8501-1) **الخاصة بدرجات ومستويات نظافة الأسطح المعدنية. أما محاذاة وتجميع الوصلات، فتُنفذ وفق الأسس الفنية المعتمدة وبما يتوافق مع متطلبات المعيار** (ISO 9692-1) **المتعلق بإعداد الوصلات للحام، ويسهم الالتزام بهذه الإجراءات والمعايير في تقليل العيوب، مثل: ضعف الاختراق أو عدم الاستقامة، ويؤدي إلى لحام أكثر قوة واستمرارية؛ مما يعزز جودة المنتج النهائي، ويقلل الحاجة إلى إعادة العمل أو الإصلاح.**

المعيار (ISO 8501-1):

يختص بتحديد درجات ومستويات نظافة الأسطح المعدنية بعد التنظيف، وقبل عمليات الطلاء، أو اللحام.

المعيار (ISO 9692-1):

يختص بإعداد الوصلات للحام (Joint Preparation)، ويشمل أشكال الحواف، والزوايا، والمسافات المطلوبة قبل اللحام.

الفحص المبدئي للسطح (Initial Surface Inspection)

يُعد الفحص المبدئي للسطح خطوة أساسية قبل البدء في أي عملية تصنيع أو لحام أو طلاء، حيث يهدف إلى تقييم الحالة العامة للمادة، وتحديد نوع الملوثات، أو العيوب الموجودة، ويشمل الفحص التحقق من وجود الصدأ، والزيوت، والدهانات القديمة، والخدوش، وعدم الاستواء، بالإضافة إلى الكشف عن أي تشققات سطحية قد تؤثر سلبًا في جودة العمليات اللاحقة، ويساعد هذا الفحص على اختيار طريقة التنظيف المناسبة وضمان جاهزية السطح لتحقيق أفضل أداء في المرحلة الصناعية التالية.

- **خطوات الفحص المبدئي (Initial Inspection Steps):**

يمكن للفني إجراء الفحص المبدئي للسطح من خلال الخطوات الآتية:

1. **تقييم النظافة العامة للسطح:**

فحص وجود الأوساخ، أو الغبار، أو الزيوت، أو الشحوم، أو بقايا مواد عمليات التصنيع السابقة.

2. **تحديد درجة الصدأ أو التآكل:**

تقييم مستوى الصدأ الظاهر وفق معايير، مثل (ISO 8501-1)؛ لتحديد شدة التآكل ونوع المعالجة المطلوبة.

3. **فحص الطلاءات والطبقات السطحية:**

التأكد من عدم وجود بقايا دهان قديم أو طبقات أكسيدية تؤثر في جودة اللِحام، أو الالتصاق.

4. **الكشف عن العيوب السطحية:**

البحث عن الخدوش، أو الانتفاخات، أو التشققات الدقيقة، أو أي تشوهات قد تسبب ضعفًا في منطقة اللِحام.

5. **التحقق من استواء السطح:**

التأكد من عدم وجود انبعاجات، أو تموجات باستخدام المساطر، أو أدوات القياس المناسبة.

6 اختبار التلوث غير المرئي:

فحص وجود زيوت خفيفة أو ملوثات دقيقة باستخدام مناديل نظيفة، أو قطرات من المذيبات المناسبة.

7 تحديد طريقة التنظيف المناسبة:

اختيار أفضل طريقة للتنظيف (ميكانيكي، أو كيميائي، أو انفجار كاشط، أو حراري) بناءً على حالة السطح.

8 توثيق نتائج الفحص:

تسجيل الملحوظات والعيوب في تقرير الفحص؛ لضمان تتبع الإجراءات التصحيحية قبل البدء في عمليات اللِحام أو الطلاء.

تنظيف الأسطح (Surface Cleaning)

يُعد تنظيف الأسطح خطوة أساسية قبل تنفيذ عمليات اللِحام، إذ يؤثر مباشرة في جودة الاندماج بين المعادن واستقرار الوصلة، وتعتمد عمليات التنظيف على طرق ميكانيكية وكيميائية وحرارية، بما يتوافق مع مستويات ومتطلبات المواصفات والمعايير القياسية (ISO 8501-1)؛ وذلك لضمان تحقيق أفضل أداء أثناء اللِحام وتحسين جودة المنتج النهائي.

ويُسهم تنظيف السطح في الآتي:

- إزالة الصدأ، والأكسدة، والدهان، والزيوت، والشحوم.
- تحسين ثبات القوس الكهربائي أثناء اللِحام.
- ضمان الاندماج الجيد بين المعادن.
- منع العيوب الشائعة، مثل: المسامية (Porosity) والشوائب (Inclusions).

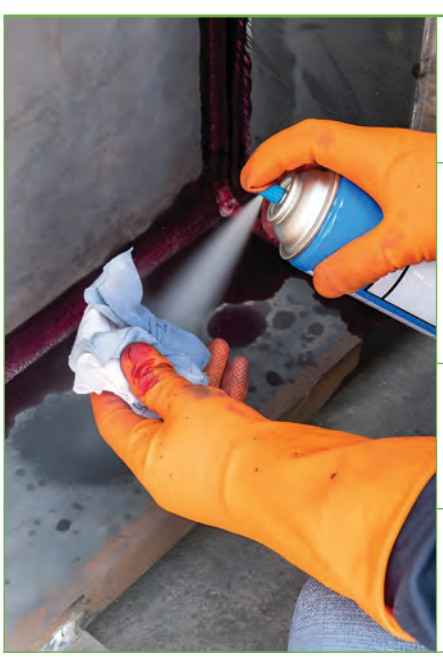
■ طرق تنظيف الأسطح (Surface Cleaning Methods):

يوضح الجدول الآتي مقارنة شاملة بين أهم طرق تنظيف الأسطح:

١- التنظيف الميكانيكي (Mechanical Cleaning)

الوصف	إزالة الملوثات باستخدام أدوات ميكانيكية؛ لتحسين خشونة السطح وزيادة قابلية الاندماج أثناء اللِحام.
الأمثلة	■ الفرشاة السلكية (Wire Brushing). ■ آلات الصقل/الصنفرة (Grinding/Sanding). ■ الكشط بالإزميل، ومطرقة إزالة الخَبَث (Chipping Tools).
المميزات	■ بسيط ومنخفض التكلفة. ■ فعال لإزالة الصدأ الخفيف وبقايا الخَبَث.
العيوب	■ غير فعال لإزالة الزيوت والشحوم. ■ لا يعالج الملوثات الدقيقة.

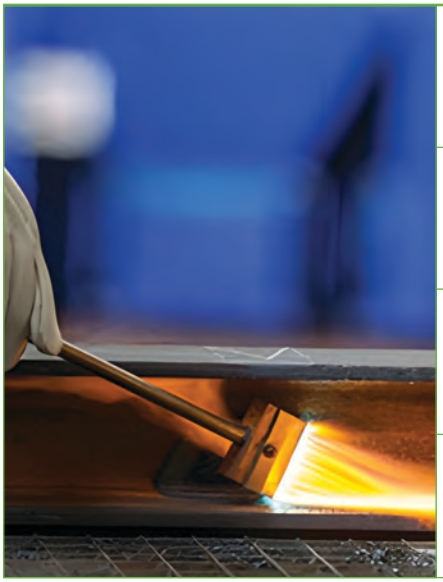
٢- التنظيف الكيميائي (Chemical Cleaning)



الوصف	استخدام مواد كيميائية لإزالة الزيوت والشحوم والملوثات الدقيقة من أسطح المعادن قبل اللِحام.
الأمثلة	■ المذيبات (Solvent Cleaning)، مثل الأسيتون. ■ إزالة الشحوم (Degreasing). ■ التنظيف الحمضي الخفيف (Pickling).
المميزات	■ فعال جدًّا في إزالة الدهون والزيوت. ■ مناسب لإزالة الملوِّثات الدقيقة.
العيوب	■ يحتاج إلى تهوية جيدة أثناء الاستخدام. ■ يتطلب الالتزام الصارم باحتياطات السلامة.

٣- التنظيف الحراري (Thermal Cleaning)

الوصف	استخدام الحرارة لحرق الملوِّثات والطلاءات الصعبة التي يصعب إزالتها بالطرق الأخرى.
الأمثلة	■ الأفران الحرارية. ■ الشعلة الخاصة بالمعالجة الحرارية.
المميزات	■ فعال جدًّا في إزالة الطلاءات والرواسب الصلبة.
العيوب	■ قد يؤثر في خصائص المعدن عند التعرض لحرارة مفرطة.



محاذاة القِطع قبل اللِحام (Workpiece Setup and Alignment)

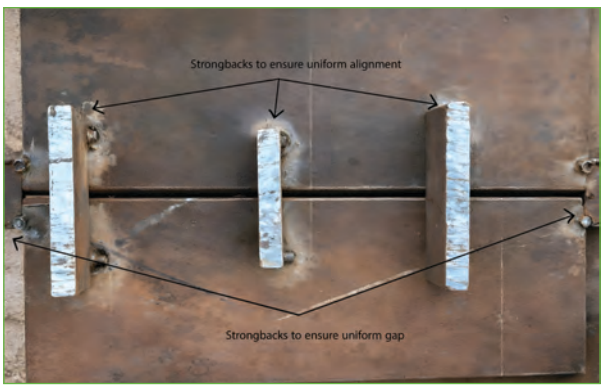
محاذاة القِطع قبل اللِحام هي عملية ضبط وضعية الأجزاء المراد لحامها بحيث تكون في محاذاة صحيحة وبزوايا متطابقة وفق المخططات الهندسية ومتطلبات إجراء اللِحام المعتمد (WPS)، وتهدف هذه المرحلة إلى ضمان التلامس الصحيح بين الحواف، وتحقيق توزيع حراري متوازن أثناء اللِحام، ومنع الانحراف، أو التشوه الذي قد يؤدي إلى ظهور عيوب تؤثر في جودة الوصلة الملحومة.

وتُعد المحاذاة جزءًا أساسيًّا من مرحلة التجميع قبل اللِحام، إذ تعتمد عليها سلامة الفجوات والزوايا واستقرار الوصلة أثناء تنفيذ اللِحام النهائي، وتكمن أهمية محاذاة القطع قبل اللِحام في الآتي:

- ضمان استقامة الوصلة ومطابقتها للرسم الهندسي.
- تقليل التشوهات الناتجة عن الإجهادات الحرارية.
- تحسين جودة الاختراق ومنع العيوب، مثل: عدم الاستقامة، أو عدم الانصهار.
- تسهيل تنفيذ اللِحام والفحص اللاحق.

■ خطوات محاذاة القطع (Steps for Workpiece Alignment):

يُسهم الالتزام بخطوات المحاذاة الصحيحة في تقليل العيوب الناتجة عن الانحراف أو الالتواء، وضمان جودة الوصلة قبل البدء باللِحام النهائي، ويشمل ذلك الخطوات الآتية:



1. مراجعة الرسومات والمخططات الهندسية لتحديد الأبعاد والزوايا المطلوبة بدقة.
2. تنظيف أسطح القِطع من الشوائب والزيوت وأي ملوثات قد تؤثر في دقة المحاذاة.
3. وضع القِطع في وضعها الأولي الصحيح على منصة العمل.
4. استخدام أدوات القياس المناسبة لضبط الأبعاد والزوايا، مثل: المسطرة، والقدمة ذات الورنية، وميزان الزوايا.
5. تثبيت القِطع مؤقتًا باستخدام المشابك، أو المشابك المغناطيسية لمنع الحركة.
6. ضبط الفجوة بين القِطع (Root Gap) ووجه الجذر (Root Face) وفق متطلبات الوصلة.
7. التحقق من استواء القِطع باستخدام مقياس ميزان الماء، أو أي أداة تحقق مناسبة للاستواء.
8. تنفيذ لحامات تثبيت قصيرة، لتثبيت القِطع في موضعها الصحيح.
9. إعادة فحص المحاذاة بعد التثبيت المؤقت، للتأكد من عدم حدوث انحراف أو التواء.
10. توثيق القياسات وحالة المحاذاة قبل البدء بعملية اللِحام النهائي.

■ أخطاء المحاذاة الشائعة (Common Alignment Errors):

تُعد أخطاء المحاذاة من الأسباب الشائعة لظهور عيوب اللِحام، مثل: الانحراف، وضعف الاختراق، والتشوهات الحرارية، ويمكن الحد من هذه العيوب، أو تجنبها من خلال معرفة أسبابها ومعالجتها بالأساليب الصحيحة قبل تنفيذ اللِحام النهائي، ويوضح الجدول الآتي أخطاء المحاذاة الشائعة وطرق تجنبها:

خطأ المحاذاة	سبب حدوث الخطأ	طريقة تجنب الخطأ
تحرك أو انزلاق القِطع أثناء اللِحام	استخدام تثبيت غير كافٍ، أو غير مناسب.	استخدام مشابك وأدوات تثبيت مناسبة؛ لضمان ثبات القِطع.
عدم استقامة الوصلة	ضبط غير دقيق للأبعاد، أو الزوايا.	فحص المقاسات والزوايا بدقة باستخدام أدوات القياس المناسبة.
تغيّر موضع القِطع بعد التثبيت	تنفيذ لحامات تثبيت غير متوازنة.	تطبيق لحامات تثبيت نقطية متوازنة (Tack Welding) قبل اللِحام النهائي.
فجوة غير منتظمة بين القِطع	عدم ضبط الفجوة أثناء المحاذاة.	ضبط الفجوة بين القِطع وفق متطلبات الوصلة قبل التثبيت.
تشوه الوصلة بسبب الحرارة	عدم ترك مسافات تعويضية كافية.	ترك مسافات تعويضية للحد من تأثير التشوهات الحرارية.

متطلبات التجميع قبل اللحام وفق المعايير الدولية (Pre-Welding Assembly Requirements According to International Standards)

تُعد مرحلة التجميع قبل اللِحام مرحلة أساسية لضمان جودة الوصلة الملحومة، حيث تُثبت خلالها الأجزاء بدقة وفق القِيم المحددة في إجراء اللِحام المعتمد (WPS)، ويسهم الالتزام بهذه المتطلبات في تقليل العيوب وتحقيق مطابقة اللِحام للمعايير الدولية المعتمدة، وتشمل الآتي:

نوع المتطلب	الهدف منه	مثال على المعيار
محاذاة القِطَع (Alignment)	ضمان استقامة الوصلة، وعدم وجود انحراف يُضعف المقاومة.	AWS D1.1 - ASME Section IX
فجوة الجذر (Root Gap)	تحقيق اختراق كامل ومناسب في الجذر.	AWS D1.1 - WPS
زاوية الميل (Bevel Angle)	تسهيل انصهار الحواف، وتوزيع معدن اللِّحام.	AWS D1.1 - ASME Section VIII
التثبيت المؤقت (Tack Welding)	منع حركة القِطَع أثناء اللِّحام الكامل.	AWS D1.1 - ISO 3834

نوع المتطلب	الهدف منه	مثال على المعيار
تنظيف منطقة التجميع (Clean the Assembly Area)	إزالة الشوائب التي تؤثر في جودة اللِّحام.	ISO 3834

أدوات التثبيت أثناء التجميع قبل اللّحام
(Pre-Welding Clamping and Fixturing Tools)

تُشير المعايير الفنية إلى ضرورة استخدام أدوات تثبيت مناسبة ومعتمدة للحفاظ على المحاذاة والفجوة ضمن الحدود المسموح بها، ويوضِّح الجدول الآتي أهم هذه الأدوات ووظائفها:

الأداة	الوظيفة	المميزات	شكل توضيحي
المشابك اليدوية (C-Clamps/ G-Clamps)	تثبيت القطع المعدنية مؤقتًا أثناء الضبط واللِّحام، مع الحفاظ على الفجوة ضمن الحدود المحددة في مواصفات إجراء اللَّحام (Welding Procedure Specification (WPS)).	■ سهلة الاستخدام. ■ مناسبة للأحجام الصغيرة والمتوسطة. ■ توفر تثبيتًا قويًا.	
مشابك الزاوية (Angle Clamps)	تثبيت القطع بزوايا محددة، عادة (90°)، بما يضمن مطابقة الوصلة لشكلها في المخطط والمعيار.	■ تضمن دقة الزوايا. ■ تقلل من انحراف الوصلات.	

الأداة	الوظيفة	المميزات	شكل توضيحي
مغناطيسات اللِّحام (Magnetic Holders /Welding Magnets)	تثبيت القِطَع الحديدية بزوايا مختلفة (45°، 90°، 135°)، بما يتوافق مع متطلبات التصميم.	■ سريعة وفعالة. ■ سهلة الاستخدام.	
الدعامات/ الركائز القابلة للتعديل (Adjustable Stands / Supports)	رفع أو ضبط القِطَع الثقيلة؛ لتسهيل الوصول أثناء اللِّحام مع الحفاظ على المحاذاة المطلوبة.	■ قابلة للتعديل. ■ مناسبة للقِطَع الكبيرة. ■ تُسهّل اللِّحام من جميع الجوانب.	
أدوات التثبيت المؤقت (Temporary Fixtures)	تثبيت القِطَع أثناء اللِّحام حسب الحاجة ووفق متطلبات WPS في المشاريع الخاصة.	■ متنوعة الاستخدام. ■ توفر تثبيت مؤقت قوي. ■ يمكن تخصيصها لكل نوع من القِطَع.	

إجراءات السلامة المهنية أثناء التنظيف والمحاذاة
(Safety Procedures During Cleaning and Alignment)

يجب الالتزام بإجراءات السلامة المهنية أثناء عمليات تنظيف الأسطح ومحاذاة القِطع؛ لتقليل المخاطر وضمان بيئة عمل آمنة، وتشمل هذه الإجراءات ما يأتي:

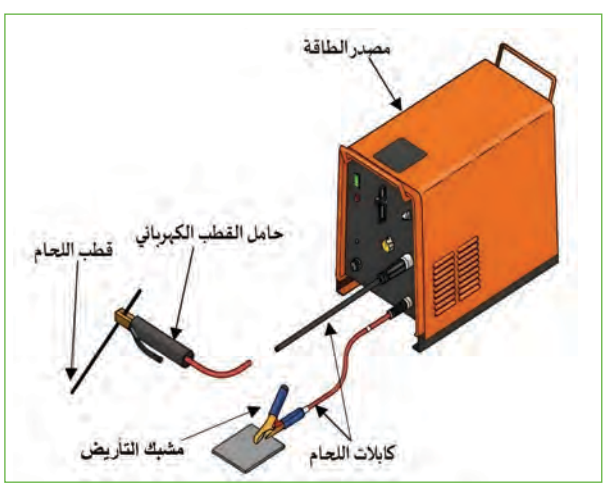
- ارتداء معدّات الوقاية الشخصية المناسبة، مثل: النظارات الواقية، والقفازات، والملابس المقاومة للشرر.
- تجنّب الملامسة المباشرة للمواد الكيميائية المستخدمة في التنظيف، أو الأدوات والأسطح الساخنة.
- توفير تهوية مناسبة لمنع تراكم الغبار، أو الأبخرة، أو الأدخنة.
- التأكّد من ثبات القِطع المعدنية جيدًا قبل بدء أي عملية تثبيت، أو لحام تثبيت نقطي.

إعداد وتشغيل معدّات لحام القوس المعدني المغلف

(SMAW Welding Equipment Setup and Operation)

يُعد اللحام بالقوس المعدني المغلف (SMAW) من أكثر عمليات اللحام استخدامًا في الصناعات المعدنية لسهولة تطبيقه، وتُعد مرحلة إعداد وتشغيل معدّات اللحام بالقوس المعدني المغلف خطوة أساسية لضمان جودة اللحام وسلامة العمليات الصناعية، ويعتمد نجاح العملية على الإعداد الدقيق لمكونات الجهاز، واختيار القطب المناسب، وضبط التيار والجهد والقطبية بما يتوافق مع خصائص المعدن المراد لحامه وطبيعة الوصلة، وتعتمد هذه العملية على فهم المتغيرات الأساسية في معايير (ASME Section IX)، ولا سيما المتغيرات من (QW-402) إلى (QW-406)، التي تُعد المرجع الرئيسي لضبط متغيرات اللحام والتحكم في ثبات القوس وجودة الانصهار.

