Republic OF Iraq

Ministry of Electricity

General Directorate of Electrical Energy

Production – Basrah

HARTHA POWER STATION

دورة

اللحام بالقوس الكهربائي

بأستخدام غاز الأرگون

2009

أعداد

قسم التدريب & التطوير

المهندس

زاهد عباس علوي

إسم الدورة :- اللحام بالقوس الكهربائي بأستخدام غاز الآركون (TIG) .

الهدف العام من الدورة :-

الهدف العام من الدورة أعداد كادر فني متخصص باللحام

بأستخدام غاز الآركون .

الفئة المستهدفة :-

الكادر المتخصص بأعمال اللحام (يشارك في هذا البرنامج من ترشحه المحطات وبحسب احتياجاتها التدريبية الخاصة) .

- الخبرة العملية : لا يقل عن (3) سنوات في مجال اللحام Tig & Arc للصفائح المعدنية.

الأهداف التفصيلية :-

بعد إكمال الوحدة التدريبية سيكون المتدرب القدرة على معرفة:-

١ - اجراءات السلامة الواجب اتباعها عند اللحام بغاز الآركون .
٢ - الهدف من اللحام .
٣ - طرق و أنواع اللحام .
٤ - مبادئ اللحام بأستخدام غاز الآركون .
٥ - مواصفات وأنواع الغازات المستخدمة في اللحام .
٦ - انواع الأجهزة المستخدمة باللحام .
٧ - أخطاء اللحام بالآركون .

الوقت المتوقع للتدريب :-

خمس و أربعون يوماً (45) – بواقع ثلاث ساعات يوميا (نظري + عملي).

موقع اقامة الدورة :-

محطة كهرباء الهارثة الحرارية _ قسم التدريب و التطوير (موقع التدريب النظري) + الورشة المركزية (موقع التدريب العملي) .

متطلبات المقابلة :-

- التركيز مع الاستعداد الذهني .
- التدريب العملي واتقان التمارين .
- المتابعة و المناقشة .

مستوى الأداء المطلوب :

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة إلى 100% .

الوسائل المساعدة لإنجاز الوحدة التدريبية :-

سوف يتم تغطية الموضوع بـ:

- محاضرات نظرية. تطبيقات عملية .

باستخدام المعينات التدريبية التالية:

أ - ملزمة حول الوحدة التدريبية .
ب - استخدام برنامج عرض الوسائل التعليمية Micro Soft PowerPoint
ت - جهاز العرض Data Show .
ث - صور فوتوغرافية لطرق وأوضاع اللحام .
ج - سبورة White Board .
ح - مؤشر ليزري لتسهيل إيضاح عرض محتويات الدورة .
خ - استخدام التعليمات في هذه الوحدة .
د - حاسبة شخصية لعرض محتويات الدورة .
ذ - استخدام التعليمات في هذه الوحدة .
ر - الممارسة العملية اليومية للحام .

التقييم :-

- الحضور. 15 %
- نظري . 25 %
- عملي . 60 %

وحدات التدريب المقترحة :

ت	اسم الوحدة	عدد الساعات لكل وحدة	الملاحظات
1	السلامة في لحام الآرغون		
2	مقدمة في تكنولوجيا اللحام		
3	لحام القوس الكهربائي بواسطة قطب التنكستون وغاز خامل (GTAW)		
4	مقدمة ، الخصائص النوعية للحام التيغ ، لحام التيغ، ماكنة اللحام، تيار مباشر ذو قطبية معكوسة ، تيار مباشر ذو قطبية مستقيمة ، تيار متردد عالي التردد، طول القوس واستهلاك الطاقة ، فرد اللحام، قطب التنجستون، شكلة ، تحضيره ، الغازات العازلة، منظم الضغط ، غاز الارغون ، أسلاك اللحام المستخدمة ، تجهيز وصلات اللحام للشرائح والأنابيب الحديدية الكربونية		
5	تحديد القيم التيارية للوصلات ، الحماية الخلفية لوصلة اللحام ، إجراء اللحام، أخطاء شائعة في عملية لحام الارغون.		
6	الغازات الخاملة المستخدمة باللحام		
7	اجراءات اللحام		
8	لحام الانابيب ، مقدمة ، اسلاك احام الانابيب ، وصلات الانابيب ، أوضاع لحلم الانابيب ، تصنيف اللحام من جهة الاداء ، حلات اللحام ، كفاءة وصلة اللحام .		
9	اخطاء لحام قوس التنكستون		
10	التطبيق العملي في لحام الانابيب (تمارين)		
11	وسائل ايضاح ومخططات		
12	الفصل الثالث اختبارات اللحام		
13	المصادر		