مكوّنات نظام اللحام بالقوس المعدني المغلف
(Components of SMAW Welding System)



يتكوّن نظام اللحام بالقوس المعدني المغلف (SMAW) من مجموعة من المكوّنات الأساسية التي تعمل معًا لتنفيذ عملية اللحام بكفاءة وأمان، وتشمل ما يأتي:

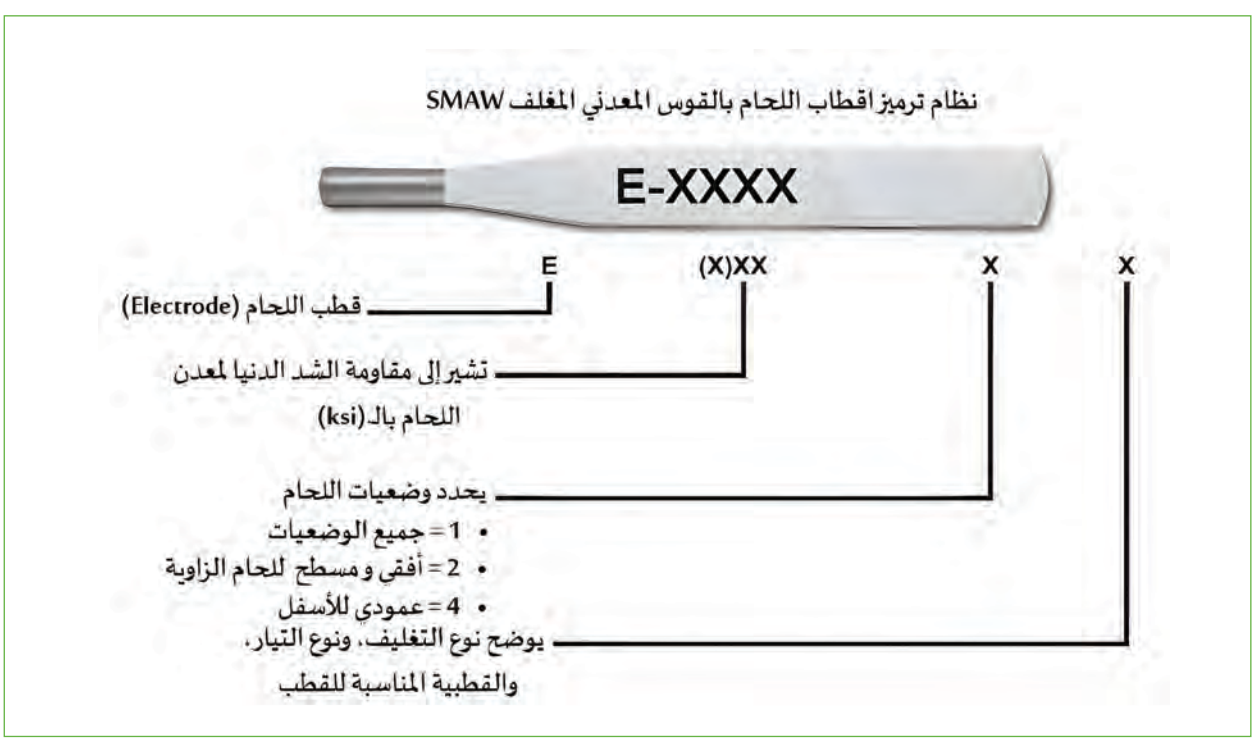
- **مصدر الطاقة** (Transformer/Power Source): يوفر التيار الكهربائي (AC/DC) المناسب لعملية اللحام.
- **كابلات اللحام** (Cables): تنقل التيار من مصدر الطاقة إلى منطقة اللحام بكفاءة وأمان.

- **أقطاب اللِحام** (Electrode): تعمل وسيطًا لنقل التيار، وتكوين القوس الكهربائي، وتنصهر لتشكل معدن اللِحام.
- **حامل القطب الكهربائي** (Electrode Holder): يمسك القطب، ويوفر التحكم في زاوية واتجاه اللِحام.
- **مشبك التأريض** (Ground Clamp): يضمن إغلاق الدائرة الكهربائية بأمان، ويقلل خطر الصدمة الكهربائية.

اختيار القطب المناسب (Electrode Selection)

تُعد أقطاب اللِحام عنصرًا أساسيًّا في عملية اللِحام بالقوس المعدني المغلف (SMAW)، حيث تؤثر مباشرة في ثبات القوس، وعمق الاختراق، وجودة معدن اللِحام وقوة الوصلة الملحومة، ويُسهم الاختيار الصحيح للقطب في تقليل العيوب وتحقيق لحام متوافق مع متطلبات الجودة والمعايير المعتمدة، ويعتمد اختيار القطب على العوامل الآتية:

- نوع المعدن المراد لحامه.
- وضعية اللِحام.
- سماكة المعدن.
- متطلبات الكود، أو المواصفات الفنية المعتمدة.

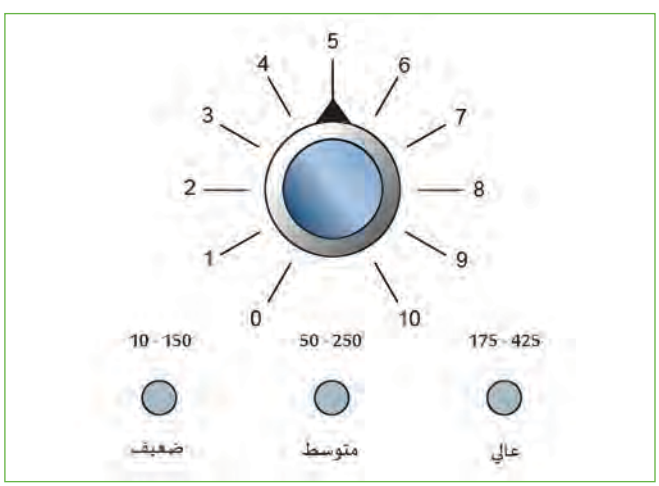


ومن الأمثلة على الأقطاب الشائعة في اللِحام ما يأتي:

- **قطب السيلولوز** (E6010 & E6011): يتميز باختراق عالٍ، ويُستخدم غالبًا في لحام الأنابيب.
- **قطب الروتيل** (E6013, E6012, E6014 & E7014): يعمل بجهد منخفض، ومناسب للصفائح الرقيقة والأعمال العامة.
- **قطب منخفض الهيدروجين** (E7018, E6015, E6016, E8018 & E9018): يُستخدم في لحام الهياكل والإنشاءات المعدنية التي تتطلب متانة عالية وتقليل التشققات.

ضبط التيار والجهد (Current & Voltage Adjustment)

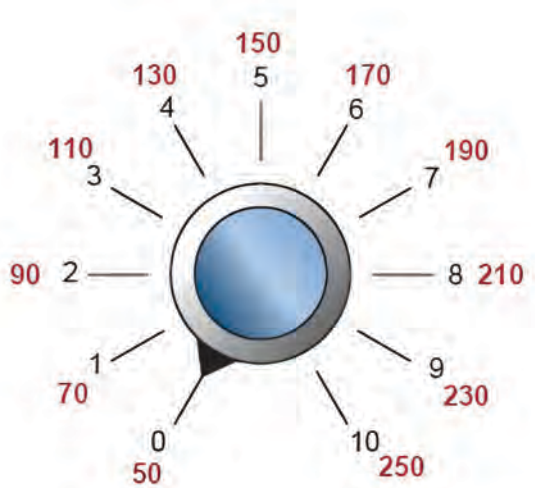
يُعد ضبط التيار والجهد من أهم الإعدادات الأساسية في عملية اللِحام، إذ يؤثران مباشرة في استقرار القوس الكهربائي وجودة الوصلة الملحومة، ويُسهم في تقليل العيوب، وتحقيق نتائج لحام مطابقة للمتطلبات الفنية كالآتي:



- يعتمد ضبط شدة التيار الكهربائي على قُطر القطب المستخدم، وسماكة المعدن، ووضعية اللِحام، حيث يؤدي الضبط الصحيح إلى تحقيق اختراق مناسب واستقرار القوس.
- يؤثر الجهد الكهربائي مباشرة في شكل بركة الانصهار ودرجة الانصهار الجانبي؛ مما ينعكس على تجانس معدن اللِحام وجودة الوصلة.

ويُمثل الجدول الآتي مرجعا تقريبيًا لحساب وضبط قيمة شدة التيار الكهربائي أثناء عملية اللِحام:

الإعداد	القيمة بالأمبير
0 = 50 + 0	50 أمبير
1 = 50 + 20	70 أمبير
2 = 50 + 40	90 أمبير
3 = 50 + 60	110 أمبير
4 = 50 + 80	130 أمبير
5 = 50 + 100	150 أمبير
6 = 50 + 120	170 أمبير
7 = 50 + 140	190 أمبير
8 = 50 + 160	210 أمبير
9 = 50 + 180	230 أمبير
10 = 50 + 200	250 أمبير



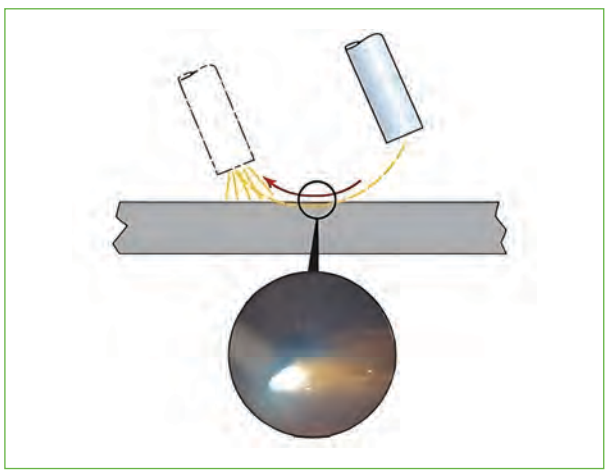
القِيم تقريبية وقد تختلف باختلاف نوع القطب، ووضعية اللحام، ونوع جهاز اللحام المستخدم.

إعداد الجهاز قبل اللحام
(Setting Up Welding Machine Before Welding)

يُعد إعداد جهاز اللِحام قبل بدء العمل خطوة أساسية؛ لضمان سلامة العمل وجودة اللِحام، ويساعد على تحقيق قوس مستقر ووصلة ملحومة سليمة، وتشمل هذه الخطوات ما يأتي:

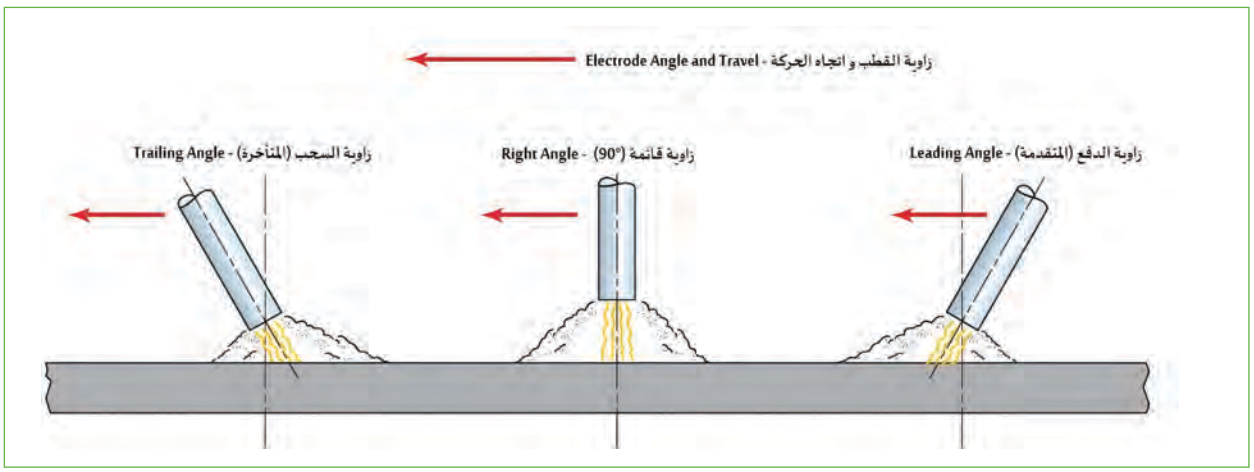
1. تجهيز معدّات السلامة، مثل: القناع الواقي، والقفازات، والملابس المقاومة للشرر.
2. تركيب القطب في حامل القطب تركيبًا صحيحًا.
3. توصيل مشبك التأريض، والتأكد من ثباته على المعدن.
4. ضبط التيار والجهد وفق نوع القطب وسماكة المعدن.
5. اختبار القوس على قطعة اختبار قبل بدء اللِحام الفعلي.
6. التأكد من التهوية الجيدة في مكان العمل.
7. تنظيف منطقة اللِحام من الصدأ والزيوت.

تشغيل الجهاز وبدء اللحام
(Operating the Welding Machine and Starting Welding)



يُعد تشغيل الجهاز وبدء اللِحام المرحلة العملية التي تُنفذ فيها عملية اللِحام فعليًّا، حيث يتطلب ذلك التحكم في القوس الكهربائي وحركة القطب؛ لضمان جودة الوصلة الملحومة، وتشمل هذه الخطوات ما يأتي:

1. تثبيت القطب في الحامل بزاوية مناسبة.
2. إحداث القوس الكهربائي باستخدام طريقتي الخدش (Scratch Start) أو الطرق السريع (Tap Start).
3. ضبط سرعة الحركة (Travel Speed) بما يتناسب مع سماكة المعدن.
4. الحفاظ على طول قوس ثابت تقريبًا (Arc Length) بمقدار (2-3 mm) مع زاوية ميل القطب (Electrode Angle) تتراوح بين (30° -10°).
5. مراقبة بركة الانصهار (Weld Pool) باستمرار؛ لضمان ثبات القوس وجودة اللِحام.



سرعة حركة القطب أثناء اللحام (Travel Speed)

تُعد سرعة حركة القطب أثناء عملية اللِحام عاملاً أساسيًا يؤثر في شكل درزة اللِحام وجودتها ومتانتها، حيث يحقق التحكم الصحيح فيها لحامًا منتظمًا ومطابقًا للمواصفات، بينما تؤدي السرعة غير المناسبة إلى ظهور عيوب في اللِحام، وتُصنَّف سرعة اللِحام إلى ثلاث حالات رئيسية يوضحها الجدول الآتي:

سرعة الحركة	الوصف	شكل توضيحي
بطيئة جدًا	تؤدي إلى ترسيب زائد لمعدن اللِحام، وارتفاع غير مطلوب في درزة اللِحام، وقد تسبب تشوهات حرارية أو ضعف المظهر العام للوصلة.	
طبيعية (مناسبة)	تؤدي إلى تكوين درزة لحام منتظمة ذات شكل سليم وتعزيز مناسب، وتُعد الحالة المثالية للحصول على لحام جيد ومطابق للمواصفات.	
سريعة جدًا	تؤدي إلى نقص في معدن اللِحام وضعف في الاختراق، وقد ينتج عنها لحام منخفض يؤثر سلبًا في متانة الوصلة وقوتها.	

الصيانة الوقائية أثناء التشغيل
(Preventive Maintenance During Operation)

تُعد الصيانة الوقائية أثناء التشغيل إجراءً ضروريًّا للحفاظ على سلامة معدّات اللِحام، وضمان استمرارية عملية اللِحام وجودتها، وتشمل الصيانة الوقائية أثناء التشغيل الخطوات الآتية:

- فحص كابلات اللِحام وحامل القطب قبل كل استخدام، والتأكد من خلوّها من التلف، أو التآكل.
- تنظيف حامل القطب ومشبك التأريض دوريًا؛ لضمان كفاءة التوصيل الكهربائي.
- التأكد من سلامة العزل الكهربائي وعدم وجود شرر أو تسريب كهربائي خارج منطقة القوس.
- مراجعة المؤشرات الكهربائية بانتظام؛ لضمان استقرار التيار والجهد أثناء التشغيل.

لحام الوصلة التناكبية وفق المعايير الدولية

(Butt Joint Welding in Accordance with International Standards)

تُعدّ الوصلة التناكبية (Butt Joint) من أكثر وصلات اللحام استخدامًا في الصناعات الهندسية والإنشائية، نظرًا لقدرتها العالية على تحمّل الأحمال وتحقيق الاستمرارية الميكانيكية بين الأجزاء المعدنية عند تنفيذها بصورة صحيحة، وتُستخدم هذه الوصلة على نطاق واسع في الهياكل الفولاذية، وخطوط الأنابيب، وخزانات الضغط، والمنشآت الصناعية التي تتطلب مستويات عالية من الجودة والسلامة.

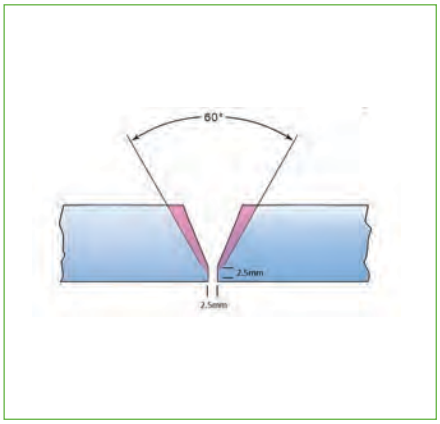
ويعتمد نجاح لحام الوصلة التناكبية على الالتزام بالمعايير الدولية التي تنظم مراحل التحضير والتنفيذ والفحص، وتحدد القيم الفنية الدقيقة مثل زاوية الميل، وفجوة الجذر، ومتغيرات اللحام وحدود القبول، وتُعد معايير الجمعية الأمريكية للّحام (AWS D1.1) (American Welding Society) من أهم المراجع المعتمدة عالميًا في هذا المجال، حيث تضمن تحقيق جودة لحام متكررة ومطابقة للمواصفات الهندسية.

تجهيز الوصلة قبل اللِحام (Joint Preparation Before Welding)

يُعد التحضير الجيد للوصلة التناكبية خطوة أساسية مشتركة بين جميع أوضاع اللِحام، ويؤثر مباشرة في جودة الوصلة النهائية، سواء نُفِّذت في الوضع المسطح أو الأفقي أو العمودي، وتتمثل خطوات التحضير فيما يأتي:

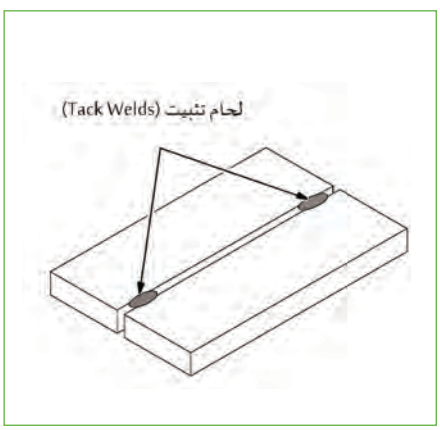
1. **فحص المواد الأساسية:**
   - التأكد من مطابقة نوع المعدن وسماكته للمخططات المعتمدة.
   - خلو السطح من الصدأ، والزيوت، والدهانات، أو أي شوائب تعيق الاندماج.
   - تظهر آثار ضعف الفحص بوضوح أكبر في الأوضاع غير المسطحة، خاصة العمودية.

2 إعداد الحواف (Edge Preparation):



- تنظيف الحواف من الدهان، أو الصدأ، أو الزيوت.
- تجهيز الحواف بزاوية شطف مناسبة (Bevel Angle) حسب سُمك المادة عادة (30°-37.5°).
- ترك فجوة الجذر (Root Gap) بمقدار (2.5 mm)، ووجه الجذر (Root Face) بمقدار (2.5 mm) باستخدام المبرد.
- التأكد من المحاذاة الصحيحة للقطعتين باستخدام المشابك والحوامل.

3 المحاذاة والتثبيت المؤقت (Alignment and Temporary Fixing):



- تكون القطعتان في محاذاة صحيحة قبل البدء في اللِحام.
- تثبيت القطع بإحكام باستخدام مشابك أو دعامات مناسبة للحفاظ على الوضعية الصحيحة، مع استخدام لحام التثبيت (Tack Welds) في مرحلة تمهيدية قبل اللِحام النهائي.
- التأكد من ثبات الوصلة طوال فترة اللِحام للحفاظ على جودة الدرزة.

المتغيرات الفنية للحام الوصلة التناكبية وتأثير وضعية اللِحام (Welding Variables)

تتغير طريقة التحكم في المتغيرات الفنية بحسب وضعية اللِحام، رغم ثبات نوع الوصلة، وتتمثل هذه المتغيرات في الآتي:

1. شدة التيار (Welding Current):

- في الوضع المسطح: تيار متوسط (70-90 أمبير لقطب E6013 بقطر 2.5 mm).
- في الوضع الأفقي: يُضبط التيار؛ لتجنب الترهل الناتج عن الجاذبية.
- في الوضع العمودي: يُستخدم تيار أقل نسبيًا للتحكم في بركة الانصهار.

2. **زاوية القطب** (Electrode Angle):

- في الوضع المسطح: ميل خفيف (5°-10°) باتجاه حركة اللِحام.
- في الوضع الأفقي: ميل جانبي للأعلى (10°-15°) لمقاومة تأثير الجاذبية.
- في الوضع العمودي: زاوية متغيرة حسب الاتجاه (صاعد أو هابط).

3. **سرعة الحركة وحركة القوس** (Travel Speed and Arc Movement):

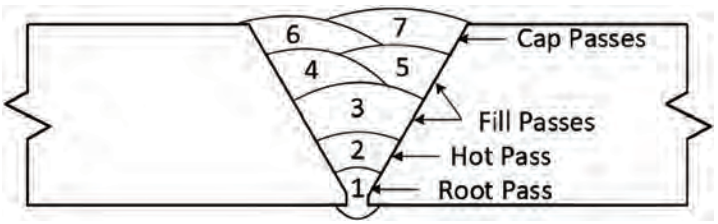
- سرعة متوسطة وحركة مستقيمة في الوضع المسطح.
- تحكم أدق في السرعة والحركة في الوضع الأفقي؛ لمنع التراكم السفلي.
- حركة تذبذب متحكم بها في اللِحام العمودي الصاعد، وحركة بسيطة في الهابط.

تنفيذ لحام الوصلة التناكبية حسب الأوضاع
(Butt Joint Welding Execution in Different Welding Positions)

يختلف أسلوب تنفيذ لحام الوصلة التناكبية باختلاف وضعية اللِحام، حيث تتأثر طريقة التحكم في القوس، وسرعة الحركة، وزاوية القطب، واستقرار بركة الانصهار في كل وضعية، ويساعد فهم خصائص كل وضع لحام على اختيار الطريقة المناسبة، وتنفيذ تمريرات اللِحام الصحيح يضمن جودة الدرزة ومطابقتها للمواصفات الفنية، وتتمثل أوضاع لحام الوصلة التناكبية في الآتي:

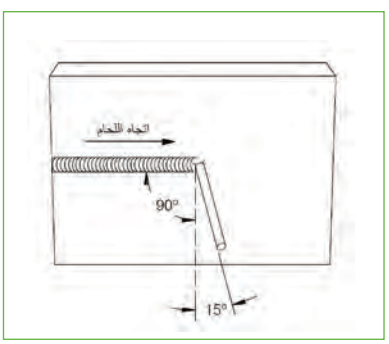
1. **الوضع المسطح** (1G):

- تنفيذ الطبقة الجذرية (Root Pass) مع طول قوس منتظم.
- تنظيف الخَبَث بعد الجذر.
- تنفيذ الطبقة الساخنة (Hot Pass)، وطبقة الحشو (Fill Passes)، والطبقة النهائية (Cap Pass) بسطح منتظم.
- يُعد هذا الوضع الأسهل والأكثر استقرارًا للتحكم في بركة الانصهار.



تُنفَّذ جميع تمريرات اللحام الموضحة في الشكل لجميع أوضاع اللحام، مع تعديل طريقة التنفيذ والتحكم في المتغيرات الفنية بما يتناسب مع أوضاع اللحام المختلفة.

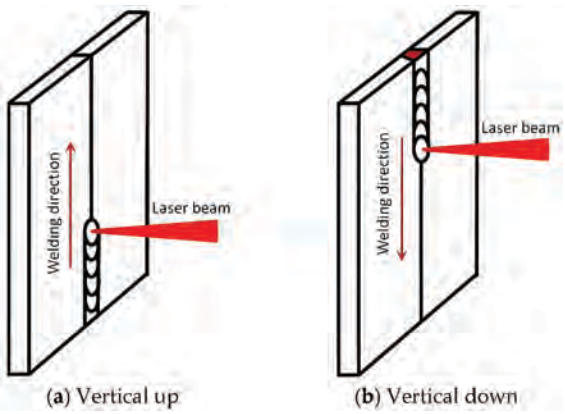
2. الوضع الأفقي (2G):



- يكون خط اللِحام أفقيًّا، والقطعة مثبتة رأسيًّا.
- التحدي الرئيسي هو تأثير الجاذبية في المعدن المنصهر.
- يتطلب التحكم في زاوية القطب وسرعة الحركة؛ لمنع الترهل.

3. الوضع العمودي (3G):

- يُعد من أكثر الأوضاع تحديًا، ويتطلب مهارة متقدمة.
- يُنفَّذ بطريقتين: عمودي صاعد، وعمودي هابط على النحو الآتي:
  - **اللِحام العمودي الصاعد** (Vertical Up (VU)): يُنفَّذ اللِحام من أسفل إلى أعلى، ويُستخدم غالبًا مع المواد السميكة؛ لما يوفّره من اختراق أفضل وتحكم أعلى في بركة الانصهار.
  - **اللِحام العمودي الهابط** (Vertical Down (VD)): يُنفَّذ اللِحام من أعلى إلى أسفل، ويُستخدم عادةً مع الصفائح الرقيقة لسرعة التنفيذ، ويتطلب سرعة حركة أعلى وتحكمًا دقيقًا في الانصهار؛ لتجنّب ترهّل معدن اللِحام.



اللحام العمودي الصاعد اللحام العمودي الهابط

ويوضح الجدول الآتي الفروقات الأساسية بين اللِحام العمودي الصاعد واللِحام العمودي الهابط وفق طبيعة العمل ومتطلبات الجودة:

العنصر	اللِحام العمودي الصاعد (Vertical-Up)	اللِحام العمودي الهابط (Vertical-Down)
اتجاه اللِحام	من الأسفل إلى الأعلى	من الأعلى إلى الأسفل
السّماكات المناسبة	متوسطة إلى سميكة	رقيقة
سرعة اللِحام	بطيئة نسبيًا	سريعة
زاوية القطب	مائلة للأعلى	مائلة للأسفل
نمط الحركة	تذبذب متحكم به	حركة بسيطة
مستوى الاختراق	عميق	محدود

العيوب الشائعة في لحام الوصلة التناكبية باختلاف الأوضاع
(Common Butt Joint Welding Defects in Different Welding Positions)

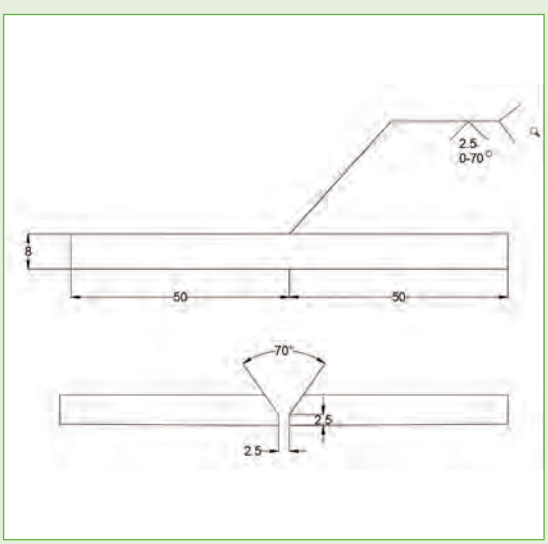
قد تظهر بعض العيوب أثناء لحام الوصلة التناكبية نتيجة اختلاف أوضاع اللِحام، أو سوء التحكم في المتغيرات الفنية، ويساعد تعرُّف هذه العيوب وأسبابها على تحسين أداء اللِحام وجودته، خاصة في الوضع المسطح، وتجنّب تكرارها في مختلف الأوضاع، ومن هذه العيوب ما يأتي:

- **الترهّل:** يحدث نتيجة ارتفاع درجة الحرارة، أو بطء سرعة اللِحام.
- **نقص الانصهار:** ينتج عن زاوية قطب غير صحيحة، أو حركة لحام غير منتظمة.
- **انعدام الاختراق:** يحدث بسبب انخفاض شدة التيار، أو عدم ملاءمة فجوة الجذر.
- **التشوّه:** ينتج عن توزيع غير متوازن للحرارة أثناء اللِحام.

لحام الوصلة التناكبية وفق معايير الجمعية الأمريكية للحام
(Butt Joint Welding in Accordance with AWS Standards)

يهدف هذا التطبيق إلى التدريب على تنفيذ وصلة تناكبية (Butt Joint) باستخدام طريقة اللِّحام بالقوس المعدني المغلف (SMAW)، مع الالتزام بمتطلبات الجودة ومعايير الجمعية الأمريكية للحام (AWS D1.1)؛ وذلك لضمان إنتاج وصلة ملحومة مطابقة للمواصفات الهندسية.

- **بيانات التجربة:**
- عملية اللحام: SMAW
- قطب اللحام: E6013 × 2.5 × 350
- وضعية اللحام: لحام سطحي - 1G
- القطبية: تيار مستمر موجب DC+
- مادة القطعة: فولاذ طري
- أبعاد القطعة: 150 × 50 × 8 mm
- نطاق زاوية الشطف: 0° - 70°
- وجه الجذر: 2.5 mm
- فجوة الجذر: 2.5 mm



الأدوات والمعدَّات المطلوبة للوصلة التناكبية
(Tools and Equipment Required for Butt Joint Welding)

تُعد الأدوات والمعدّات عُنصرًا أساسيًّا في نجاح عملية اللِحام، إذ تضمن الدقة والجودة والسلامة أثناء التنفيذ، ويعتمد اختيارها على نوع اللِحام المستخدم، وسَماكة المعدن، ومُتطلبات المشروع، لذلك يجب تجهيز المعدّات بعناية قبل بدء العمل؛ لضمان سير العملية بسلاسة وكفاءة عالية، ويوضح الجدول الآتي بعض الأدوات والمعدّات المطلوبة:

الفئة	الأداة / الجهاز	الاستخدام
معدَّات السلامة	خوذة اللَّحام (Welding Helmet).	حماية الوجه والعينين من الشرر والأشعة.
	القفازات والمريلة الجلدية (Leather Gloves & Apron).	حماية اليدين والجسم من الحرارة العالية.
	الأحذية الواقية (Safety Shoes).	حماية القدمين من المعدن الساخن.
	نظام التهوية (Ventilation System).	إزالة الأبخرة والدخان أثناء اللِّحام.
معدَّات الفحص	عدسة الفحص (Magnifier).	فحص سطح اللِّحام، والتأكد من خُلوه من العيوب.
أدوات التثبيت	المشابك اليدوية (C-Clamps/Angle Clamps).	تثبيت القِطَع المعدنية مؤقتًا أثناء التجميع واللِّحام.
أدوات القياس	المسطرة المعدنية (Steel Ruler).	قياس الأطوال والمسافات العامة بين القِطَع.
	المنقلة المعدنية (Protractor).	قياس زاوية ميل الحافة (Bevel Angle).
	المسطرة المربعة (Try Square).	قياس زاوية ميل الحافة (Bevel Angle).
أدوات التحضير	آلة القطع أو الصقل (Grinder/Cutter).	تجهيز الحواف وإزالة الزوائد أو الطلاء.
معدَّات اللِّحام	آلة لحام (SMAW).	تنفيذ عملية اللِّحام باستخدام الأقطاب المغطاة.
	حامل القطب (Electrode Holder).	نقل التيار الكهربائي إلى القطب أثناء اللِّحام.
	كابل أرضي (Ground Cable).	تأمين الدائرة الكهربائية، والتثبيت الأرضي لضمان السلامة.

خطوات التنفيذ وفق معيار الجمعية الأمريكية
(Steps for Butt Joint Welding Execution According to AWS D1.1)

قبل البدء بلحام الوصلة التناكبية، من المهم تجهيز القِطَع المعدنية تجهيزًا صحيحًا، واتباع الخطوات الأساسية بالتسلسل المناسب، ويساعد ذلك على الحصول على لحام قوي وخالٍ من العيوب، ويجعل الوصلة مطابقة للمعايير المطلوبة، وفيما يأتي الخطوات التي يجب اتباعها أثناء تنفيذ اللِحام:

- **تجهيز الحواف** (Edge Preparation): تجهيز حواف القطع بزاوية مقدارها (30°-37.5°) لكل حافة، ووجه جذر (Root Face) بمقدار (2.5 mm) باستخدام المبرد.
- **المحاذاة والتثبيت** (Alignment and Temporary Fixing): تثبيت القطع في محاذاة صحيحة مع ترك فجوة جذر (Root Gap) بمقدار (2.5 mm)، واستخدام لحام التثبيت (Tack Welds) لتثبيت القطعتين.
- **تنفيذ تمريرة الجذر** (Root Pass): تُنفَّذ تمريرة الجذر أولاً باستخدام القطب (E6013)، مع التحكم في طول القوس وسرعة الحركة؛ لضمان اختراق مناسب.
- **تنفيذ التمريرة الساخنة** (Hot Pass): تُنفَّذ مباشرة بعد تمريرة الجذر لإعادة تسخين منطقة الجذر، وتحسين الاندماج، ومعالجة أي عيوب سطحية بسيطة.
- **تنفيذ تمريرات الحشو** (Fill Passes): تُنفَّذ تمريرات الحشو تدريجيًّا لملء أخدود الوصلة حتى الاقتراب من مستوى السطح المطلوب.
- **تنفيذ تمريرة الغطاء** (Cap Pass): تُنفَّذ تمريرة الغطاء في المرحلة النهائية للحصول على سطح لحام منتظم ومظهر جيد للدرزة.
- **تنظيف اللِحام** (Cleaning): إزالة الخَبَث وتنظيف سطح اللِحام بين التمريرات وبعد الانتهاء من اللِحام.
- **الفحص البصري للحام** (Visual Inspection (VT)): إجراء الفحص البصري باستخدام أدوات الفحص والقياس؛ للتأكد من جودة اللِحام ومطابقته لمتطلبات المعيار (AWS D1.1).

إجراءات السلامة عند لحام الوصلة التناكبية
(Safety Procedúres for Butt Joint Welding)

تتطلب عملية لحام الوصلة التناكبية الالتزام التام بإجراءات السلامة؛ لضمان حماية الفنيين والحفاظ على جودة العمل، وتشمل هذه الإجراءات الآتي:

- ارتداء معدَّات الوقاية الشخصية الكاملة (خوذة اللِّحام، والقفازات، ومريلة اللِّحام، والأحذية الواقية).
- التأكد من سلامة التوصيل الأرضي وعدم وجود كابلات تالفة.
- إبعاد المواد القابلة للاشتعال عن منطقة اللِّحام.
- تهوية الورشة جيدًا؛ لتقليل تركيز الدخان والغازات.
- استخدام المشابك لتثبيت القِطَع، وعدم لمس المعدن الساخن.
- تجهيز مطفأة حريق مناسبة في موقع العمل.

الدرس الخامس

أعمال التشطيب بعد اللِحام

(Post-Weld Finishing Operations)

تُعد أعمال التشطيب بعد عمليات اللِحام مرحلة أساسية في العملية التصنيعية، حيث تهدف إلى تحسين جودة الوصلة الملحومة وضمان متانتها وسلامتها قبل دخولها مرحلة الاستخدام أو التجميع، وتُسهم هذه الأعمال في إزالة العيوب السطحية الناتجة عن عملية اللِحام، وتحسين المظهر النهائي للقطعة المعدنية، وتجهيزها لعمليات لاحقة، مثل: الدهان، أو الحماية من التآكل.

وتُنفَّذ أعمال التشطيب باستخدام أدوات ميكانيكية أو كيميائية، وفق معايير الجودة المعتمدة، مثل (ISO 3834)، التي تضمن مطابقة اللِحام للمتطلبات الفنية والصناعية، والالتزام الصارم بإجراءات السلامة أثناء تنفيذ هذه العمليات حفاظًا على صحة الفنيين وضمان جودة النتائج، وتشمل أعمال التشطيب بعد اللِحام مجموعة من العمليات المتتابعة، تُنفذ خطوة بخطوة بدءًا من إزالة الخَبَث، وصولاً إلى الفحص البصري النهائي للوصلة.

إزالة الخَبَث (Slag Removal)

تهدف عملية إزالة الخَبَث إلى تنظيف منطقة اللِحام من بقايا الخبث المتكونة أثناء عملية اللِحام، وذلك لإظهار خط اللِحام بوضوح والاستعداد لعمليات التشطيب والفحص اللاحقة، وتُنفذ هذه العملية باستخدام الأدوات الآتية:

- مطرقة إزالة الخَبَث (Chipping Hammer).
- الفرشاة السلكية (Wire Brush).
- آلة الصنفرة المعدنية (Angle Grinder) عند الحاجة.

ويُراعى الآتي أثناء التنفيذ:

- إزالة جميع الرواسب المحيطة بخط اللِحام، خاصة عند الحواف.
- استخدام الزاوية والقوة المناسبة أثناء الطرق، أو الكشط؛ لتجنب إتلاف معدن اللِحام، أو تشويه الحواف.

التنعيم والتشطيب السطحي (Grinding & Surface Finishing)

تهدف هذه المرحلة إلى تنعيم سطح اللِحام وإزالة النتوءات والحواف الحادة الناتجة عن عملية اللِحام، للحصول على سطح منتظم وآمن وسهل الاستخدام، حيث تسهم في تحسين المظهر العام للوصلة الملحومة، وتجهيز السطح لعمليات الدهان، أو الطلاء الواقي، وضمان سلامة القطعة المعدنية عند الاستخدام أو المناولة، وتشمل هذه المرحلة ما يأتي:

- استخدام آلة الصقل زاوية (Angle Grinder) مع أقراص صنفرة/تنعيم مناسبة لنوع المعدن.
- تنعيم سطح اللِحام لتوحيد شكله، وتقليل الارتفاعات غير المرغوبة.
- إزالة الزوايا الحادة التي قد تشكل خطرًا أثناء التداول، أو التركيب.

التلميع (Polishing)

يُستخدم التلميع لتحسين نعومة سطح اللِحام وتقليل خشونته وتحسين مظهره العام، دون التأثير في متانة الوصلة أو إزالة معدن اللِحام بإفراط، وتقليل احتمالية تجمع الأوساخ، أو بدء التآكل وتُنفذ هذه العملية باستخدام الأدوات الآتية:

- فرش سلكية ناعمة.
- أقراص صنفرة دقيقة.
- أقراص تلميع قماشية عند توفرها.

الفحص البصري بعد التشطيب (Visual Inspection)

يُجرى الفحص البصري بعد الانتهاء من جميع أعمال التشطيب؛ بهدف التأكد من جودة الوصلة الملحومة ومطابقتها للمتطلبات الفنية، والتحقق من أن شكل اللِحام النهائي مناسب من حيث المظهر والأبعاد والسلامة، ويشمل الفحص التأكد من خلو الوصلة من العيوب الظاهرة مثل: التشققات (Cracks)، أو المسامية (Porosity)، أو الحفر الجانبية (Undercut)، ويُقيَّم شكل اللِحام النهائي من حيث الآتي:

- انتظام خط اللِحام واستقامته.
- اتساق عرض وارتفاع اللِحام على طول الوصلة.
- نعومة السطح وعدم وجود نتوءات، أو حواف حادة.
- توافق شكل اللِحام مع متطلبات الاستخدام، أو الرسم الهندسي إن وُجد.
- الأدوات المستخدمة في الفحص البصري وشكل اللِحام النهائي.

تُوثَّق نتائج الفحص في نماذج الجودة المعتمدة (QA/QC)، تأكيدًا لجودة العمل واعتماديته وإمكانية الرجوع إليها عند الحاجة.

وتُستخدم في هذه المرحلة أدوات فحص بسيطة وشائعة في ورش اللِحام، منها ما يأتي:

- المسطرة: لقياس استقامة اللِحام والتحقق من انتظام الحواف.
- مقياس اللِحام اليدوي (Weld Gauge): لقياس عرض وارتفاع اللِحام وعمق الحفر الجانبية إن وُجدت.
- الفرشاة السلكية: لإزالة أي بقايا دقيقة قد تؤثر في وضوح الفحص.
- مصدر إضاءة مناسب (كشاف يدوي): لتحسين الرؤية وكشف العيوب السطحية الدقيقة.
- عدسة مكبرة بسيطة (عند الحاجة): لفحص التفاصيل الدقيقة في خط اللِحام.

أسئلة الوحدة

1. اشرح أهمية تحضير المواد قبل تنفيذ عملية القطع.
2. قارن بين القطع اليدوي والقطع الحراري من حيث مجالات الاستخدام والدقة.
3. ما الفرق بين القطع بالأوكسي-أسيتيلين والقطع بالبلازما من حيث المبدأ والتطبيق؟
4. اذكر ثلاثة معايير لجودة القطع.
5. ما إجراءات السلامة المطلوبة أثناء عمليات القطع الحراري؟
6. ما تأثير اللِحام في أسطح غير نظيفة في جودة الوصلة الملحومة؟
7. اذكر ثلاثة أخطاء قد تنتج عن عدم ضبط المحاذاة قبل عملية اللِحام.
8. اشرح خطوات إعداد جهاز اللِحام (SMAW) قبل التشغيل.
9. ما تأثير التيار الزائد في شكل وسلامة اللِحام؟
10. ما المقصود بالوصلة التناكبية (Butt Joint)؟
11. لماذا يُعد تجهيز الحواف قبل لحام الوصلة التناكبية خطوة أساسية؟
12. ما الغرض من ترك فجوة الجذر (Root Gap) في الوصلة التناكبية؟
13. اذكر تمريرتين من تمريرات لحام الوصلة التناكبية بالترتيب.