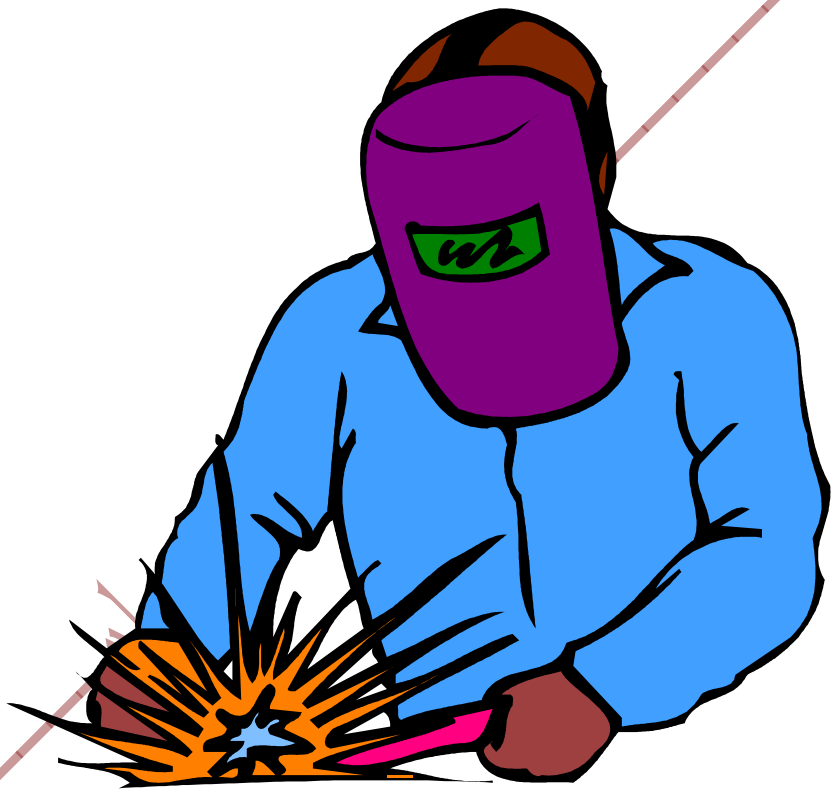
كافة الموضوعات المطروحة أعلاه سيتم تناولها بالتطبيق العملي على لحام الصفائح الحديدية بأوضاع مختلفة والأنابيب ضمن الوضعية المناسبة وذلك من خلال لحام خط الجذر آرغون ويتبعها لحام بالقوس الكهربائي المحجب لخطي التعبئة والتغطية .

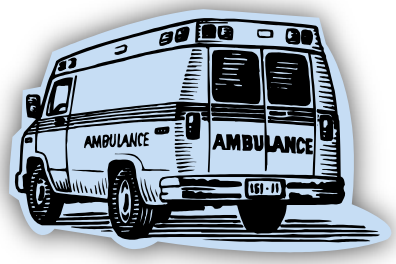
الفصل الأول

مقدمة في

شروط السلامة الواجب توافرها وأتباعها عند اللحام بغاز الآركون

Safety in Tig





السلامة في أعمال اللحام الأرغون

مقدمـــة

السلامة العامة : حماية الفرد من مخاطر مهنته ، تطور مفهوم السلامة العامة بحيث أصبح **يعرف بالعلم الذي يهدف لحماية عناصر الإنتاج** الثلاث :-

١ ـ *الأيدي العاملة .*
٢ ـ *الآلات والماكينات .*
٣ ـ *المواد (الأولية أو المصنعة) .*

وحالياً تأخذ بيئة العمل بعين الاعتبار.

تشكل تقنية اللحام أساسا" هاماً في التنمية الصناعية في جميع أنحاء العالم ، ولبيان ذلك يكفي أن تعرف أن اللحام هو أساس إنشاء المشاريع وربط الآلات وتجميع المصانع والأنابيب وغيرها .

أدوات الوقاية والأمن والسلامة

ليست عمليات اللحام بالقوس الكهربائي خطرة بمعنى أن استعمالها مصحوب بمخاطر وأضرار للأشخاص العاملين بها . ومثلها مثل مئات أو حتى ألوف الآلات والمعدات والأجهزة المستعملة في الصناعة والإنتاج لها متطلبات الوقاية والأمن والسلامة يجب مراعاتها .وأي إهمال في هذه المتطلبات سوف يعرض الأشخاص العاملين بها أو حولها للمخاطر.

*ولهذا تم تطوير بعض الأدوات و الأجهزة البسيطة لحماية الأشخاص العاملين باللحام ، لكن سلامة الأشخاص والممتلكات إنما تتناسب مع مقدار الانتباه الذي يتم إتباعه باستعمال هذه الأدوات، **وأهمها:***

Figure 5.4 Welding helmet.

١ - وجه اللحام :

بالإضافة إلى النور الباهر الذي ينتجه القوس الكهربائي فانه ينتج إشعاعات غير مرئية مثل الإشعاعات الفوق بنفسجية والإشعاعات تحت الحمراء وهي مضرة جداً للعيون والجلد .لهذا يجب عدم النظر الى القوس الكهربائي بالعين المجردة من مسافة تقل عن 15متر ، ولحماية العيون والوجه والرقبة من هذه الإشعاعات ومن الحرارة والشرر والمعدن المتطاير فقد تم تطوير ما يعرف بوجه اللحام.

ويصنع من مواد خفيفة وقاسية ،غير قابلة للحريق وعازلة للحرارة والكهرباء ، وهو على نوعين :

١ - ***النوع الأول*** ، يتم تثبيته على الرأس بواسطة طوق ومربط متحرك يسمح برفعه عن الوجه أو إعادته إليه حسب الحاجة عند بدء اللحام.ومميزات هذا النوع أن تكون اليدان حرتين،وهذا النوع هو الأكثر استعمالاً.