14 ما أهمية الفحص البصري للحام بعد الانتهاء من تنفيذ الوصلة التناكبية؟

15 ما زاوية القطب المناسبة للحام في الوضعية الأفقية؟

16 لماذا تُعد زاوية القطب مهمة في اللِحام الأفقي؟

17 ما أسباب حدوث عيب التقطع أثناء اللِحام؟

18 لماذا يجب تثبيت القطعتين جيدًا قبل اللِحام؟

19 لماذا يعد التحكم بالحرارة مهمًا في الوضع العمودي؟

20 ما زاوية القطب المناسبة للحام العمودي الصاعد؟

21 لماذا يمنع الوقوف أسفل منطقة اللِحام أثناء العمل؟

22 لماذا يحتاج اللِحام العمودي إلى تيار أقل مقارنة بالأوضاع الأخرى؟

23 لماذا تُعد إزالة الخَبَث خطوة مهمة بعد الانتهاء من عملية اللِحام؟

24 كيف تسهم أعمال التشطيب في تحسين متانة ومظهر اللِحام؟

الوحدة الثالثة

عيوب اللِحام وفحص المكوناتَ الملحومة

Weld Defects and Inspection of Welded Components

محتويات الوحدة الثالثة

الدرس الأول

عيوب اللِحام
(Weld Defects) 75

الدرس الثاني

الوقاية من عيوب اللِحام
(Prevention of Welding Defects) 86

الدرس الثالث

الفحص البصري وتقنيات التقييم
(Visual Inspection and Evaluation Techniques) 91

الدرس الرابع

الاختبارات غير الإتلافية للحام
(Non-Destructive Testing of Welds) 100

الدرس الخامس

الاختبارات الإتلافية للحام
(Destructive Testing of Welds) 104

أسئلة الوحدة 109

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتَّبع قواعد الصحة والسلامة المهنية في الورش التدريبية.
- يعرف الفرق بين عيوب اللِحام وعدم الاستمرارية.
- يحدد الأنواع الشائعة لعيوب اللِحام.
- يشرح الأسباب الرئيسية لحدوث عيوب اللِحام.
- يفسر تأثير عيوب اللِحام في احتمالية فشل الوصلة أثناء الخدمة.
- يوضح أهمية التعرف المبكر على عيوب اللِحام.
- يعرف مفهوم الوقاية من عيوب اللِحام.
- يوضح دور مهارة اللحّام وخبرته في تقليل حدوث عيوب اللِحام.
- يعرف مفهوم الفحص البصري للحام.
- يحدد مراحل الفحص البصري.
- يعدد العيوب التي يمكن اكتشافها بالفحص البصري.
- يعرف مفهوم الاختبارات غير الإتلافية للحام.
- يذكر أهمية الكشف عن العيوب السطحية والداخلية.
- يميّز بين أنواع الاختبارات غير الإتلافية.
- يوضح حدود وقيود الاختبارات غير الإتلافية.
- يعرف مفهوم الاختبارات الإتلافية للحام.
- يذكر أهمية الاختبارات الإتلافية في تقييم جودة الوصلات.
- يميّز بين أنواع الاختبارات الإتلافية.
- يفسر نتائج الاختبارات الإتلافية.

ملخص الوحدة

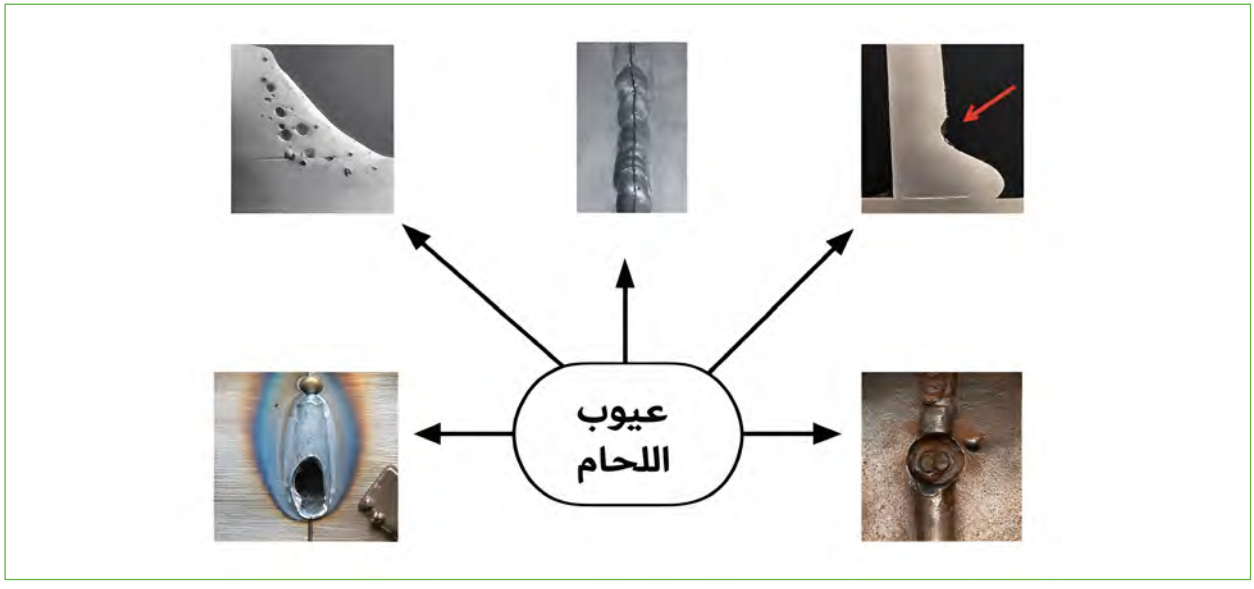
تركّز هذه الوحدة على تزويد الطلبة بالمعارف والمهارات اللازمة لفهم عيوب اللِحام وفحص المكونات الملحومة، وتمكينهم من التمييز بين عدم الاستمرارية وعيوب اللِحام، وتعرُّف الأنواع الشائعة للعيوب السطحية والداخلية وأسباب حدوثها وتأثيرها في متانة الوصلات وقوتها أثناء الخدمة، وتهدف الوحدة إلى ترسيخ فهم إجراءات الوقاية من عيوب اللِحام وأهمية الإعداد الجيد وضبط متغيرات اللِحام ودور مهارة اللحّام في تقليل العيوب، إلى جانب استعراض الفحص البصري وتقنيات التقييم، والاختبارات الإتلافية وغير الإتلافية، وفهم مبدأ عمل كل منها واستخدامها في الكشف عن العيوب الميكانيكية والداخلية.

عيوب اللِحام

(Weld Defects)

يُعد اللِحام من أهم العمليات الصناعية المستخدمة في تجميع وتشكيل الأجزاء المعدنية، حيث تعتمد قوة المنشآت والمعدات وسلامتها اعتمادًا كبيرا على جودة الوصلات الملحومة، ولكي تكون الوصلة الملحومة صالحة للاستخدام، يجب تنفيذها وفق المعايير الفنية الصحيحة، وأن تكون مناسبة للغرض الذي صُمِّمت من أجله.

أثناء عملية اللِحام قد تظهر عيوب مختلفة تؤثر في قوة الوصلة ومتانتها تصنف إلى عدم الاستمرارية وعيوب اللِحام، وقد تؤدي إلى فشلها أثناء التشغيل، وتحدث هذه العيوب غالبًا بسبب سوء تحضير المعادن، أو اختيار إعدادات لحام غير مناسبة، أو ضعف مهارة اللحّام، أو عدم الالتزام بإجراءات العمل الصحيحة.



عيوب اللحام (Weld Defects):

هي أي خلل أو عدم انتظام في الوصلة الملحومة يقلل من مقاومتها الميكانيكية أو جودتها، ويؤثر في أدائها عند تعرضها للأحمال أو الظروف التشغيلية، وقد تكون سطحية أو داخلية، ويُكشف عنها إما بالفحص البصري، أو بواسطة اختبارات فحص متقدمة.

وتكمن أهمية تعرُّف عيوب اللِحام وعدم الاستمرارية في اللِحام في الآتي:

- ضمان سلامة المنشآت والمعدات وحماية الأفراد.
- تقليل تكاليف الإصلاح وإعادة العمل والهدر.
- تحسين جودة الإنتاج ورفع كفاءة الأداء.
- الالتزام بالمواصفات والمعايير الدولية وضمان الاعتمادية أثناء الخدمة.

عدم الاستمرارية في اللِّحام
(Welding Discontinuities):

هو أي انقطاع، أو عدم انتظام يظهر في معدن اللِّحام أو المعدن الأساس أو المنطقة المتأثرة بالحرارة، وقد يكون مقبولاً أو غير مقبول، وذلك بحسب نوعه وحجمه وتأثيره، ووفقًا لمعايير ومواصفات اللِّحام المعتمدة.

وتختلف درجة فحص الوصلات الملحومة حسب نوع الاستخدام؛ فالأعمال البسيطة، مثل: البوابات، والأسوار لا تتطلب نفس مستوى الفحص الذي تحتاج إليه التطبيقات الصناعية المهمة، مثل: خطوط الأنابيب، وخزانات الوقود، وأنظمة نقل النفط والغاز، والمنشآت الصناعية، والهياكل المعدنية الثقيلة، ومحطات الطاقة؛ لذلك، قد تكون وصلة لحام مقبولة في تطبيق معيّن، لكنها غير مناسبة لتطبيق آخر يتطلب مستوى أعلى من السلامة والجودة.

وفي حالات عدم الاستمرارية غير المقبولة التي تتجاوز الحدود المسموح بها في المعايير الفنية، تتأثر جودة الوصلة الملحومة أو متانتها أو سلامتها سلبًا؛ مما يتطلب الرفض أو الإصلاح.

كل عيب لحام هو عدم استمرارية، ولكن ليس كل عدم استمرارية يُعد عيبًا.

تصنيف عيوب اللحام وعدم الاستمرارية
(Classification of Welding Defects and Discontinuities)

يُعد الكشف المبكر عن عيوب اللِحام خطوة أساسية في ضمان جودة الوصلات الملحومة وسلامتها، ويعتمد الكشف المبكر على الملاحظة الدقيقة أثناء مراحل العمل المختلفة، واستخدام وسائل فحص بسيطة قبل اللجوء إلى الاختبارات المتقدمة، وتصنّف عيوب اللِحام على النحو الآتي:

أولاً: العيوب السطحية (Surface Welding Defects):

هي العيوب التي تظهر على سطح اللحام، ويمكن اكتشافها غالبًا بواسطة الفحص البصري (VT)، ويجب معالجة جميع عيوب اللِحام وفقًا لمتطلبات الكود والمعايير المعتمدة (AWS - ISO - ASME)، ولا يُسمح بقبول أي وصلة تحتوي على عيوب تؤثر في السلامة أو المتانة مثل:

- الشقوق السطحية (Surface Cracks).
- المسامية السطحية (Surface Porosity).
- النقر السفلي (Undercut).
- التراكب (Overlap).
- الرذاذ/البخبخة (Spatter).
- ضربة القوس الكهربائي (Arc Strike).
- عدم انتظام شكل خرزة اللِحام (Irregular Weld Bead/Poor Appearance).
- زيادة أو نقص معدن الحشو (Excessive or Insufficient Weld Metal).

ثانيًا: العيوب الداخلية (Internal Welding Defects):

هي العيوب التي تتكون داخل معدن اللِحام، أو في منطقة التأثير الحراري (Heat-Affected Zone (HAZ))، ولا يمكن اكتشاف معظم العيوب الداخلية بالفحص البصري (VT)، ويستلزم ذلك استخدام الاختبارات غير الإتلافية (NDT) وفق المعايير المعتمدة، مثل:

- المسامية الداخلية (Internal Porosity).
- الشقوق الداخلية (Internal Cracks).
- نقص الاندماج (Lack of Fusion).
- عدم الاختراق الكامل (Incomplete Penetration).
- شوائب الخَبَث المحتبسة (Slag Inclusion).

- **ثالثًا: عيوب متعلقة بالاختراق والانصهار (Penetration & Fusion Defects):**

هي عيوب تؤثر مباشرة في قوة الوصلة ومتانتها، وتُعد من أخطر عيوب اللِحام، وغالبًا لا يمكن اكتشافها بالفحص البصري فقط، ويجب التحقق منها باستخدام الاختبار بالموجات فوق الصوتية (UT)، أو التصوير الإشعاعي (RT)، وفق متطلبات الكود والمعايير المعتمدة، مثل:

- عدم الاختراق الكامل (Incomplete Penetration).
- عدم الانصهار (Lack of Fusion).
- ضعف اختراق الجذر (Poor Root Penetration).

- **رابعًا: عيوب ناتجة عن الإجهادات الحرارية (Thermal Stress Defects):**

تنتج هذه العيوب بسبب التمدد والانكماش غير المنتظم أثناء عمليات التسخين والتبريد، وتُعد عيوب الإجهادات الحرارية من العيوب الخطيرة التي قد لا تظهر مباشرة بعد اللِحام، ويجب أخذها بعين الاعتبار أثناء التصميم والتنفيذ والفحص؛ لضمان سلامة الوصلات الملحومة، مثل:

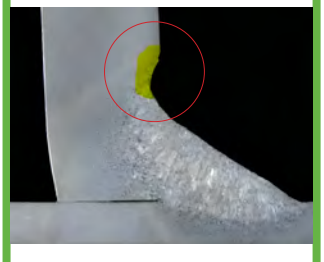
- الشقوق الساخنة (Hot Cracks).
- الشقوق الباردة (Cold Cracks).
- التشوهات والانبعاجات (Distortion and Warping).

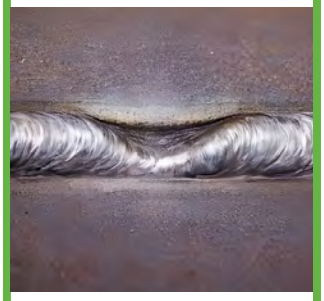
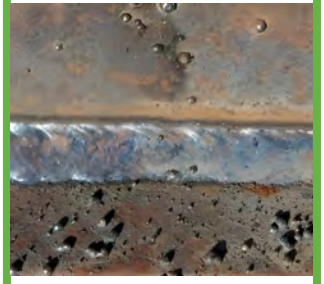
- **خامسًا: عيوب ناتجة عن أخطاء التشغيل والإعداد (Operational & Setup Defects):**

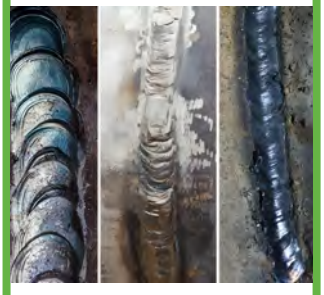
ترتبط هذه العيوب بإعدادات اللِحام غير الصحيحة، أو بمهارة اللحّام، وتُعد من أكثر العيوب شيوعًا، ويمكن الحد منها من خلال التدريب الجيد، والالتزام بإجراءات اللِحام المعتمدة (WPS)، مثل:

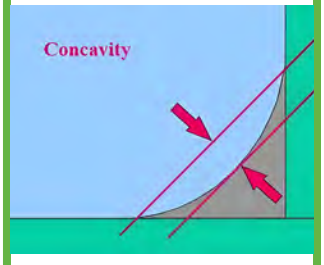
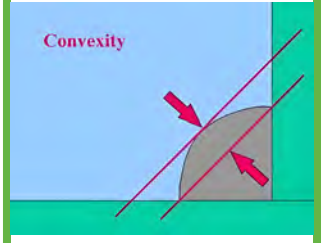
- تيار لحام غير مناسب (Incorrect Welding Current).
- زاوية قطب خاطئة (Incorrect Electrode Angle).
- سرعة لحام غير صحيحة (Improper Welding Speed).
- طول قوس غير مناسب (Incorrect Arc Length).

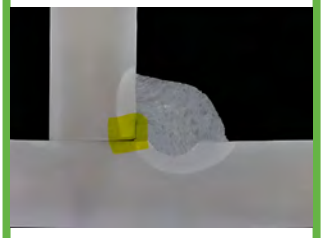
يوضح الجدول الآتي أهم عيوب اللِحام الشائعة، مع بيان وصف كل عيب وأسبابه الرئيسية وتأثيره في جودة الوصلة الملحومة:

العيب	الوصف	الأسباب	الحلول/الوقاية	شكل توضيحي
الشقوق (Cracks)	ظهور فراغات، أو ثقوب صغيرة داخل معدن اللِحام، أو على سطحه نتيجة احتباس الغازات أثناء التصلب.	■ رطوبة في الأقطاب أو أسلاك اللِحام. ■ تلوث سطح المعدن بالزيوت أو الصدأ. ■ ضعف الحماية الغازية. ■ طول قوس غير مناسب.	■ تجفيف الأقطاب جيدًا. ■ تنظيف الوصلة قبل اللِحام. ■ ضبط تدفق الغاز الواقي. ■ التحكم في طول القوس وزاوية القطب.	
المسامية (Porosity)	تصدعات تظهر في معدن اللِحام أو منطقة التأثير الحراري، وقد تكون سطحية أو داخلية.	■ إجهادات حرارية عالية. ■ محتوى هيدروجين مرتفع. ■ سرعة تبريد عالية. ■ تصميم وصلة غير مناسب.	■ التسخين المسبق عند الحاجة. ■ استخدام أقطاب منخفضة الهيدروجين، مثل: (E7018). ■ التحكم في التبريد. ■ تحسين تصميم الوصلة.	
النقر السفلي/ نقص المعدن عند حافة اللحام (Undercut)	أخدود أو نقص في معدن الأساس بجانب خط اللِحام دون أن يُملأ بمعدن الحشو.	■ تيار لحام مرتفع. ■ سرعة لحام عالية. ■ زاوية قطب غير صحيحة. ■ قوس لحام طويل.	■ تقليل التيار. ■ ضبط سرعة اللِحام. ■ تصحيح زاوية القطب. ■ التحكم في طول القوس.	

العيب	الوصف	الأسباب	الحلول/الوقاية	شكل توضيحي
نقص معدن اللِحام (Underfill)	يحدث عندما يكون مستوى معدن اللِحام أقل من سطح المعدن الأساسي، مما يؤدي إلى تقليل سماكة المقطع الفعال للوصلة وضعف مقاومتها للأحمال.	■ سرعة لحام عالية. ■ تيار منخفض. ■ نقص معدن الحشو. ■ تمريرات غير كافية.	■ تقليل سرعة اللِحام. ■ زيادة التيار المناسب. ■ إضافة تمريرات أو معدن حشو كافٍ. ■ الالتزام بإجراءات اللِحام المعتمدة (WPS).	
التراكب (Overlap)	معدن اللِحام يفيض في السطح دون اندماج صحيح مع المعدن الأساسي.	■ سرعة لحام منخفضة. ■ تيار غير مناسب. ■ زاوية قطب غير صحيحة.	■ زيادة سرعة اللِحام. ■ ضبط التيار. ■ تصحيح زاوية القطب.	
الرذاذ/ البخبخة (Spatter)	تطاير قطرات صغيرة من معدن اللِحام والتصاقها حول منطقة اللِحام.	■ إعدادات تيار أو جهد غير صحيحة. ■ طول قوس غير مناسب. ■ أقطاب أو أسلاك لحام غير مناسبة.	■ ضبط التيار والجهد. ■ التحكم في طول القوس. ■ اختيار مواد لحام مناسبة.	

العيب	الوصف	الأسباب	الحلول/الوقاية	شكل توضيحي
ضربة القوس الكهربائي (Arc Strike)	آثار انصهار موضعي على سطح المعدن ناتجة عن إشعال القوس خارج منطقة اللِحام.	■ إشعال القوس في مكان غير مخصص. ■ ضعف التحكم في حامل القطب. ■ قلة خبرة اللحّام.	■ إشعال القوس داخل منطقة اللِحام فقط. ■ تحسين مهارة التحكم بحامل القطب. ■ إزالة الأثر وطحن المنطقة المتضررة عند الحاجة.	
عدم انتظام شكل اللِحام (Irregular Weld Bead/Poor Appearance)	عدم تجانس أو انتظام في شكل خرزة اللِحام من حيث العرض، أو الارتفاع، أو التموج؛ مما يؤدي إلى مظهر غير مقبول للحام.	■ سرعة لحام غير ثابتة. ■ زاوية قطب غير صحيحة. ■ تيار لحام غير مناسب. ■ ضعف مهارة اللحّام. ■ عدم استقرار القوس.	■ تثبيت سرعة اللِحام. ■ تصحيح زاوية القطب. ■ ضبط التيار والجهد المناسبين. ■ تحسين مهارة التحكم بحركة القطب. ■ الالتزام بإجراءات اللِحام المعتمدة (WPS).	

العيب	الوصف	الأسباب	الحلول/الوقاية	شكل توضيحي
زيادة تعزيز اللِحام (Excessive Reinforce-ment)	زيادة ارتفاع معدن اللِحام عن الحد المسموح به، حيث يجب ألا يتجاوز (3 mm)، لما يسببه من تركيز للإجهادات وضعف في الأداء والمظهر.	■ تيار مرتفع. ■ سرعة لحام منخفضة. ■ زيادة معدن الحشو.	■ ضبط التيار والسرعة. ■ تقليل معدن الحشو. ■ الالتزام بإجراءات اللِحام المعتمدة (WPS).	
تقعر سطح اللِحام (Concavity)	انخفاض سطح اللِحام إلى الداخل (مقعّر)؛ مما يقلل من مساحة المقطع الفعال ويؤثر سلبًا في متانة الوصلة.	■ تيار منخفض. ■ سرعة عالية. ■ نقص معدن الحشو.	■ زيادة التيار المناسب. ■ تقليل السرعة. ■ إضافة معدن حشو كافٍ.	
تحدب سطح اللِحام (Convexity)	بروز مفرط لسطح اللِحام إلى الخارج (محدّب)، يؤدي إلى تركيز الإجهادات وضعف الخصائص الميكانيكية للوصلة.	■ سرعة منخفضة. ■ زيادة معدن الحشو. ■ تحكم ضعيف.	■ ضبط سرعة اللِحام. ■ تقليل معدن الحشو. ■ تحسين حركة القطب.	

العيب	الوصف	الأسباب	الحلول/الوقاية	شكل توضيحي
نقص الاندماج (Lack of Fusion)	عدم التحام معدن اللِحام مع معدن الأساس، أو بين طبقات اللِحام داخل الوصلة.	■ طاقة حرارية غير كافية. ■ سرعة لحام عالية. ■ زاوية قطب غير صحيحة. ■ وجود خَبَث، أو شوائب بين الطبقات.	■ زيادة الطاقة الحرارية المناسبة. ■ تقليل سرعة اللِحام. ■ تصحيح زاوية القطب. ■ تنظيف الوصلة والطبقات جيدًا بين التمريرات.	
عدم الاختراق الكامل (Lack of Penetration)	عدم وصول معدن اللِحام إلى الجذر الكامل للوصلة؛ مما يقلل من مساحة التحميل الفعالة.	■ فجوة جذر غير مناسبة. ■ تيار لحام منخفض. ■ تصميم وصلة غير صحيح. ■ قُطر قطب غير مناسب.	■ تحسين تصميم الجذر. ■ زيادة التيار المناسب. ■ اختيار قُطر القطب الصحيح. ■ ضبط وضعية اللِحام.	

العيب	الوصف	الأسباب	الحلول/الوقاية	شكل توضيحي
شوائب الخَبَث (Slag Inclusion)	وجود بقايا الخَبَث داخل معدن اللِحام، أو بين طبقاته؛ مما يضعف الترابط الداخلي.	■ عدم تنظيف الخَبَث بين التمريرات. ■ زاوية قطب غير صحيحة. ■ سرعة لحام غير مناسبة. ■ طاقة حرارية غير كافية.	■ تنظيف الخَبَث جيدًا بين كل طبقة وأخرى. ■ تصحيح زاوية الصقل والأدوات اللازمة. ■ ضبط سرعة اللِحام والطاقة الحرارية. ■ الالتزام بإجراءات اللِحام المعتمدة (WPS).	
التشوهات/ الانبعاجات (Distor-tion)	تغير في شكل، أو أبعاد القطعة الملحومة نتيجة التمدد والانكماش غير المتساوي أثناء اللِحام.	■ توزيع غير متوازن للحرارة. ■ تسلسل لحام غير صحيح. ■ تثبيت غير كافٍ للقطعة. ■ طول لحام كبير دون تحكم حراري.	■ استخدام تسلسل لحام مناسب. ■ تثبيت ومحاذاة القطعة جيدًا قبل اللِحام. ■ التحكم في إدخال الحرارة. ■ تطبيق لحامات متقطعة عند الحاجة.	

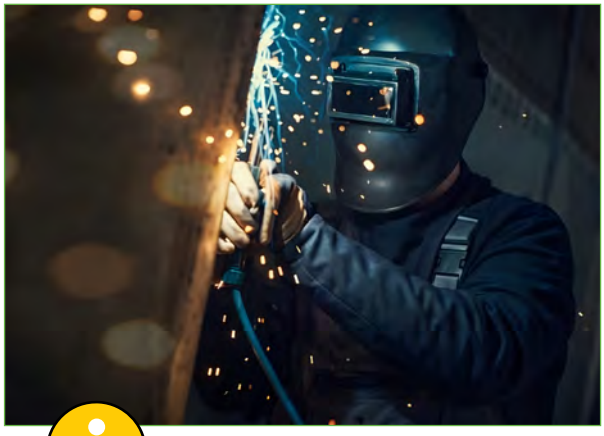
العيب	الوصف	الأسباب	الحلول/الوقاية	شكل توضيحي
عدم تطابق الحواف (Misalign-ment/ Hi-Lo)	عدم محاذاة أو تساوي حواف القِطع المعدنية المراد لحامها، بحيث تكون إحدى الحافتين أعلى، أو أقل من الأخرى قبل، أو أثناء عملية اللِحام.	■ تثبيت غير صحيح للأجزاء. ■ محاذاة ضعيفة قبل اللِحام. ■ اختلاف سماكة القِطع.	■ تحسين المحاذاة قبل اللِحام. ■ تثبيت جيد باستخدام الجيجات، أو المشابك. ■ الالتزام بحدود المحاذاة حسب الكود.	

الوقاية من عيوب اللِحام

(Prevention of Welding Defects)

تُعد الوقاية من عيوب اللِحام عنصرًا أساسيًا في ضبط واستقرار عملية اللِحام، إذ تسهم في الحد من الانحرافات التشغيلية التي قد تؤدي إلى ظهور العيوب أثناء التنفيذ، وتعتمد الوقاية على التحكم المنهجي في متغيرات اللِحام، والإعداد الجيد للوصلة، والمتابعة المستمرة للأداء أثناء العمل، بما يضمن ثبات مستوى الجودة الفنية للوصلات الملحومة.

وتساعد الوقاية من العيوب على تقليل الاعتماد على المعالجة اللاحقة وإجراءات الإصلاح، وتحسين انسيابية سير العمل في الورش والمواقع الصناعية، وتحقيق أداء أكثر انتظامًا وموثوقية لعمليات اللِحام، بما يتوافق مع متطلبات أنظمة الجودة المعتمدة.



الوقاية من عيوب اللحام تعني اتخاذ مجموعة من الإجراءات الفنية والتنظيمية التي تهدف إلى منع ظهور العيوب قبل حدوثها، وذلك من خلال الإعداد الجيد للوصلة، وضبط متغيرات اللحام، واستخدام المواد والمعدات المناسبة، والالتزام بإجراءات العمل القياسية.

إجراءات الوقاية من عيوب اللحام
(Preventive Measures for Welding Defects)

تمثل إجراءات الوقاية من عيوب اللِحام إطارًا عمليًا يهدف إلى التحكم في العوامل المؤثرة في جودة اللِحام والحد من الأخطاء قبل حدوثها من خلال الإعداد السليم، وضبط متغيرات العملية، وتطبيق الممارسات الصحيحة أثناء التنفيذ، وتسهم هذه الإجراءات مباشرة في رفع كفاءة العمل، حيث يؤدي الالتزام بها منذ المراحل الأولى إلى تقليل أعمال الإصلاح وإعادة اللِحام، وتحسين إنتاجية اللِحام، والحد من الهدر في الوقت والمواد، وتعزز الوقاية موثوقية الوصلات الملحومة، وتقلل الحاجة إلى الفحوصات المتقدمة والاختبارات المكلفة في المراحل اللاحقة، بما يضمن الحصول على وصلات آمنة ومطابقة للمواصفات والمعايير المعتمدة، وتتمثل إجراءات الوقاية من عيوب اللِحام في الآتي:

أولاً: التحضير الجيد قبل اللحام

يُعد التحضير المسبق للوصلة الخطوة الأولى والأساسية في الوقاية من عيوب اللِحام، حيث يؤثر مباشرة في جودة الانصهار واستقرار الوصل، ويشمل ما يأتي:

- تنظيف أسطح الوصلات من الزيوت، والشحوم، والصدأ، والرطوبة.
- اختيار تصميم الوصلة المناسب من حيث زاوية الحافة وفجوة الجذر.
- تثبيت ومحاذاة القِطع تثبيتا صحيحا قبل اللِحام.
- التأكد من جاهزية المعدات وأدوات اللِحام قبل البدء بالعمل.

ثانيًا: ضبط متغيرات اللحام

يُعد الضبط الصحيح لمتغيرات اللِحام عاملاً حاسمًا في منع ظهور العيوب أثناء التنفيذ، إذ يؤثر مباشرة في جودة الانصهار وقوة الوصلة، ويشمل ما يأتي:

- اختيار التيار والجهد المناسبين حسب نوع القُطب وسُمك المعدن.
- ضبط سرعة اللِحام بما يحقق انصهارًا متوازنًا.
- التحكم في طول القوس وزاوية القطب.
- الالتزام بإجراء اللِحام المعتمد أثناء التنفيذ.

ثالثًا: التعامل الصحيح مع مواد اللحام

يسهم الاستخدام السليم لمواد اللِحام في الحد من العديد من العيوب المرتبطة بالمسامية والتشققات وضعف جودة الوصلة، ويشمل ما يأتي:

- تخزين الأقطاب وأسلاك اللِحام في بيئة جافة ومناسبة.
- تجفيف الأقطاب عند الحاجة وفق تعليمات الشركة المصنعة.
- اختيار نوع القطب، أو السلك المناسب لنوع المعدن الأساسي.
- التأكد من صلاحية مواد اللِحام قبل استخدامها.

رابعًا: التحكم في الحرارة

يؤدي التحكم في إدخال الحرارة دورًا مهمًّا في الوقاية من العيوب الناتجة عن الإجهادات الحرارية والتشوهات، ويشمل ما يأتي:

- استخدام التسخين المسبق عند لحام المعادن الحساسة للتشقق.
- التحكم في درجة الحرارة بين التمريرات.
- تنظيم إدخال الحرارة أثناء اللِحام.
- السماح بالتبريد التدريجي بعد الانتهاء من اللِحام.

خامسًا: مهارة وخبرة اللحّام

تُعد مهارة اللحّام وخبرته من العوامل الأساسية في تحقيق لحام خالٍ من العيوب، إذ يرتبط الأداء اليدوي مباشرة بجودة الوصلة، ويشمل ما يأتي:

- التدريب الجيد على أوضاع اللِحام المختلفة.
- الالتزام بتقنيات الحركة الصحيحة للقطب.
- التحكم في سرعة اللِحام وطول القوس.
- المحافظة على ثبات الحركة أثناء اللِحام.
- الالتزام بتعليمات السلامة وإجراءات العمل المعتمدة.

الكشف المبكر عن العيوب (Early Detection of Defects)

يُعد الكشف المبكر عن عيوب اللِحام خطوة أساسية في ضمان جودة الوصلات الملحومة وسلامتها، حيث يسهم في اكتشاف العيوب في مراحلها الأولى قبل أن تتطور إلى عيوب خطيرة قد تؤدي إلى فشل الوصلة، أو زيادة تكاليف الإصلاح وإعادة العمل، ويعتمد الكشف المبكر على الملاحظة الدقيقة أثناء مراحل العمل المختلفة، واستخدام وسائل فحص بسيطة قبل اللجوء إلى الاختبارات المتقدمة.

وتُتبع المراحل الآتية للكشف المبكر عن عيوب اللِحام:

- **قبل اللِحام:** التحقق من تصميم الوصلة، ونظافة السطح، وفجوة الجذر، ونوع مواد اللِحام.
- **أثناء اللِحام:** مراقبة استقرار القوس، وشكل بركة اللِحام، وسلوك المعدن أثناء الانصهار.
- **بعد اللِحام:** ملاحظة شكل خرزة اللِحام، ووجود تشققات أو مسامية سطحية، وانتظام الأبعاد.

وتدل المؤشرات المبكرة الآتية على وجود عيوب، مثل:

- عدم انتظام شكل خرزة اللِحام.
- تناثر معدن مفرط، أو غير طبيعي.
- تغير لون معدن اللِحام أو منطقة التأثير الحراري.
- تبريد غير متوازن، أو تشوه مبكر للقطعة.

يسهم الكشف المبكر عن العيوب في تقليل الحاجة إلى اختبارات متقدمة لاحقًا، ويدعم نظام ضبط الجودة من خلال تحسين كفاءة العمل وضمان الالتزام بالمواصفات والمعايير المعتمدة.

الفحص البصري وتقنيات التقييم

(Visual Inspection and Evaluation Techniques)

يُعد الفحص البصري للحام أول خطوة في تقييم جودة الوصلات الملحومة، حيث يُجرى قبل اللِحام وأثناءه وبعد الانتهاء منه، ويساعد هذا الفحص على اكتشاف العيوب السطحية الظاهرة بسرعة وسهولة، وبتكلفة منخفضة مقارنة بطرق الفحص الأخرى.

ويعتمد الفحص البصري على ملاحظة شكل اللِحام وسطحه بالعين المجردة، أو باستخدام أدوات بسيطة، بهدف التأكد من سلامة اللِحام ومطابقته للمواصفات الفنية المعتمدة، ويُعَد الفحص البصري الأساس الذي تُبنى عليه بقية طرق الفحص غير الإتلافي، وقد يكون في بعض الأعمال الوسيلة الوحيدة لفحص اللِحام، خاصة في التطبيقات البسيطة، أو غير الحرجة.

وتكمن أهمية الفحص البصري في كونه وسيلة فعّالة وسريعة لتقييم جودة اللِحام، ويسهم في الآتي:

- الكشف المبكر عن العيوب السطحية الظاهرة.
- تقليل تكاليف إعادة العمل والإصلاح.
- تحسين جودة اللِحام والمظهر العام للوصلة.
- التأكد من الالتزام بالمواصفات والمعايير المعتمدة.
- رفع مستوى السلامة أثناء التشغيل.
- دعم نظام ضبط وضمان الجودة في أعمال اللِحام.

الفحص البصري (Visual Testing (VT)):
هو أسلوب من أساليب الفحص غير الإتلافي يعتمد على ملاحظة الوصلة الملحومة بصريًا، باستخدام العين المجردة أو أدوات مساعدة؛ للتحقق من جودة اللِحام واكتشاف العيوب السطحية الظاهرة.

مراحل الفحص البصري (Stages of Visual Weld Inspection)

يُجرى الفحص البصري للحام عبر مراحل متتابعة تغطي جميع مراحل تنفيذ الوصلة الملحومة، ويهدف هذا التسلسل إلى ضمان جودة اللِحام وسلامته، واكتشاف العيوب في الوقت المناسب قبل تطورها أو تأثيرها في أداء الوصلة، ويساعد الالتزام بهذه المراحل على تحقيق متطلبات الجودة والمطابقة للمواصفات المعتمدة.

- **أولاً: الفحص قبل اللِحام (Pre-Weld Visual Inspection):**

يهدف هذا الفحص إلى التأكد من جاهزية الوصلة والتهيئة الصحيحة قبل البدء بعملية اللِحام، حيث إن أي خلل في هذه المرحلة قد يؤدي إلى ظهور عيوب يصعب معالجتها لاحقًا، ويشمل ما يأتي:

- التأكد من نظافة أسطح الوصلة وخلوها من الزيوت، والشحوم، والصدأ، والرطوبة.
- التحقق من صحة تصميم الوصلة من حيث زاوية الحواف وفجوة الجذر.
- التأكد من المحاذاة الصحيحة للأجزاء وتثبيتها جيدًا.
- فحص مواد اللِحام (الأقطاب، أو أسلاك اللِحام)، والتأكد من صلاحيتها.
- التحقق من جاهزية معدات اللِحام وضبطها وفق الإجراء المعتمد.

- **ثانيًا: الفحص أثناء اللِحام (In-Process Visual Inspection):**

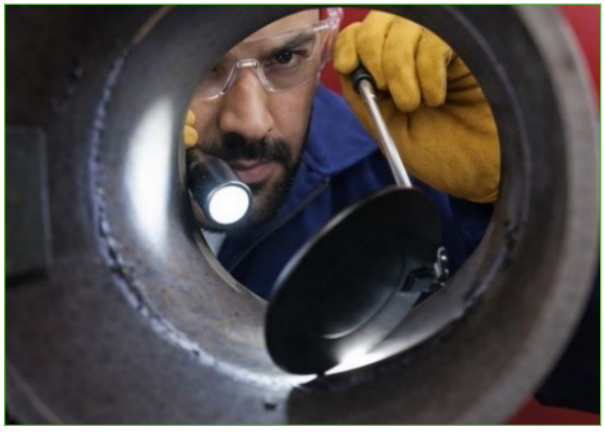
يُجرى هذا الفحص أثناء تنفيذ اللِحام لمراقبة سير العملية، والتأكد من استقرارها، ويساعد على اكتشاف الأخطاء وتصحيحها فور حدوثها قبل أن تتحول إلى عيوب مؤثرة، ويشمل ما يأتي:

- التأكد من استقرار القوس الكهربائي أثناء اللِحام.
- ملاحظة شكل وانتظام بركة اللِحام.
- الالتزام بسرعة اللِحام المناسبة، وعدم التذبذب في الحركة.

- ملاحظة أي سلوك غير طبيعي أثناء اللِحام، مثل: التناثر المفرط، أو عدم انتظام الانصهار.
- تعديل زاوية القطب، أو سرعة اللِحام عند الحاجة وتصحيح الأخطاء فورًا.

- **ثالثًا: الفحص بعد اللحام** (Post-Weld Visual Inspection):

تُعد هذه المرحلة الأهم في الفحص البصري، حيث يُجرى فيها تقييم الوصلة الملحومة بعد الانتهاء من اللِحام والتبريد، واتخاذ قرار القبول، أو الحاجة إلى الإصلاح، ويشمل ما يأتي:



- فحص سطح اللِحام بعد التبريد الكامل.
- التأكد من انتظام شكل خط اللِحام ومظهره العام.
- الكشف عن العيوب السطحية الظاهرة، مثل: الشقوق، أو المسامية السطحية.
- التحقق من عدم وجود نقر سفلي، أو تناثر معدن مفرط.
- قياس أبعاد اللِحام (العرض، والارتفاع، وارتفاع التعزيز)، والتأكد من مطابقتها للمواصفات والمعايير المعتمدة.

ارتفاع التعزيز (Weld Reinforcement Height):
هو مقدار الزيادة في معدن اللِّحام فوق سطح المعدن الأساس بعد إتمام عملية اللِّحام، ويُقاس من أعلى سطح المعدن الأساس إلى أعلى نقطة في سطح خرزة اللِّحام، ويجب أن يكون ضمن الحدود المسموح بها حسب المواصفات والمعايير المعتمدة.

اتباع مراحل الفحص البصري قبل وأثناء وبعد اللحام يضمن اكتشاف العيوب في الوقت المناسب، ويقلل من أعمال الإصلاح، ويسهم في تحسين جودة الوصلات الملحومة وسلامتها، ويدعم نظام ضبط الجودة في أعمال اللحام.

العيوب التي يكشفها الفحص البصري للحام
(Defects Detected by Visual Weld Inspection)

يقتصر الفحص البصري على الكشف عن العيوب السطحية الظاهرة فقط، ولا يمتد إلى العيوب الداخلية، ومن أبرزها:

- الشقوق السطحية.
- المسامية السطحية.
- النقر السفلي.
- الرذاذ/البخبخة.
- عدم انتظام شكل اللِحام.
- زيادة أو نقص معدن الحشو.
- ضربة القوس الكهربائي.