٢ - ***النوع الثاني*** ، وله ممسك يتم مسكه باليد ورفعه لحماية الوجه عند بدء اللحام .وفي هذه الحالة تكون إحدى اليدين مشغولة بإجراء اللحام والثانية مشغولة بمسك وجه اللحام، والحقيقة أن هذا النوع إنما يستعمله المدربون أو الفاحصون لمراقبة الطلاب أو العمال أثناء قيامهم باللحام.

ولكلا النوعين شباك صغير يركب عليه زجاج معتم ولكنه يسمح برؤية القوس ومراقبة خط اللحام عن كثب ، كما يحمي العينين من النور الباهر والإشعاعات الضارة .وللزجاج المعتم درجات في التعتيم ، فهناك أنواع أشد سواداً من الأخرى ، ويعتمد انتقاء درجة التعتيم على شدة التيار المستعمل في اللحام كما ذكرنا سابقاً .

وتكون أرقام هذه الدرجات مبينة على الزجاج عند شرائه فيجب التأكد من هذه الأرقام قبل استعمالها .

ويكون هذا الزجاج عرضه للشرر المتطاير مما يتسبب في تشويهه ومع المدة يسبب حجب الرؤية وحيث أن هذا النوع من الزجاج غالي الثمن نسبياً فقد درجت العادة استعمال زجاج أبيض شفاف لحماية الزجاج المعتم ويتم تركيب هذا الزجاج فوق الزجاج المعتم في شباك وجه اللحام كما يتم تغييره من فترة لأخرى لأنه أرخص ثمناً من الزجاج المعتم .

٣ - كفوف اللحام :

يجب استعمال كفوف اللحام أثناء العمل لحماية الأيدي من الإشعاعات المحرقة والحرارة العالية والشرر المتطاير . وهي تصنع عادة من الجلد المدهون بمادة الكروم وتكون غير موصلة للحرارة . ويشترط في كفوف اللحام أن تكون طرية وطويلة وأن لا تصبح قاسية مع الاستعمال او تصبح اصغر حجماً من الحرارة وتجب العناية بهذه الكفوف وعدم تعريضها للرطوبة أو الماء أثناء اللحام او استعمالها لتنظيف طاولة اللحام او القطعة المراد لحامها . لأن ذلك يساعد على سرعة اهترائها

Figure 5.1 Properly dressed welder.

٤ - غطاء الرأس :

يجب ارتداء غطاء الرأس قبل وضع وجه اللحام وهو عبارة عن طاقية لتحمي الشعر من الشرر والغبار والشوائب المتطايرة اثناء عملية اللحام أو تكسير ونزع البودرة المتجمدة على اللحام

٥ - مريول اللحام :

يصنع مريول اللحام عادة من الجلد المدهون بمادة الكروم كما في كفوف اللحام أو من مواد غير قابلة للحريق وعازلة للحرارة ويجب أن لا تتصلب أو تصبح قاسية مع طول الاستعمال والمريول يحمي الملابس من الشرر والشوائب الملتهبة الحامية كما يحمي الجسم من حرارة اللحام والإشعاعات المختلفة .

Figure 5.2 Boots, leathers, gloves.

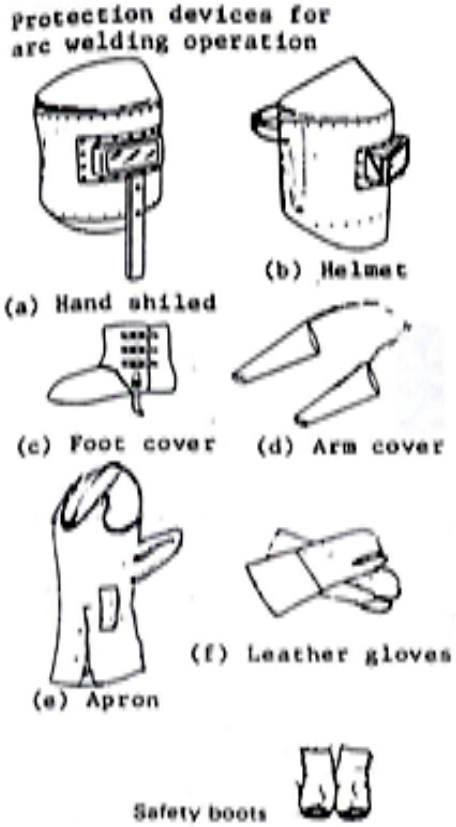
6- حذاء اللحام :

تكون أحذية اللحام من نوع الجزم الطويلة ويجب أن تظل محكمة الربط لأن الشرر والشوائب الحامية تدخل الأحذية العادية وتسبب حروقاً مؤذية .

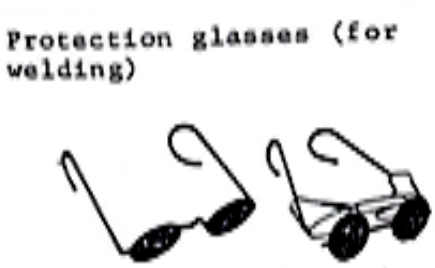
٨ - النظارات :

عند رفع وجه اللحام لتنظيف خط اللحام من البودرة المتجمدة بواسطة المطرقة والفرشاة يجب أن تكون العينان محميتين من هذه الشوائب المتطايرة وعليه يجب استعمال النظارات الخاصة لمثل هذه الأعمال وهي عادة نظارات ذات زجاج صاف أبيض لها جوانب لحماية العين من دخول أي شوائب من الجنب .

Figure 5.3 Safety glasses.



شكل (١٧)



شكل (١٩)

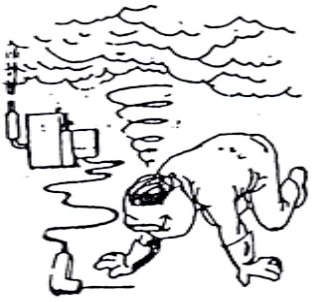
شكل (٢٠)

٩ مكان العمل :

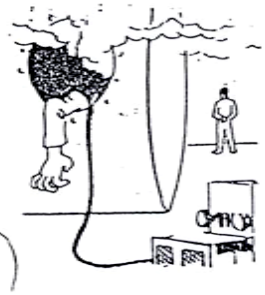
يجب اختيار مكان العمل بحيث تتوفر فيه الشروط التالية :

- **النظافة :** يجب أن يكون مكان العمل نظيفاً وبعيداً عن المواد القابلة للاحتراق وخالياً من بقع الزيوت والشحمة والخرق الوسخة وخصوصاً المستعملة في غسيل أو تنظيف القطع بالسولار أو البنزين كما يجب الابتعاد عن الأماكن التي توجد فيها قطع حديدية مبعثرة على الأرض لئلا تكون سبباً في قطع كوابل اللحام أو سرعة اهترائها .

١ – **التهوية :** يصحب عمليات اللحام دائماً توليد غازات وأبخرة ودخان بكميات كبيرة ، فإذا تم اللحام داخل مشاغل أو مصانع أو أمكنة محصورة فإنه يجب التأكد من أن النوافذ والأبواب كافية لضمان تهوية مستمرة أثناء اللحام والتهوية الكافية هي التي تضمن تغيير الهواء في المشغل او المكان الذي يتم فيه اللحام بمعدل أربع مرات في كل ساعة واذا لم تتوفر امكانية التهوية الطبيعية فمن الواجب تركيب مراوح سحب كافية لهذه الغاية اما اذا تم اللحام في أمكنة محصورة فإنه يجب تركيب مراوح سحب كافية وليس كمامات خاصة .



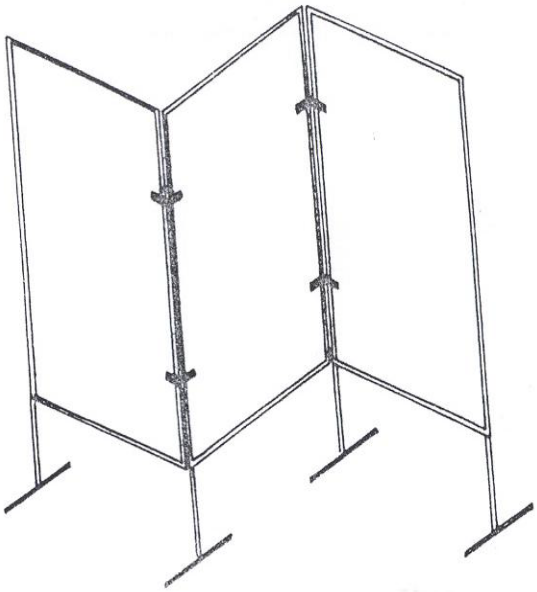
Conduct engine exhaust to outside atmosphere.

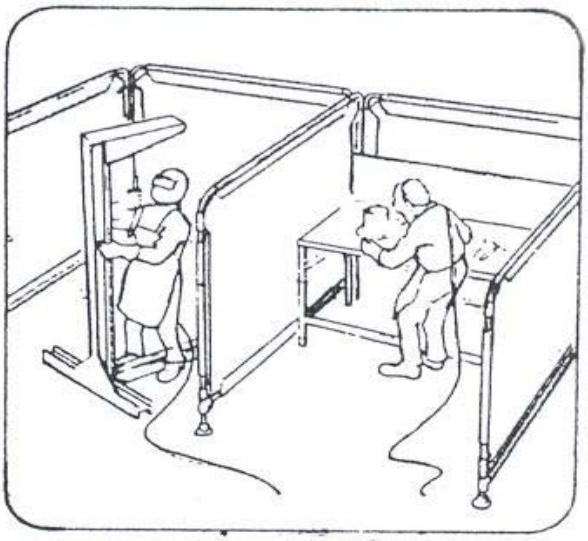


In confined spaces, adequate ventilation and constant observation are essential.