أدوات ووسائل المساعدة في الفحص البصري
(Visual Inspection Tools and Aids)

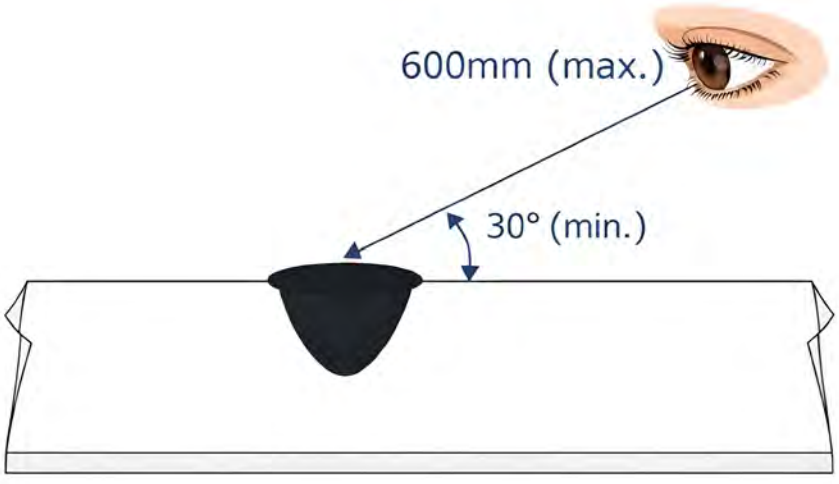
يستخدم مفتش اللِحام مجموعة من الأدوات ووسائل المساعدة لزيادة دقة الفحص، خاصة عندما تكون الرؤية المباشرة للوصلة الملحومة محدودة أو يصعب الوصول إليها، وتشمل أدوات ووسائل المساعدة في الفحص البصري ما يأتي:

الأداة/وسيلة المساعدة في الفحص البصري	شكل توضيحي
أنظمة الرؤية غير المباشرة، مثل: المنظار المزود بمرآة، أو أنظمة الألياف الضوئية.	
مصادر إضاءة مساعدة لتحقيق تباين واضح بين العيوب السطحية وسطح المعدن.	
مقاييس اللِحام (Welding Gauges) لقياس زوايا الحواف، وأبعاد اللِحام، وعمق النقر السفلي.	
مقياس عدم المحاذاة الخطية (Weld Hi-Lo Gauges).	
المسطرة المستقيمة، ومقياس فجوة الوصلة (Weld Gap Gauges).	
العدسات المكبّرة، ويُوصى باستخدام عدسات تكبير من (2×) إلى (5×).	

شروط إجراء الفحص البصري (Conditions for Visual Inspection)

لضمان دقة وموثوقية نتائج الفحص البصري، يجب أن يُجرى الفحص في ظروف مناسبة وفق المعايير المعتمدة على النحو الآتي:

- **الإضاءة** (Illumination): ينص المعيار الدولي (ISO 17637) على أن الحد الأدنى لشدة الإضاءة أثناء الفحص البصري يجب ألا يقل عن (350) لوكس (Lux)، ويوصي باستخدام شدة إضاءة لا تقل عن (500) لوكس، وهي تعادل تقريبًا مستوى الإضاءة المعتاد في الورش أو المكاتب.
- **إمكانية الوصول** (Access): يجب أن تسمح إمكانية الوصول إلى سطح الوصلة الملحومة بإجراء الفحص البصري المباشر بحيث تكون:
  - عين الفاحص على مسافة لا تزيد عن (600 mm) من السطح الجاري فحصه.
  - عين الفاحص في وضعية تحقق زاوية رؤية لا تقل عن (30°) بالنسبة لسطح الوصلة.



يوضح المعيار الدولي (ISO 17637) أنواع مقاييس اللحام واستخداماتها ودقة القياسات أثناء الفحص البصري.

أخطاء شائعة في الفحص البصري للحام
(Common Errors in Visual Weld Inspection)

قد تؤدي بعض الممارسات غير الصحيحة أثناء إجراء الفحص البصري للحام إلى نتائج غير دقيقة أو مضللة؛ مما يؤثر سلبًا في قرارات القبول أو الرفض، ويضعف دور الفحص البصري في ضبط الجودة، وترتبط هذه الأخطاء غالبًا بعدم الالتزام بشروط الفحص الجيد، أو ضعف خبرة الفاحص، أو تجاهل حدود الفحص البصري، ومن أبرز الأخطاء الشائعة ما يأتي:

- **إجراء الفحص دون تنظيف اللِحام:** حيث إن بقاء الخَبَث، أو الأوساخ أو بقايا التناثر قد يخفي عيوبًا سطحية مهمة؛ مما يؤدي إلى تقييم غير صحيح للحام.
- **ضعف أو عدم كفاية الإضاءة أثناء الفحص:** عدم توفر إضاءة مناسبة يقلل من وضوح العيوب الدقيقة، ويُعد من أكثر الأسباب شيوعًا لعدم اكتشاف الشقوق، أو المسامية السطحية.
- **الاعتماد على العين المجردة فقط:** إهمال استخدام العدسات المكبرة، ومقاييس اللِحام، أو وسائل المساعدة البصرية عند الحاجة يؤدي إلى فقدان الدقة في التقييم.
- **عدم فحص الوصلة من زوايا متعددة:** الاكتفاء بالفحص من زاوية واحدة قد يؤدي إلى عدم ملاحظة بعض العيوب السطحية الظاهرة من زوايا أخرى.
- **إهمال قياس أبعاد اللِحام:** الاعتماد على المظهر العام دون التحقق من الأبعاد الفعلية، مثل: عرض اللِحام، وارتفاع التعزيز، أو عمق النقر السفلي يؤدي إلى قبول وصلات غير مطابقة للمواصفات.
- **قلة خبرة الفاحص أو ضعف قدرته البصرية:** ضعف المعرفة بأنواع العيوب ومعايير القبول والرفض، أو ضعف القدرة البصرية، قد ينتج عنه تفسير خاطئ للحالة الفعلية للحام.
- **عدم الرجوع إلى المواصفات والمعايير المعتمدة:** تقييم اللِحام بناءً على الانطباع الشخصي دون مقارنة النتائج بحدود القبول والرفض المحددة في الكود، أو المعيار المعتمد.
- **تجاهل حدود الفحص البصري:** الاعتماد على الفحص البصري فقط في التطبيقات الحرجة رغم عدم قدرته على كشف العيوب الداخلية، دون استكماله باختبارات غير إتلافية أخرى، مثل: (UT أو RT).
- **ضعف التوثيق أو عدم تسجيل نتائج الفحص:** عدم توثيق حالة الوصلة، أو نتائج الفحص يقلل من أداة فاعلية الفحص البصري ضمن نظام ضبط الجودة.

يسهم تجنب هذه الأخطاء في رفع دقة الفحص البصري وضمان أن يؤدي دوره الأساسي في تحسين جودة اللحام، ودعم قرارات القبول، أو الإصلاح، وتقليل المخاطر الفنية أثناء التشغيل.

تقرير فحص اللِحام (Weld Inspection Report)

يعد تقرير فحص اللِحام وثيقة فنية تُستخدم لتسجيل نتائج فحص الوصلة الملحومة وتقييم حالتها من حيث المطابقة للمواصفات، ويُعتمد على هذا التقرير في اتخاذ القرار الفني المناسب، ويجب أن يكون واضحًا، ومختصرًا، ودقيقًا في عرض المعلومات.

ويتكوّن تقرير فحص اللِحام من عناصر أساسية تضمن توثيق عملية الفحص توثيقا صحيحا، وتشمل ما يأتي:

1. بيانات عامة عن العمل وتاريخ الفحص.
2. معلومات فنية عن الوصلة الملحومة.
3. طريقة اللِحام المستخدمة.
4. نتائج الفحص البصري (وأي فحص آخر إن وجد).
5. القرار النهائي بشأن الوصلة وتوقيع الفاحص.

Company LOGO

Weld Inspection Report

Welding Inspection Report Number: Project number: Project Description: Client: Drawing No:	Date: Part No: Part Name: ITP Reference: Acceptance Criteria:

Weld Number	Type of Weld	WPS number	Material Grade	Weld Size Required (mm)	Weld Size Actual (mm)	Visual Acceptance (ok /not ok)	Distortion check (ok/not ok)	Non Destructive Testing Report number				Final Acceptance (*Sign)
								UT	MT	RT	PT	

Remarks:		
Supervisor/ Production In charge Name: Signature: Date	Quality Control Inspector Name: Signature: Date	Client/ TPI Name: Signature: Date

حيث يُعد تقرير فحص اللِحام وفق تسلسل عملي واضح، يبدأ بمراجعة بيانات الوصلة، ثم إجراء الفحص في مرحلته المحددة، يلي ذلك تسجيل النتائج بدقة وموضوعية، وأخيرًا تحديد القرار الفني واعتماد التقرير.

الاختبارات غير الإتلافية للحام

(Non-Destructive Testing of Welds)

تُعد الاختبارات غير الإتلافية (NDT) من الطرق المهمة في فحص جودة اللحام وسلامة المنشآت المعدنية، حيث تُستخدم لفحص الوصلات الملحومة دون إتلافها، أو التأثير في صلاحيتها للعمل، وتعتمد هذه الاختبارات على تقنيات خاصة تساعد على اكتشاف العيوب السطحية والداخلية في وقت مبكر؛ مما يقلل من احتمالية حدوث الأعطال أثناء التشغيل، ويحد من تكاليف الإصلاح وإعادة العمل، وتوفر هذه الاختبارات معلومات دقيقة عن حالة اللِحام ودرجة موثوقيته.

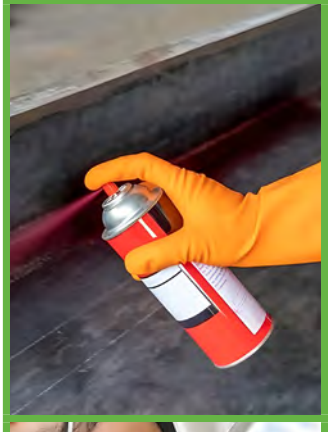
وتكمن أهمية الاختبارات غير الإتلافية في الآتي:

- الحفاظ على سلامة المكونات الملحومة.
- الكشف المبكر عن العيوب السطحية والداخلية.
- تقليل تكاليف الإصلاح وإعادة العمل.
- ضمان مطابقة اللِحام للمواصفات والمعايير المعتمدة.
- رفع مستوى السلامة في المنشآت الصناعية.

الاختبارات غير الإتلافية (NDT): هي مجموعة من تقنيات الفحص التي تُستخدم للكشف عن العيوب في اللحام دون إحداث أي تلف، أو تغيير دائم في القطعة المفحوصة؛ مما يسمح باستخدامها مباشرة بعد الفحص.

طرق الفحص في الاختبارات غير الإتلافية
(Non-Destructive Testing Methods)

تهدف الاختبارات غير الإتلافية للحام إلى فحص اللِحام والكشف عن العيوب دون إتلاف الوصلة، أو التأثير في صلاحيتها للاستخدام، ويوضح الجدول الآتي أفضل طرق الفحص غير الإتلافي:

طريقة الفحص	الوصف	العيوب التي يكشفها وأهميتها	شكل توضيحي
الفحص البصري (Visual Testing (VT))	فحص سطح اللِّحام بالعين المجردة، أو باستخدام أدوات مساعدة، ويُستخدم مع جميع أنواع المعادن للكشف عن العيوب السطحية الظاهرة وشكل اللِّحام وأبعاده.	يكشف التشققات السطحية، والمسامية، وعدم الانصهار الظاهر، وتشوهات السطح، ويُستخدم لتقييم جودة سطح اللِّحام ومدى مطابقته للمعايير.	
الفحص بالسوائل المتغلغلة (Penetrant Testing (DPT/PT))	تنظيف السطح جيدًا ثم تطبيق السائل النافذ ومادة الإظهار، ويُستخدم مع جميع المعادن غير المسامية، مثل: الفولاذ، والألمنيوم، والنحاس، والنيكل.	يكشف العيوب السطحية المفتوحة، مثل: الشقوق الدقيقة، والمسامية السطحية، والثقوب الدقيقة التي لا تُرى بالعين المجردة.	
الفحص بالجسيمات المغناطيسية (Magnetic Particle Testing (MT/MPT))	مغنطة الجزء (طوليًّا أو محيطيًّا)، ثم تطبيق الجسيمات المغناطيسية، ويُستخدم فقط مع المعادن الحديدية القابلة للمغنطة.	يكشف العيوب السطحية والقريبة من السطح، مثل: الشقوق الطولية، أو المحيطية في المواد القابلة للمغنطة.	

طريقة الفحص	الوصف	العيوب التي يكشفها وأهميتها	شكل توضيحي
الفحص بالموجات فوق الصوتية (Ultrasonic Testing (UT))	إرسال موجات فوق صوتية عبر المجس وتحليل الإشارات المرتدة، ويُستخدم مع معظم المعادن للكشف عن العيوب الداخلية وتحت السطحية.	يكشف العيوب الداخلية، مثل: الفراغات، والشقوق، وعدم الانصهار بدقة عالية دون إتلاف الوصلة.	
الفحص بالأشعة (Radiographic Testing (RT))	تعريض اللِّحام للأشعة وتسجيل الصورة على فيلم، أو شاشة رقمية، ويُستخدم مع معظم المعادن حسب السُمك والكثافة للكشف عن العيوب الحجمية الداخلية.	يكشف العيوب الداخلية، مثل: الشقوق، والفراغات، وعدم الانصهار داخل اللِّحام، أو المعدن، مع إمكانية توثيقها بصورة إشعاعية.	

قيود اختبارات اللحام غير الإتلافية
(Limitations of Non-Destructive Testing of Welds)

على الرغم من الدور المحوري الذي تؤديه الاختبارات غير الإتلافية في تقييم جودة اللِحام وضمان سلامة المنشآت، إلا أن هذه الاختبارات لا تخلو من بعض القيود والحدود الفنية التي يجب إدراكها عند اختيار أسلوب الفحص المناسب، ويؤدي تجاهل هذه القيود إلى نتائج غير دقيقة، أو قرارات فنية غير سليمة.

وتتمثل أهم قيود اختبارات اللِحام غير الإتلافية في الآتي:

- **محدودية الكشف:** بعض العيوب الدقيقة جدًا، أو العميقة قد لا تُكتشف، خاصة في الفحوصات السطحية.
- **الاعتماد على خبرة الفاحص:** دقة النتائج تتأثر بمهارة وخبرة القائم في الفحص.
- **ارتفاع التكلفة:** بعض الطرق، مثل: (RT) و(UT) تتطلب أجهزة متقدمة وتدريبًا متخصصًا.
- **استهلاك الوقت:** التحضير وضبط الأجهزة قد يستغرق وقتًا، ويؤثر في سرعة العمل.
- **قيود المادة:** ليست كل الطرق مناسبة لجميع المعادن (MT للمعادن المغناطيسية فقط، وPT للعيوب السطحية).
- **التأثر بالبيئة:** الإضاءة، والرطوبة، والغبار ودرجة الحرارة قد تؤثر في دقة النتائج.

الاختبارات الإتلافية للحام

(Destructive Testing of Welds)

تُعد الاختبارات الإتلافية للحام وسيلة فعّالة لتقييم جودة الوصلات الملحومة وخصائصها الميكانيكية، حيث تعتمد على تعريض العينات لقوى تؤدي إلى تشوهها، أو كسرها بهدف قياس قدرتها على تحمّل الأحمال المختلفة، وعلى الرغم من فقدان العينة بعد الاختبار، فإن هذه الأساليب توفر بيانات دقيقة تساعد في التحقق من كفاءة اللِحام ومدى مطابقته للمعايير والمواصفات المعتمدة.

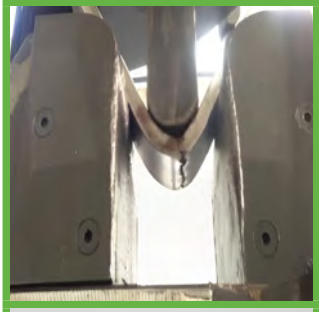
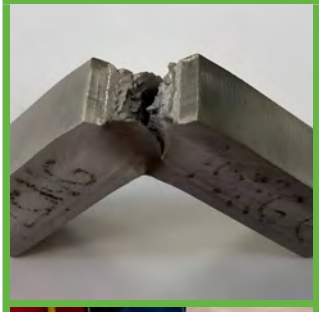
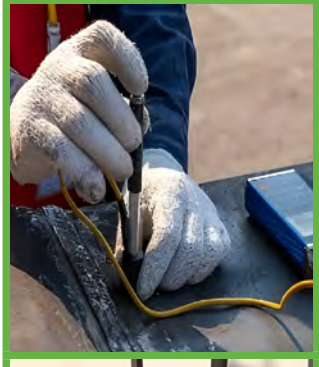
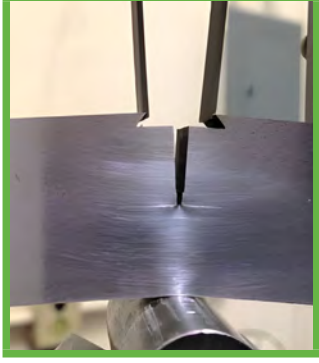
وتكمن أهمية الاختبارات الإتلافية في الآتي:

- تقييم الخواص الميكانيكية للحام (المقاومة، والليونة).
- التحقق من جودة الانصهار والاختراق.
- الكشف عن العيوب الداخلية غير الظاهرة.
- التأكد من مطابقة اللِحام للمواصفات والمعايير.
- اعتماد إجراءات اللِحام واللحّامين.

الاختبارات الإتلافية
(Destructive Testing):
هي اختبارات تُعرّض فيها الوصلة الملحومة إلى إجهادات ميكانيكية عالية تؤدي إلى كسر العينة، أو تشوهها الدائم، بهدف دراسة سلوك اللِحام تحت الأحمال المختلفة وتحديد مدى جودة الاندماج وقوة الوصلة.

أنواع الاختبارات الإتلافية للحام
(Types of Destructive Testing of Welds)

تشمل أنواع الاختبارات الإتلافية للحام مجموعة من الاختبارات التي تُجرى على عينات ملحومة بهدف تقييم الخواص الميكانيكية وجودة الوصلة، ويوضح الجدول الآتي أبرزها:

نوع الاختبار	الوصف	المراد تقييمه	الدلالة	شكل توضيحي
اختبار الشد (Tensile Test)	تعريض العينة لقوة شد متزايدة حتى الكسر.	مقاومة الشد، ومتانة الوصلة، وموقع الكسر.	يوضح قدرة اللِحام على تحمّل الأحمال المحورية، ويبيّن ما إذا كانت الوصلة أضعف من المعدن الأساسي.	
اختبار الثني (Bend Test)	ثني العينة حول قالب أو بزاوية محددة.	الليونة، وجودة الانصهار والاختراق.	يدل على جودة اللِحام وخلوه من العيوب التي قد تسبب تشققًا أثناء التشغيل.	
اختبار الصدمة أو الاصطدام (Impact Test)	تعريض العينة لضربة مفاجئة وقياس الطاقة الممتصة.	مقاومة الأحمال المفاجئة والمتانة.	يبين مدى أمان اللِحام في الظروف الديناميكية ودرجات الحرارة المنخفضة.	
اختبار الصلادة (Hardness Test)	قياس مقاومة سطح العينة للاختراق بحمل محدد.	صلادة معدن اللِحام والمنطقة المتأثرة بالحرارة.	يشير إلى تأثير الحرارة في الخواص الميكانيكية واحتمالية الهشاشة.	
اختبار الكسر (Fracture Test)	تحميل العينة حتى الانكسار، ثم فحص سطح الكسر.	نوع الكسر والعيوب الداخلية.	يوضح جودة البنية الداخلية للحام، ويكشف مناطق الضعف غير المرئية.	

تساعد هذه الاختبارات مجتمعة على إعطاء صورة شاملة عن جودة اللحام ومدى صلاحيته للاستخدام في التطبيقات المختلفة.

خطوات إجراء الاختبارات الإتلافية
(Steps for Conducting Destructive Testing)

تُجرى الاختبارات الإتلافية للحام وفق خطوات عامة ومنهجية تهدف إلى تقييم جودة الوصلات الملحومة وخصائصها الميكانيكية، وضمان مطابقتها للمواصفات والمعايير المعتمدة، وتشمل هذه الخطوات ما يأتي:

1. اختيار وأخذ عينة ممثلة من الوصلة الملحومة المراد اختبارها.
2. تجهيز العينة وفق الأبعاد والمتطلبات القياسية لكل اختبار.
3. التأكد من جاهزية ومعايرة أجهزة الاختبار قبل البدء.
4. تنفيذ الاختبار وفق الإجراء المحدد وبطريقة صحيحة وآمنة.
5. تسجيل القِيم والنتائج الناتجة عن الاختبار بدقة.
6. فحص العينة بعد الاختبار لملاحظة شكل الكسر، أو التشوه.
7. تحليل النتائج ومقارنتها بمتطلبات المواصفات، أو الكود المعتمد.
8. تحديد قرار القبول أو الرفض بناءً على نتائج الاختبار.