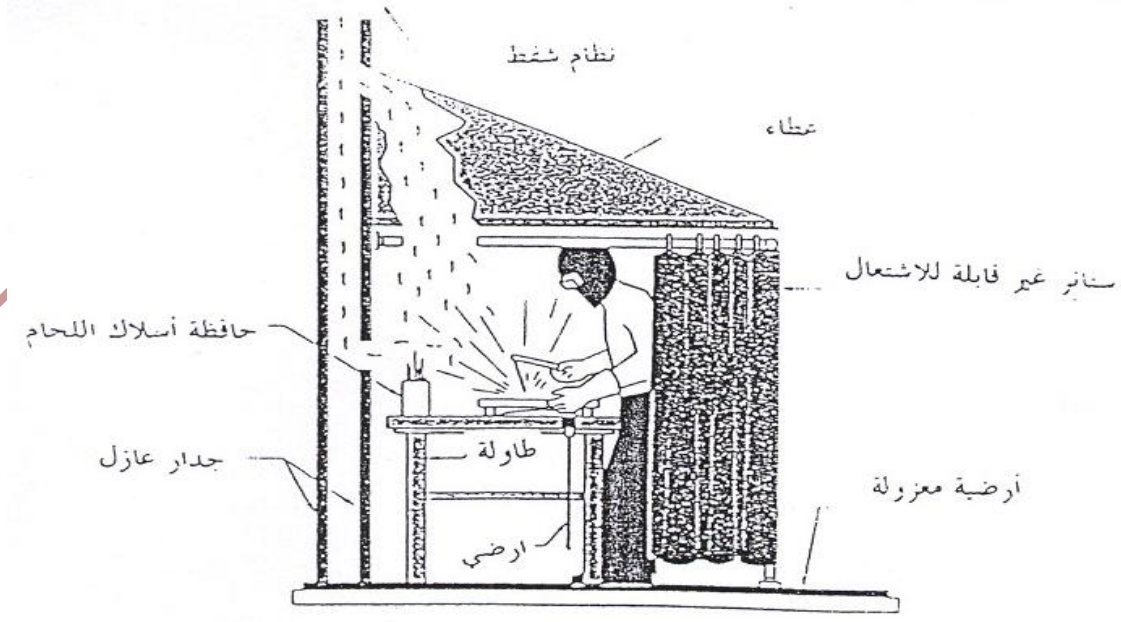
هناك أبخرة وغازات يجب عدم استنشاقها وهي التي تحوي الرصاص والكادميوم وأكسيدات النيتروجين لذا فإننا عند إجراء لحام أو قص بالقوس الكهربائي أو الاكسي استلين لأي مواد رصاصية أو المعادن المطلية بمواد فيها معدن الكادميوم أو المعادن المدهونة بدهانات الرصاص يجب ان نحرص على لبس كمامات خاصة ، كما يجب استعمال مراوح سحب بالقرب من القطع التي يتم لحامها أو قصها لطرد هذه الغازات بعيداً عن العاملين .

٢ – **الحواجز والستائر :** في المشاغل أو المصانع أو الأمكنة التي يكثر فيها العمال يجب توفير احتياطات السلامة والوقاية للعمال الآخرين عند اجراء عمليات اللحام فيجب وضع حواجز أو ستائر بجانب عمليات اللحام لحجب الاشعاعات ونور القوس الباهر عن الأشخاص القريبين من مكان اللحام ، ومن الأنواع الكثيرة الاستعمال ما يدعى الستائر المتنقلة وهذه يمكن طيها عند عدم الحاجة وتأخذ حيزاً كبيراً عند وضعها حول عمليات اللحام كما هو بالشكل أدناه .





شكل (٢٢)



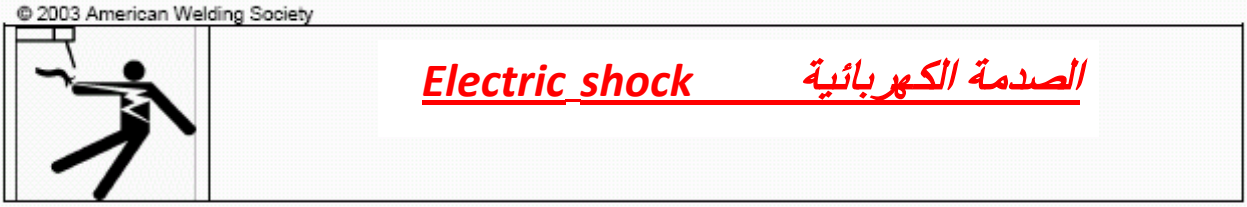
كابينة لحام مصممة للحام آمن

المخاطر التي يتعرض لها اللحام أثناء عملية اللحام بالآركون

ليست عمليات اللحام بالقوس الكهربائي بواسطة لحام التيج خطرة بمعنى أن استعمالها مصحوب بمخاطر وأضرار للأشخاص العاملين بها ، ومثلها مثل مئات أو حتى ألوف الآلات والمعدات والأجهزة المستعملة في الصناعة والإنتاج ، لها متطلبات للوقاية والأمن والسلامة يجب مراعاتها وأي إهمال في هذه المتطلبات سوف يعرض الأشخاص العاملين بها أو حولها لمخاطر عديدة سوف تناول شرحها بالتفصيل والتي هي :-

1- الحروق
2- الحرائق والانفجارات
3 - الصدمة الكهربائية
4- الإشعاعات
5 - الضجيج
6- الحرارة
7- الدخان
8- الأغبرة
9- الأبخرة والغازات

****



تعرف الصدمة الكهربائية *بأنها تغير مفاجئ في عمل الجهاز العصبي والعضلي للجسم نتيجة مرور التيار الكهربائي فيه .*

ومن المعلوم فإن التيار الكهربائي لا يسري إلا في دائرة كاملة ، وهو شرط أساسي في سريان التيار الكهربائي ومن هنا إذا كان الإنسان في وضع يسمح بتمرير التيار الكهربائي خلال جسمه فلا بد أن تحدث صدمة كهربائية

وعلى الرغم من أن فرق الجهد الكهربائي يكون غير مرتفع أثناء عملية اللحام حيث لا يتجاوز الـ (100) فولت إلا أن هناك خطر حدوث الصدمة الكهربائية أثناء عملية اللحام سواء لعدم التأريض أو أن كابلات اللحام تكون غير معزولة تماماً أو متهرئة وكذلك الحال بالنسبة لمقبض اللحام وكذلك قلة كفاءة كفوف اللحام والعمل في الأماكن ذات الرطوبة العالية .

وتزداد الخطورة إذا تمت عمليات اللحام في مستويات مرتفعة عن سطح الأرض وحصلت الصدمة الكهربائية حيث تكمن الخطورة في سقوط الشخص من سطح مرتفع إذا مر التيار الكهربائي من خلال عضلة القلب .

وهنا يجب تعريف بعض مصطلحات الفولت المتعلقة بالحام القوس الكهربائي وهي :-

١ - **فولت دائرة اللحام المفتوحة (Open circuit voltage-OCV-) :**

هو الفولت الذي تولده ماكينة اللحام عندما لا يكون اللحام جارياً أي الفولت المتوفر في الماكنة وهي شغالة قبل بدء القوس الكهربائي وهو يصل في حده الأقصى إلى (80) فولت .

٢ - **فولت قوس اللحام (ARC voltage) :**

هو الفولت المتوفر بين طرفي القوس الكهربائي أثناء اللحام وهو دائماً أقل بكثير من فولت الدائرة المفتوحة ويتراوح بين (18-30volt) وربما يكون أكثر قليلاً تبعاً لتصميم ماكنة اللحام .

٣ - **فولت التماس الكهربائي :**

وهذا الفولت عادةً يكون صفراً ويتم ذلك عندما تلمس القطعة المراد لحامها سلك اللحام لبدء القوس الكهربائي .

٤ - **فولتية المصدر (Power supply) :**

هي الفولتية الواصلة للملف الابتدائي لماكنة اللحام وبما أن كونه أحادية الطور (220volt) أو ثلاثية الأطوار (380 volt) ذو تيار متردد 50Hz .

والشكل التالي يوضح مواقع حدوث الصدمة الكهربائية .

العوامل المؤثرة في حدوث الصدمة الكهربائية لعامل اللحام :