تفسير نتائج الاختبارات الإتلافية للحام
(Interpretation of Destructive Weld Test Results)

بعد إجراء الاختبارات الإتلافية للحام، يُجرى تحليل للنتائج لتقييم جودة الوصلات الملحومة والتحقق من مطابقتها للمعايير الفنية المعتمدة، ويُوضّح الجدول الآتي أهم اختبارات فحص اللِحام مع بيان الملحوظات الناتجة عن كل اختبار وتفسيرها الفني؛ وذلك بهدف تحديد قرار القبول أو الرفض واتخاذ الإجراءات التصحيحية اللازمة قبل الاستخدام الفعلي، بما يضمن سلامة المنشآت وكفاءتها التشغيلية:

الاختبار	الملاحظة	التفسير
اختبار الشد	الكسر في المعدن الأساسي، أو في اللِحام ومقارنة مقاومة الشد بالمعايير.	الكسر في المعدن الأساسي يدل على لحام جيد، أما الكسر في اللِحام فيشير إلى ضعف، أو عيوب داخلية، وتُستخدم قيمة مقاومة الشد لتحديد قبول أو رفض الوصلة.
اختبار الثني	ثني العينة مع تشقق أو دونه.	عدم حدوث تشقق يدل على جودة عالية وانصهار كامل، بينما ظهور الشقوق أو الانفصال يشير إلى عيوب، مثل: عدم الانصهار، أو المسامية.
اختبار الصدمة أو الاصطدام	كمية الطاقة التي تمتصها العينة أثناء حدوث الكسر.	الامتصاص الجيد للطاقة يدل على قدرة اللِحام على تحمل الأحمال المفاجئة، بينما الانخفاض، أو الكسر الهش يشير إلى هشاشة أو ضعف اللِحام.
اختبار الصلادة	مقارنة الصلادة مع المعدن الأساسي	الصلادة المتناسقة تدل على عدم وجود مناطق ضعيفة، أما الزيادة غير الطبيعية فتشير إلى مناطق محتملة للكسر الهش.
اختبار الكسر	شكل الكسر الناتج.	الكسر المطيل يدل على متانة جيدة، بينما الكسر الهش، أو غير المنتظم يدل على وجود عيوب داخلية تؤثر في قوة الوصلة.

الكسر المطيل (Ductile Fracture):
هو نوع من الكسر يحدث بعد تشوه لدن واضح في المعدن قبل الانفصال، حيث تتمدد العينة، أو تتغير أبعادها تدريجيًّا، وتمتص قدرًا كبيرًا من الطاقة، دون حدوث كسر مفاجئ، ويكون سطح الكسر غالبًا غير منتظم، أو ليفي الشكل.

مزايا وعيوب الاختبارات الإتلافية
(Advantages and Disadvantages of Destructive Testing)

تُستخدم الاختبارات الإتلافية لفحص جودة اللِحام والتأكد من قوته، إلا أنها تؤدي إلى إتلاف العينة بعد الاختبار، وفيما يأتي أهم مزايا وعيوب هذه الاختبارات:

- **مزايا الاختبارات الإتلافية:**
  - توفر معلومات دقيقة وموثوقة عن الخواص الميكانيكية للوصلات الملحومة.
  - تكشف العيوب الداخلية والخفية التي قد لا تظهر بالفحص البصري أو الفحوصات غير الإتلافية.
  - تمكّن من تقييم مقاومة الشد، والثني، والصدم، والصلادة، ونوع الكسر.
  - تساعد في ضمان جودة اللِّحام واعتماده في المنشآت المهمة والصناعية.

- **عيوب الاختبارات الإتلافية:**
  - تؤدي إلى تدمير العينة، ما يمنع إعادة استخدامها.
  - تتطلب تجهيز وتحضير دقيق للعينات؛ مما يستهلك وقتًا وجهدًا.
  - تكلفتها مرتفعة مقارنة ببعض الفحوصات غير الإتلافية.
  - قد يكون إتلاف العينات غير مناسب إذا كانت الوصلات نادرة، أو مكلفة الإنتاج.

أسئلة الوحدة

1. ما المقصود بعيوب اللِحام؟
2. ما الفرق بين عدم الاستمرارية وعيوب اللِحام؟
3. اذكر سببين رئيسيين لحدوث المسامية في اللِحام.
4. لماذا تُعد الشقوق من أخطر عيوب اللِحام؟
5. كيف تؤثر سرعة اللِحام العالية في جودة الوصلة الملحومة؟
6. لماذا يُعد التعرف المبكر على عيوب اللِحام أمرًا مهمًّا في الصناعة؟
7. ما المقصود بالوقاية من عيوب اللِحام؟
8. لماذا يُعد تنظيف الوصلة قبل اللِحام أمرًا مهمًّا؟
9. اذكر مثالاً واحدًا لمتغير من متغيرات اللِحام يجب ضبطه.
10. كيف يؤثر التخزين غير الصحيح للأقطاب في جودة اللِحام؟
11. ما أهمية الفحص أثناء عملية اللِحام؟
12. ما المقصود بالفحص البصري للحام؟
13. لماذا يُعد الفحص البصري أول خطوة في فحص اللِحام؟
14. اذكر مرحلتين من مراحل الفحص البصري.
15. ما الأدوات المستخدمة في الفحص البصري للحام؟

16 اذكر عيبين يمكن اكتشافهما بواسطة الفحص البصري.

17 كيف يسهم الفحص البصري في تقليل التكاليف؟

18 ما المقصود بالاختبارات غير الإتلافية للحام؟

19 ما الفرق الأساسي بين الفحص الإتلافي والفحص غير الإتلافي؟

20 أي طريقة فحص تُعد الخطوة الأولى في جميع أعمال فحص اللِحام؟

21 ما نوع العيوب التي يكشفها الفحص بالسوائل المتغلغلة؟

22 أي اختبار يُعطي صورة داخلية للحام؟

23 ما المقصود بالاختبارات الإتلافية للحام؟ ولماذا تُستخدم رغم أنها تُتلف العينة؟

24 اذكر ميزة واحدة وعيبًا واحدًا للاختبارات الإتلافية.

الوحدة الرابعة

تطبيق عملي في اللِّحام

Practical Application in Welding

محتويات الوحدة الرابعة

الدرس الأول

التخطيط لأعمال اللحام

(Welding Work Planning) 115

الدرس الثاني

التخطيط الفني وإعداد الرسومات لأعمال اللّحام

(Technical Planning and Preparing Drawings for Welding Work) 122

الدرس الثالث

القياس وإعداد المخطط العام في أعمال اللحام

(Layout and Measurements in Welding) 125

الدرس الرابع

تصنيع طاولة لحام باستخدام لحام القوس المعدني المغلف

(Fabrication of Welding Bench Using SMAW) 127

الدرس الخامس

تشطيب الأسطح في أعمال اللحام

(Post-Weld Surface Finishing) 131

أسئلة الوحدة 134

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد دراسة هذه الوحدة أن:

- يتَّبع قواعد الصحة والسلامة المهنية في الورش التدريبية.
- يذكر مراحل تخطيط مشروع طاولة اللحام.
- يوضح دور إدارة الوقت والعمل الجماعي في أعمال اللحام.
- يذكر أسماء المواد والأدوات ومعدات اللحام.
- يصف متطلبات الصحة والسلامة المهنية.
- يفسر الرسومات الفنية لطاولة اللحام.
- يرسم مخططًا تجميعيًّا وتنفيذيًّا مبسطًا.
- يحدد الأبعاد ويطبق القياس ووضع العلامات.
- ينقل الأبعاد إلى المقاطع المعدنية بدقة.
- ينتج عمليات القطع والتجميع المبدئي.
- يضبط إعدادات آلة اللحام لعملية اللحام بالقوس المعدني المغلف.
- ينفذ لحامات التثبيت واللحام النهائي.
- ينفذ تشطيب الأسطح بعد اللحام.
- يفحص جودة المنتج النهائي.
- ينظم موقع العمل ويطبق السلامة بعد التنفيذ.

ملخص الوحدة

صُممت هذه الوحدة لتمكين الطلبة من توظيف المعارف والمهارات التي اكتسبوها في الفصول السابقة ضمن مشروع تطبيقي متكامل يتمثّل في تصنيع طاولة لحام باستخدام لحام القوس المعدني المغلّف، وتركّز الوحدة على إنتاج منتج متكامل يدمج مراحل التخطيط الفني، وقراءة الرسومات، والقياس وإعداد المخطط العام، واختيار المواد والأدوات، والتنفيذ، والتشطيب، والفحص النهائي، مع الالتزام بإجراءات الصحة والسلامة المهنية. وتسهم الوحدة في تنمية مهارات العمل الجماعي وإدارة الوقت والانضباط المهني، بما يدعم انتقال الطلبة من تعلّم المهارات الجزئية إلى التطبيق العملي المتكامل الذي يحاكي متطلبات بيئة العمل الحقيقية في مجال التصنيع المعدني.

التخطيط لأعمال اللحام

(Welding Work Planning)

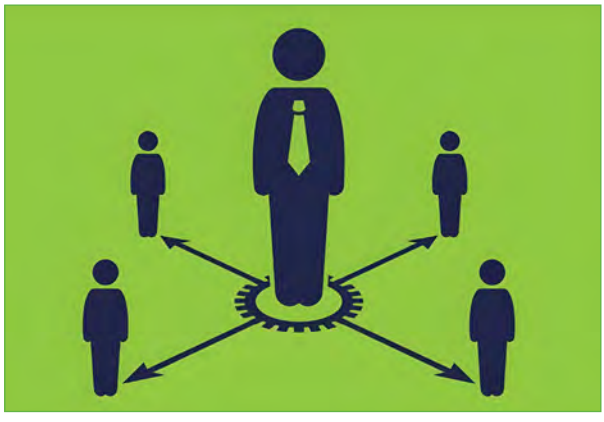
يعتمد تنفيذ مشروع اللحام على التخطيط المسبق وتنظيم العمل وفق مراحل واضحة، بما يسهّل إدارة الوقت ومتابعة التقدم، ويكون ذلك وفق عدة مراحل تتمثل في تحديد نطاق العمل، وتوزيع المهام، وإعداد الجدول الزمني، وتحديد قائمة المواد والأدوات اللازمة للتنفيذ، وكذلك تحديد إجراءات السلامة.

1 تحديد نطاق العمل (Work Scope Determination):

يساعد تحديد نطاق العمل على تكوين تصور واضح عن المشروع قبل البدء في التنفيذ؛ مما يقلل الأخطاء ويوجه العمل بالشكل الصحيح، وفي هذه المرحلة تُحدَّد العناصر الأساسية للمشروع، وتشمل ما يأتي:

- طبيعة العمل المطلوب تنفيذه: مثلاً طاولة لحام.
- حجم العمل، ومتطلباته الفنية.
- مراحل التنفيذ الرئيسية، مثل: التحضير، والقياس ووضع العلامات، والقطع والتجميع، والتشطيب، والفحص.

2 توزيع المهام داخل فريق العمل (Task Distribution Within the Work Team):



بعد تحديد مراحل التنفيذ يتم تحديد أعضاء الفريق والأدوار العملية لكل فرد داخل فريق العمل وفقًا لكل مرحلة، وذلك نظرًا لأهمية العمل الجماعي في أعمال اللحام، وتتمثل هذه المهام في الآتي:

أعضاء فريق العمل	المسؤوليات	اسم المسؤول
مسؤول القياس ووضع العلامات	نقل الأبعاد من الرسم الفني إلى المادة الخام بدقة.	
مسؤول القطع والتجهيز	تنفيذ عمليات القطع والتنظيف الأولي للقطع المعدنية.	
مسؤول التجميع واللحام	تجميع الأجزاء، وتنفيذ عمليات اللحام.	
مسؤول التشطيب	معالجة اللحامات، وإزالة الزوائد المعدنية.	
مسؤول الفحص والتوثيق	التحقق من جودة العمل، وتوثيق الملحوظات.	

يُسهم العمل الجماعي والتواصل الفعال بين أعضاء فريق اللحام في الآتي:

- تنظيم تسلسل العمليات أثناء التنفيذ داخل الورشة، وتحقيق التكامل وتبادل المعلومات بين أفراد فريق العمل.
- تعزيز الانضباط في الأداء العملي، وتمكين المدرب من متابعة تقدم كل متدرّب عمليًّا.
- تنبيه الفريق عند وجود أي خطأ فني، أو خطر محتمل أثناء التنفيذ.

العمل الجماعي في مشروع تصنيع طاولة لحام

- مراجعة خطوات العمل قبل الانتقال من مرحلة إلى أخرى.
- الالتزام بالخطة الزمنية.
- تجنب تكرار العمل.
- تقليل احتمالية وقوع الحوادث.
- تقليل المشكلات التشغيلية والأخطاء الفنية أثناء التنفيذ.
- تحسين جودة العمل النهائي، واستقرار الهيكل الملحوم.

3 إعداد خطة العمل (Preparing Job Planning Sheet):

تُعدّ إدارة الوقت عنصرًا أساسيًّا في نجاح مشاريع اللحام، وهي عملية تنظيم مراحل العمل وفق جدول زمني محدد يضمن إنجاز المشروع ضمن المدة المخطط لها، دون التأثير في جودة العمل، أو السلامة المهنية، لذلك يجب إعداد خطة عمل تسبق التنفيذ للمشروع بهدف تنظيم خطوات العمل بصورة منهجية تقلّل الأخطاء، وتساعد على الاستخدام الأمثل للوقت والمواد، وتسهم في تحقيق جودة أفضل أثناء التنفيذ.

وتشمل خطة العمل الآتي:

1. تحديد مراحل العمل.
2. تحديد الزمن المناسب لكل مرحلة من مرحلة (التحضير، والقياس، والقطع، واللحام، والتشطيب، والفحص).
3. متابعة التقدم في التنفيذ ومقارنته بالجدول الزمني المحدد.
4. المعالجة الفورية لأي تأخير؛ لتجنب تأثيره في بقية المراحل.

تسهم إدارة الوقت الجيدة في أعمال اللحام في الآتي:

- منع التسرع في تنفيذ اللحامات.
- تقليل التوقفات غير المخططة أثناء العمل.
- تحقيق التوازن بين السرعة والدقة في الأداء.
- ضمان الالتزام بخطة المشروع والجدول الزمني.

نموذج خطة العمل (Job Planning Sheet)			
اسم الطالب:			
وصف المهمة:	تصنيع طاولة لحام		
التاريخ:		الزمن المخصص للتنفيذ:	(12) ساعة

جدول تخطيط العمل		
م	النشاط	الزمن المتوقع
1	التخطيط	(20) دقيقة
2	جمع الأدوات والمواد من المخزن	(20) دقيقة
3	القياس ووضع العلامات	(20) دقيقة
4	القطع الحراري	(240) دقيقة
5	تجهيز الوصلات وتركيب الأجزاء	(40) دقيقة
6	تنفيذ أعمال اللحام	(290) دقيقة
7	تنظيف قطعة العمل بعد اللحام	(30) دقيقة
8	فحص قطعة العمل والتأكد من الجودة	(30) دقيقة
9	إعادة الأدوات وترتيب موقع العمل	(20) دقيقة

دور نموذج تخطيط العمل في تطبيق إدارة الوقت

يُستخدم نموذج تخطيط العمل لتنظيم مراحل تنفيذ مشروع اللحام وتحديد الزمن اللازم لكل مرحلة؛ مما يساعد الطالب على إدارة الوقت بكفاءة، ومتابعة التقدم أثناء التنفيذ، ومقارنة الزمن الفعلي بالزمن المخطط، بما يسهم في تحسين جودة الأداء وتحقيق متطلبات السلامة المهنية داخل الورشة.

4 إعداد قائمة المواد والأدوات (Preparing a List of Materials and Tools):

يُسهم إعداد قائمة المواد والأدوات وتجهيزها قبل بدء العمل في تنظيم العمل داخل الورشة، والتأكد من توفر جميع المتطلبات قبل البدء في التنفيذ، وتنظيم العمل داخل الورشة، وتقليل هدر المواد الناتج عن سوء التخطيط، أو الاستخدام غير الصحيح، وتسهيل عمليات الشراء والتخزين والمحاسبة، وضمان سير العمل دون توقف.

قائمة المواد (Material List):
هي سجل منظم يوضح جميع المواد والأدوات والمعدات المطلوبة لتنفيذ المشروع قبل البدء في التصنيع.

تتمثل أهمية استخدام الأدوات المناسبة في النقاط الآتية:

- ضمان دقة القياسات ووضع العلامات وضعا صحيحا، وتطابق الأجزاء مع التصميم الهندسي.
- تسهيل عمليات القطع والتجميع، وتقليل الأخطاء أثناء التنفيذ.
- تقليل الوقت والجهد المبذولين خلال مراحل العمل المختلفة.
- تحسين جودة اللحام النهائية وضمان سلامة المنتج.

ويوضح الجدول الآتي جميع الأدوات والمواد المستخدمة لتصنيع طاولة لحام:

تصنيف الأدوات	الأدوات/ المعدات/المواد
المواد الأساسية	لوح فولاذ طري (M.S Plate)- 900 x 700 x 8 mm
	أنبوب مربع من الفولاذ الطري (M.S SQ TUBE)- 40 x 40 x 4 mm
الأدوات الأساسية	مطرقة (Hammer)
	ملقط معدني (Tong)
معدات اللحام والقطع	معدات القطع بالأوكسي – أستيلين (Oxy-Acetylene Gas Cutting Equipment)
	ولاعة إشعال (Lighting Torch)
	آلة الصقل/الجلخ ذات الزاوية (Angle Grinder)
	آلة لحام (Welding Machine)
	أقطاب لحام (Electrodes)-E6013
القياس	مسطرة معدنية (Steel Ruler)
	شريط قياس (Measuring Tape)
	مسطرة زاوية (Try Square)
	القدمة ذات الورنية (Vernier Caliper)
	ميزان التسوية (Spirit Level)
وضع العلامات	طباشير (French Chalk)
	قلم تعليم (Marker)
	مثقاب تحديد المركز (Centre Punch)
	خطاط (Scriber)

تصنيف الأدوات	الأدوات/ المعدات/المواد
التشطيب	مطرقة إزالة الخَبَث (Chipping Hammer)
	إزميل (Chisel)
	فرشاة سلكية (Wire Brush)
	ورق الصنفرة (Emery Paper)
	أقراص الصقل/السنفرة (Grinding Discs - Buffing / Wire Disc)

5 تنفيذ إجراءات السلامة المهنية قبل تنفيذ العمل

(Occupational Safety Before Work Execution):

تُعدّ السلامة المهنية مسؤولية مشتركة بين جميع أفراد فريق العمل، ويجب أن تكون جزءًا من ثقافة العمل، بدءًا من مرحلة الاستعداد حتى الانتهاء من التنفيذ، لذا يجب أن يلتزم فريق العمل بالإجراءات الآتية:

- الالتزام بارتداء معدات الوقاية الشخصية المناسبة لطبيعة العمل.
- إجراء تقييم للمخاطر المحتملة، وتحديد إجراءات السيطرة المناسبة.
- التأكد من جاهزية موقع العمل وتنظيمه بأمان.
- التنسيق بين أعضاء الفريق؛ لتجنب التعرض للمخاطر أثناء التنفيذ.
- التأكد من توفر التهوية المناسبة، أو نظام شفط الأبخرة.
- الإبلاغ الفوري عن أي وضع غير آمن، أو خطر محتمل داخل موقع العمل.

التخطيط الفني وإعداد الرسومات لأعمال اللِّحام

(Technical Planning and Preparing Drawings for Welding Work)

يُعدّ التخطيط الفني في أعمال اللحام عملية تفكير هندسي منظّم تسبق أي تنفيذ عملي، وتهدف إلى فهم المشروع وتحليل أجزائه ومتطلباته قبل التعامل مع المواد أو المعدات. ويمثّل مرحلة انتقالية تربط بين التنظيم الإداري للعمل والتنفيذ العملي داخل ورشة اللحام؛ مما يسهم في تحقيق الدقة والكفاءة وجودة المنتج النهائي.

ويُعدّ التخطيط الفني وإعداد الرسومات خطوة أساسية لتنظيم العمل وتحويل الفكرة الهندسية إلى منتج قابل للتنفيذ وفق المتطلبات الفنية، وتكمن أهميته في الآتي:

- توفير تصور واضح للشكل النهائي لقطعة العمل وأبعادها ومواقع الوصلات، وتسلسل عمليات التنفيذ.
- توحيد رؤية فريق العمل حول متطلبات المشروع.
- تسهيل التواصل بين المتدربين والمدرب أثناء التنفيذ.
- تقليل الأخطاء الناتجة عن سوء الفهم، أو ضعف التنسيق.
- تحسين جودة المنتج النهائي ومطابقته للمواصفات الفنية.