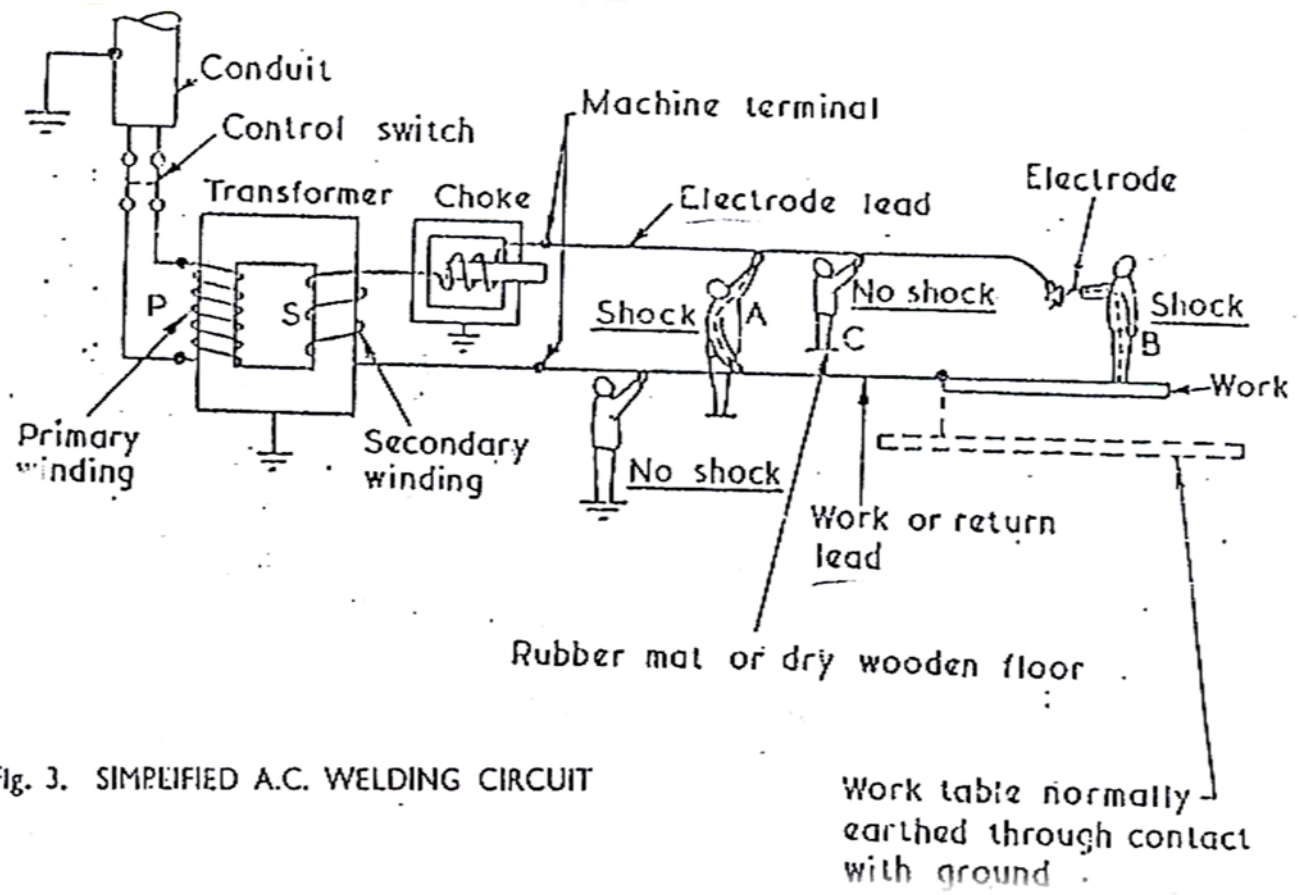


Fig. 3. SIMPLIFIED A.C. WELDING CIRCUIT

- تركيب ووصل خاطئ للآلة والتجهيزات .
- عدم التقيد بمقاس ومواصفات كابلات اللحام وطرق صيانتها .
- عدم التقيد بمواصفات فرد اللحام المناسب وطرق صيانته .
- عدم التقيد بمواصفة مربط الكيبل الأرضي المطلوب .
- سوء التعامل مع ماكينة اللحام وصيانتها الدورية.

- **العمل في الأجواء المفتوحة .**

يجب مراعاة مستوى الحماية في ماكينة اللحام للأجواء الخارجية من أمطار ، أبخرة وغبار وعادة ما تكون درجة الحماية مطبوعة على اللوحة الاسمية لها ضمن رمز (كود) الحماية (Ingress protection (IP)) وفي حال العمل ضمن أجواء ماطرة بغزارة أو عالية الرطوبة يجب اتخاذ كافة احتياطات السلامة من توفر الأغطية اللازمة للحام والمعدات وقطعة العمل على السواء .

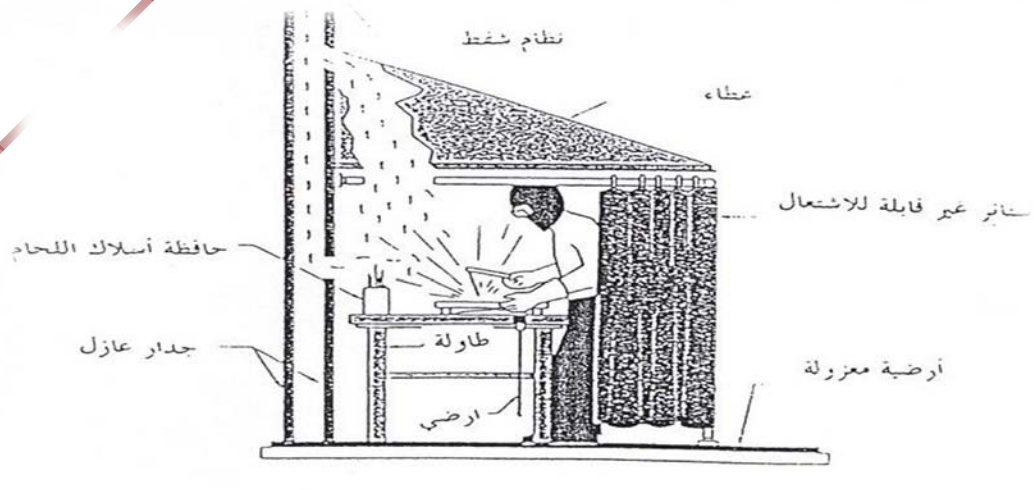
* الاشعاعات Arc radiation

تنتج أثناء عملية اللحام ثلاثة أنواع من الإشعاعات هي :-

١ - **إشعاعات مرئية (visible light) :**

يكون الطول الموجي لهذه الإشعاعات ما بين (400 – 700) نانوميتر ، وتنعكس هذه الإشعاعات عن الجدران والأشياء الأخرى وتسبب الإجهاد لعضلات العين وفي حال التعرض لتراكيز عالية منها فإنها قد تسبب فقدان الرؤية لفترة مؤقتة ، ولهذا وجب احتراس الأشخاص المتواجدين في منطقة العمل أو الذين يعملون في مجال اللحام إذا لم يرتدوا الواقيات المناسبة .

وبذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار كيفية تهيئة المكان المناسب ليتلائم وطبيعة العمل المطلوب والشكل التالي يبين كابينة لحام تنطبق عليها شروط الأمن والسلامة المهنية .



كابينة لحام مصممة للحام آمن

٢ -الأشعة تحت الحمراء (Infrared (heat)) - غير مرئية :

يكون الطول الموجي لهذه الإشعاعات أعلى من (700) نانوميتر ، وتنبعث من الحرارة العالية اللازمة لصهر المعدن في لحام القوس الكهربائي . وقد ينتج عن التعرض لها حروق في الشبكية والتعرض بكميات كبيرة لها ينتج عنه تكون الماء الأزرق في العين (وهو عبارة عن غشاء شفاف يتكون حول عدسة العين) .

وكذلك قد تسبب الأشعة تحت الحمراء حروق واحمرار في الجلد ما لم يكن اللحيم محمياً بملابس واقية لهذه الغاية .