الخطوات الأساسية لإعداد الرسومات الفنية لطاولة اللحام

(Steps for Preparing Drawings and Planning)

تمر عملية إعداد الرسومات الفنية والتخطيط لتصنيع طاولة لحام بعدة خطوات منهجية تسبق التنفيذ العملي، وتشمل هذه الخطوات الآتي:

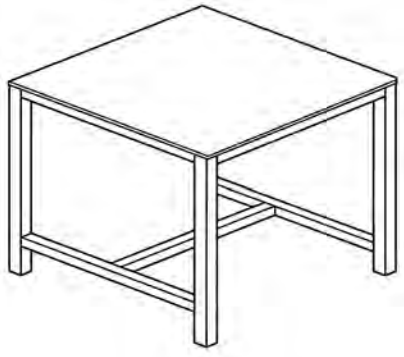
1. **جمع البيانات الأولية:**

تحديد أبعاد الطاولة المطلوبة (الطول × العرض × الارتفاع) والوظيفة المرجوة منها، ويوضّح الجدول الآتي هذه البيانات.

البند	المواصفات
نوع المخطط	طاولة معدنية
سماكة المعدن	8 mm
الطول	900 mm
العرض	700 mm

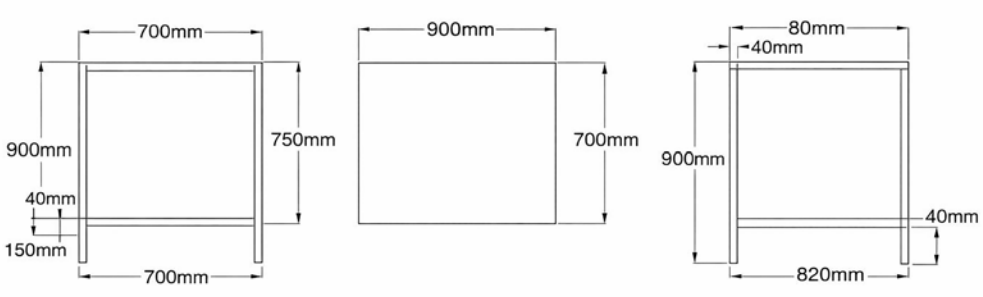
2. **إعداد المخطط الأولي (الرسم التجميعي - Assembly Drawing):**

رسم الشكل العام لطاولة اللحام مع توضيح مواقع الأرجل والإطار والدعامات الهيكلية وطريقة تجميع الأجزاء معًا وترتيبها النهائي بعد اللحام، بما يوفّر تصورًا واضحًا للشكل النهائي للمنتج قبل التنفيذ.



3. **إعداد الرسم التنفيذي التفصيلي (Fabrication Drawing):**

إدراج جميع القياسات الدقيقة وسماكات المعدن ونوع المقاطع المعدنية المستخدمة ومواقع اللحامات واتجاهها، بحيث يوضّح هذا الرسم متطلبات التنفيذ داخل الورشة، ويُستخدم مرجعًا أساسيًّا؛ لتنفيذ العمل بدقة وجودة.



في مرحلة التخطيط الفني وإعداد الرسومات ينبغي مراعاة مجموعة من التعليمات والاعتبارات التي تسهم في ضمان دقة التصميم وجودة التنفيذ، وتشمل ما يأتي:

- استخدام أدوات قياس دقيقة، وإجراء التحقق المزدوج من جميع الأبعاد، وتجنّب الاعتماد على التقديرات التقريبية.
- التأكد من تحديد جميع خطوط اللحام ومواقع الدعامات بوضوح على الرسم التفصيلي.
- إجراء المراجعة النهائية للمخطط من قبل المشرف، أو أحد الزملاء قبل البدء في التنفيذ.
- توثيق القياسات والأبعاد على الرسم بانتظام ووضوح؛ ليسهل الرجوع إليها أثناء العمل.

القياس وإعداد المخطط العام في أعمال اللحام

(Layout and Measurements in Welding)

تأتي مرحلة القياس وإعداد المخطط العام (Layout) **بعد الانتهاء من إعداد الرسومات والتخطيط الفني، وهي من أهم المراحل التي تؤثر مباشرة في جودة المنتج النهائي، حيث يضمن القياس الدقيق والمخطط الواضح توافق جميع الأجزاء وسلاسة ترتيبها على سطح العمل، وتطابق الأجزاء مع التصميم الهندسي؛ مما يقلل الهدر ويعزز السلامة أثناء التنفيذ.**

المخطط العام (Layout):
هو ترتيب وتحديد مواقع القطع المعدنية على المادة الخام وفق الأبعاد المعتمدة في الرسم الفني، قبل البدء في أي عملية قطع أو لحام، ويسهم في تنظيم عملية القطع منهجيًا، وتقليل الهدر في المواد، وتسهيل عملية التجميع لاحقًا، وضمان توافق الأجزاء بعد القص.

الخطوات العملية للقياس وإعداد المخطط العام لطاولة لحام
(Steps for Measurement and Preparing the General Layout)

يسهم اتباع تسلسل واضح ومنظم في عملية القياس ووضع العلامات في تقليل الأخطاء، ويضمن جاهزية القطع المعدنية لعمليات القص والتجميع واللحام بالشكل الصحيح؛ مما ينعكس مباشرة على جودة طاولة اللحام وسهولة تنفيذها، وتشمل هذه الخطوات الآتي:

1. **تجهيز أدوات القياس والعلامات:** التأكد من توفر أدوات القياس المناسبة، مثل: شريط القياس، والمسطرة المعدنية، والزاوية القائمة، وميزان التسوية، والقدمة ذات الورنية، وأدوات وضع العلامات قبل البدء بالعمل.

2. **تحديد النقاط المرجعية:** اختيار نقاط ثابتة يُبنى عليها القياس؛ لضمان الدقة باستخدام شريط القياس والمسطرة المعدنية لتحديد الأبعاد الأساسية والتحقق من استقامة الحواف.

3. **تنظيف أسطح المقاطع المعدنية:** إزالة الأوساخ والزيوت قبل القياس باستخدام فرشاة سلكية وقطعة قماش نظيفة مع مذيب تنظيف مناسب؛ لتجنّب أخطاء القياس والعلامات.

4. **قياس الأبعاد المطلوبة:** قياس الأطوال والعرض والسماكات وفقًا للرسم الفني باستخدام شريط القياس للأبعاد العامة، والقدمة ذات الورنية للسماكات الدقيقة، مع التحقق من الاستواء بواسطة ميزان التسوية.

5. **نقل الأبعاد ووضع العلامات:** نقل القياسات من الرسم إلى المقاطع المعدنية، وتحديد أماكن القطع وخطوط اللحام بوضوح باستخدام الطباشير أو الخطاط قبل بدء القص.

6. **التحقق من الزوايا والاستقامة:** التأكد من دقة الزوايا القائمة (90°) واستقامة المقاطع باستخدام الزاوية القائمة قبل الانتقال إلى مراحل القص والتجميع.

7. **مراجعة القياسات النهائية:** مطابقة جميع القياسات والعلامات مع الرسم التنفيذي؛ للتأكد من صحتها قبل البدء بعمليات القطع؛ مما يقلّل الأخطاء والهدر في المواد.

السلامة المهنية أثناء القياس وإعداد المخطط العام
(Workplace Safety During Measurement and Layout Preparation)

تتطلب مرحلة القياس وإعداد المخطط العام دقة عالية وانتباهًا مستمرًا، ويرتبط نجاحها بسلامة المتدرب ودقة النتائج في الوقت نفسه، وعلى الرغم من أن هذه المرحلة لا تتضمن عمليات قطع أو لحام، إلا أن الالتزام بإجراءات السلامة المهنية يظل ضروريًا؛ لتجنب الحوادث وضمان بيئة عمل منظمة وآمنة، وتتضمن إجراءات السلامة المهنية أثناء هذه المرحلة ما يأتي:

- الاستخدام الصحيح لأدوات القياس ووضع العلامات، مع التأكد من سلامتها قبل الاستعمال.
- الالتزام بارتداء معدات الوقاية الشخصية المناسبة، مثل: القفازات وأحذية السلامة، للحماية من الحواف الحادة، أو سقوط الأدوات.
- ترتيب الأدوات بعد الانتهاء من استخدامها، وإعادتها إلى أماكنها المخصصة؛ لتفادي التعثر، أو التلف.
- الحفاظ على موقع العمل منظمًا وخاليًا من العوائق والمخاطر التي قد تؤثر في سلامة المتدربين، أو دقة القياس.

تصنيع طاولة لحام باستخدام لحام القوس المعدني المغلف

(Fabrication of Welding Bench Using SMAW)

تتضمن مرحلة تصنيع طاولة اللحام عدة خطوات تشمل القطع والتجميع واللحام، التي تأتي بعد مرحلة القياس وإعداد المخطط العام، وتمثل هذه المرحلة نقطة التحول من المخطط الهندسي إلى منتج عملي ملموس.

ويعتمد نجاح هذه المرحلة على الإعداد الجيد للمعدات، ودقة التجميع، والتنفيذ الصحيح للحامات وفق التسلسل المعتمد، وفي الأعمال التعليمية داخل ورش اللحام يُستخدم لحام القوس المعدني المغلف (SMAW) لملائمته لهذا النوع من التطبيقات وسهولة التعامل معه.

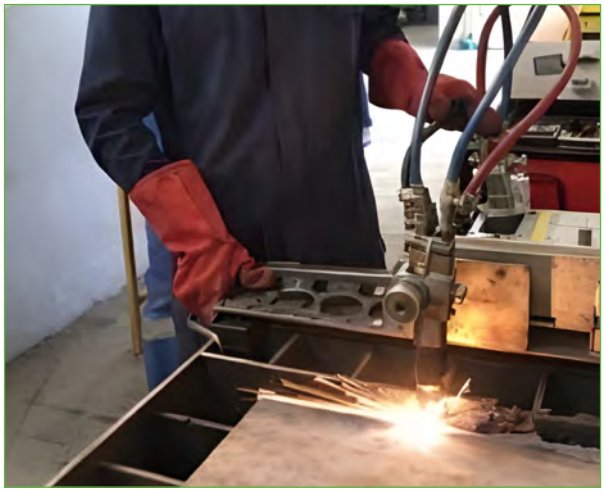
المراحل العملية لتصنيع طاولة لحام
(Practical Steps for Fabricating a Welding Bench)

تمرّ عملية تصنيع طاولة اللحام بمراحل متسلسلة تبدأ بتجهيز المعدات، ثم القطع والتجميع واللحام، وتنتهي بالتشطيب والفحص النهائي؛ بما يضمن جودة التنفيذ والالتزام بمتطلبات الصحة والسلامة المهنية. وفيما يأتي المراحل والخطوات العملية المتبعة لتصنيع طاولة لحام:

- **أولاً: تجهيز معدات اللحام قبل العمل** (Pre-Welding Equipment Preparation):
  - فحص آلة اللحام والتأكد من سلامتها: لتفادي الأعطال المفاجئة وضمان استقرار عملية اللحام.
  - التأكد من سلامة كابلات اللحام والتوصيلات: لتجنّب مخاطر الصعق الكهربائي وضعف القوس الكهربائي.
  - تثبيت كابل التأريض بإحكام على قطعة العمل: لضمان مرور التيار بأمان، وتحقيق قوس لحام مستقر.

- اختيار نوع وقطر القطب المناسب (E6013 x 2.5 x 350/E6013 x 3.2 x 350 mm): لملاءمته لأعمال التشكيل واللحام العام وسهولة التحكم في القوس.
- ضبط قطبية التيار (تيار مستمر+DC) 70-90 أمبير: للحصول على انصهار مناسب وتقليل العيوب في اللحام.

ثانيًا: مرحلة القطع والتجهيز (Cutting and Preparation):



- قطع المقاطع المعدنية حسب المخطط العام.
- التأكد من استقامة أطراف القطع.
- إزالة الزوائد والحواف الحادة قبل التجميع.

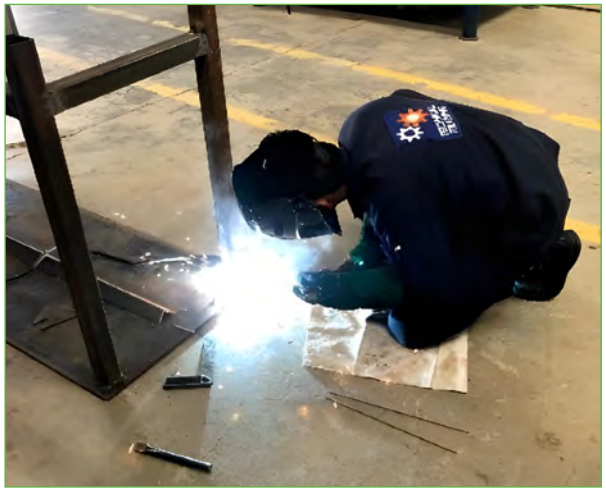
ثالثًا: تجهيز التجميع المبدئي (Initial Assembly):

- ترتيب أجزاء الطاولة على سطح مستوٍ.
- تثبيت الإطار الخارجي أولاً.
- تركيب الأرجل في مواقعها الصحيحة.
- استخدام الزاوية القائمة؛ للتأكد من دقة الزوايا.

رابعًا: لحام التثبيت (Tack Welding):

- تنفيذ لحامات تثبيت قصيرة في نقاط محددة.
- المحافظة على المحاذاة قبل اللحام النهائي.
- السماح بإجراء تعديلات قبل إكمال اللحام

خامسًا: تنفيذ اللحام النهائي لطاولة اللحام (Final Welding of the Welding Bench):



- لحام الإطار الخارجي للطاولة.
- لحام الأرجل بتوازن.
- لحام الدعامات العرضية لتقوية الهيكل.

مخاطر اللحام وإجراءات الوقاية
(Welding Hazards and Safety Precautions)

تُعدّ السلامة المهنية جزءًا أساسيًا من أعمال القطع والتشكيل في ورشة اللحام، حيث قد تنتج عن هذه العمليات مخاطر، مثل: الشرر المتطاير، وارتفاع درجات الحرارة، والأدخنة والغازات، لذلك يجب الالتزام بإجراءات الوقاية المناسبة؛ لضمان سلامة العاملين وجودة العمل المنفَّذ، وتتضمن إجراءات السلامة المهنية أثناء القطع والتشكيل والتجميع ما يأتي:

- ارتداء معدات الوقاية الشخصية المناسبة، مثل: خوذة اللحام، والنظارات الواقية، والقفازات المقاومة للحرارة، والملابس الواقية.
- تثبيت القطعة المعدنية جيدًا قبل القطع؛ لمنع انزلاقها، أو تحركها أثناء العمل.
- توجيه الشرر بعيدًا عن الأشخاص والمواد القابلة للاشتعال مع التأكد من سلامة أدوات ومعدات القطع قبل الاستخدام.
- تجنّب لمس الأجزاء الساخنة مباشرة وتركها لتبرد قبل المناولة.
- المحافظة على ترتيب موقع العمل وتوفير تهوية جيدة أثناء التنفيذ.
- إيقاف تشغيل معدات القطع واللحام بأمان عند التوقف، أو بعد الانتهاء من العمل.

تشطيب الأسطح في أعمال اللحام

(Post-Weld Surface Finishing)

تأتي مرحلة تشطيب الأسطح بعد الانتهاء من عمليات اللحام والتجميع، وهي مرحلة لا تقل أهمية عن اللحام نفسه، حيث تهدف إلى تحسين المظهر العام، ورفع مستوى السلامة، وزيادة عمر المنتج، وتندرج تحت هذه المرحلة عدة عمليات كالتنظيف لإزالة الخَبَث والبقايا المعدنية، وإزالة الحواف الحادة، والتنعيم، والطلاء لحماية السطح من الصدأ.

المراحل العملية لتشطيب طاولة اللحام
(Steps for Surface Finishing after Welding)

تشمل مرحلة تشطيب الأسطح بعد اللحام المراحل والخطوات الآتية:

- **أولًا: إزالة الخَبَث والزوائد المعدنية** (Removal of Slag and Metal Spatter)

1. إزالة الخَبَث المتكوّن بعد اللحام باستخدام مطرقة إزالة الخَبَث والفرشاة السلكية، أو باستخدام آلة الصقل/الجلخ.
2. تنظيف منطقة اللحام من البقايا المعدنية والأوساخ الناتجة عن عملية اللحام.
3. التأكد من خلو الوصلة من الخَبَث قبل الانتقال إلى مرحلة التسوية.

■ ثانيًا: تنعيم وتسوية اللحامات (Grinding and Smoothing of Welds)

1. صقل الزوائد المعدنية البارزة حول خط اللحام باستخدام آلة الجلخ وأقراص التنعيم المناسبة.
2. المحافظة على شكل خط اللحام وتجنّب المبالغة في الجلخ، حتى لا يُزال معدن الحشو الأساسي، أو التأثير في متانة الوصلة الملحومة.
3. التأكد من نعومة السطح بالفحص البصري واللمس اليدوي.

■ ثالثًا: تجهيز السطح للدهان أو الاستخدام (Surface Preparation for Painting or Use)

1. تنظيف السطح من الغبار وبقايا الجلخ.
2. إزالة أي آثار للزيوت، أو الصدأ إن وُجدت.
3. طلاء السطح بدهان مقاوم للصدأ.

السلامة المهنية أثناء تشطيب الأسطح
(Occupational Safety During Surface Finishing)

تشمل إجراءات ومتطلبات السلامة المهنية أثناء تشطيب الأسطح ما يأتي:

- ارتداء النظارات الواقية لحماية العينين من الشرر المتطاير أثناء الجلخ والتنعيم.
- التأكد من تثبيت قرص الجلخ بإحكام قبل تشغيل آلة الجلخ.
- استخدام القفازات المناسبة؛ لتقليل مخاطر الجروح، أو الحروق.
- توجيه الشرر المتطاير بعيدًا عن الأشخاص والمعدات والمواد القابلة للاشتعال.
- إيقاف آلة الجلخ بعد الانتهاء من العمل ووضعها في مكان آمن.

الفحص النهائي بعد الانتهاء من العمل (Final Inspection)

تُعَدّ مرحلة الفحص النهائي بعد الانتهاء من العمل خطوة أساسية؛ لضمان جودة التنفيذ وسلامة موقع العمل، وتهدف هذه المرحلة إلى الآتي:

- مراجعة المهمة المنفذة والتأكد من مطابقتها للمتطلبات.
- فصل مصادر الطاقة والتأكد من سلامة الموقع.
- تسليم العمل إلى المشرف، أو المُقيِّم، أو الجهة المعنية.
- فحص الأدوات والمعدات قبل إعادتها إلى المخزن.
- التخلص من المخلفات وفق إجراءات السلامة المعتمدة.
- تنظيف موقع العمل وتركه في حالة آمنة ومنظمة.

أسئلة الوحدة

1. ما أهمية العمل الجماعي في مشاريع اللحام؟
2. اذكر ثلاث معدات وقاية شخصية تُستخدم في ورشة اللحام.
3. لماذا تُعد إدارة الوقت مهمة أثناء تنفيذ المشروع؟
4. ما المخاطر المحتملة في ورشة اللحام، وكيف يمكن تجنبها؟
5. كيف يسهم تنظيم موقع العمل في تعزيز السلامة؟
6. ما أهمية التخطيط والرسومات الفنية في أعمال اللحام؟
7. اذكر ثلاثة مكونات أساسية للرسم الفني لطاولة اللحام.
8. لماذا يُفضل وضع خطة عمل منظمة قبل بدء التنفيذ؟
9. ما الفرق بين الرسم التنفيذي والرسم التجميعي؟
10. ما العلاقة بين التخطيط الدقيق وجودة اللحام النهائي؟
11. ما المقصود بالمخطط العام (Layout) في أعمال اللحام؟
12. اذكر ثلاث أدوات قياس تُستخدم في ورشة اللحام.
13. لماذا تُعد قائمة المواد مهمة قبل بدء التنفيذ؟
14. لماذا يُعد تثبيت كابل التأريض خطوة أساسية قبل بدء اللحام؟
15. لماذا يُستخدم لحام التثبيت قبل اللحام النهائي؟

16 ما أهمية ضبط شدة التيار أثناء اللحام؟

17 اذكر خطوتين لضمان استقامة هيكل طاولة اللحام أثناء التجميع.

18 ما الهدف من تشطيب الأسطح بعد اللحام؟

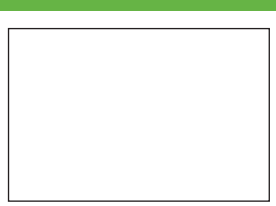
19 اذكر أداتين تُستخدمان في إزالة الخَبَث.

20 كيف يؤثر تشطيب الأسطح في السلامة داخل الورشة؟

21 ما أهمية الفحص النهائي بعد الانتهاء من تصنيع طاولة اللحام؟

رقم الإيداع
٢٠٢٦/٩٩م

www.moe.gov.om



اللحام وتشكيل المعادن