٣ - الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet radiation) - غير مرئية :

هي أشعة غير مرئية طولها الموجي أقل من 400 نانوميتر ، ينتج عن التعرض لها حروق للجلد واحمرار للعينين ومن أعراضه يشعر المصاب بأنه يوجد رمل في عينيه وحساسية للضوء مع تساقط الدموع .

والجدير بالذكر أنه ينتج عن تفاعل الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء مع مكونات الهواء بعض الغازات المهيجة للجهاز التنفسي مثل غاز الأوزون ، وأكاسيد النيتروجين بالإضافة إلى ذلك قد ينتج غاز الفوسجين وذلك في حالة تنظيف القطع المعدنية بواسطة المذيبات العضوية كثلاثي كلوريد الأيثلين

وعموماً للوقاية من هذه المخاطر الناجمة من إشعاعات غير المرئية يجب ارتداء الملابس الصوفية أو القطنية المعالجة لحماية الجلد واستخدام واقيات الوجه المناسبة ذات العدسات الخاصة . مع ضرورة التأكيد على حماية الأشخاص القريبي التعرض الى الاشعاع القوسي وذلك باستخدام الحواجز والستائر بجانب عمليات اللحام لحجب الاشعاعات ونور القوس الباهر .

Never watch the arc except through filters of the correct shade.

والجدول التالي يوضح درجة التعتيم لكل من لحام القوس الكهربائي بواسطة التيج وعلاقتها مع شدة التيار ودرجة التعتيـــم :-

جدول رقم (١)

دليل درجة الظليه لعدسات الترشيح عند اللحام بالقوس الكهربائي				
اسم العملية	سلك اللحام (مم)	شدة التيار (أمبير)	درجة التعتيم	
			الحد الأدنى	المناسب
اللحام بالقوس الكهربائي	اقل من ٢,٥	اقل من ٦٠	7	7
	2.5 - 4	60 - 160	8	10
	4 - 6.4	160 - 250	10	12
	اكثر من ٦,٤	من ٢٥٠ – ٥٥٠	11	14
لحام الماغ والميغ		اقل من ٦٠	7	7
		60 - 160	10	11
		160 -250	10	12
		250 - 550	10	14
لحام التيغ		اقل من ٥٠	8	10
		50 - 150	8	12
		150 - 500	10	14
القطع الخفيف		اقل من ٥٠٠	10	12
القطع الثقيل		500 -1000	11	14

© 2003 American Welding Society

* الضجيج Noise

إن الضجيج الصادر عن عمليات اللحام من شعلة الاحتراق ، القوس الكهربائي أو من عمليات الجلخ المرافقة لعمليات اللحام التي يعمل فيها مستوى الضجيج إلى 108 dB(A) بشكل عام قليلاً نسبياً .

لكن هناك بعض أماكن العمل التي قد تكون مزعجة وتؤثر على درجة التركيز لدى عمال اللحام ومن المعروف ان الضجيج يسبب تعب واجهاد وصداع اضافة الى ارتفاع في ضغط الدم واذا ما زادت فترة التعرض للضجيج فانها قد تسبب فقدان السمع وان اكثر ما يسبب ازعاجاً في مجال اللحام والقص هو القص بواسطة الهواء والقوس الكهربائي وهو ما يسمى AIR ARC GOUGING .

والجدول التالي يوضح العلاقة بين شدة الصوت ومدة التعرض المسموح بها :

مخاطر الضجيج والأصوات	
القيم المسموح بها للتعرض للضجيج والصوات	
الزمن : ساعة / اليوم	مستوى الضجيج: DBA
8	85
4	92
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0.5	110

وللوقاية من هذه المخاطر يمكن استخدام سدادات من الفلين داخل صيوان الأذن او واقيات خاصة بالأذن او عزل مصدر الضجيج الى أقصى حد ممكن باستخدام مخمدات الصوت....

البحوث & الدراسات

مخاطر الحريق و الانفجار
Fire and explosion hazards

١. الحريق (Fire)

عملية انصهار القطع ولحامها بالقوس الكهربائي و ما يتولد عنها من درجات حرارة مرتفعة تصل لغاية (5500c°) وهذه الحرارة لا تشكل خطورة بحد ذاتها فالخطر من الحريق ينتج عند سقوط الأجزاء المعدنية الملحومة في منطقة العمل بالقرب من مواد قابلة للاشتعال .

ويمكن تصنيف هذه المواد إلى ثلاثة مجموعات :

- **السائلة : الزيوت ، الدهان ، مواد بترولية ....**
- **الصلبة : الخشب ، أوراق ، كرتون.....**
- **غازية : هيدروجين ، أستلين ، .....**

لذلك يجب اتخاذ الاحتياطات الكافية بالإضافة إلى توفير واستعمال طفايات الحريق المناسبة خوفاً من اندلاع الحريق ، فالإجراء المطلوب مثلا لحرائق ذات التصنيف (C) المتعلقة بحرائق الغازات مثل الاستيلين يبدأ أولا بفصل وإغلاق مصدر الغاز .

* طفايات الماء والرغوة لا يجب استخدامها لإطفاء حرائق الناتجة عن الكهرباء.

* مراقبة جهة سقوط الأجزاء المعدنية الملحومة من منطقة اللحام أمر هام فعلى سبيل المثال لو وجدت مواد قابلة للاشتعال أو خطوط هيدروليك في منطقة العمل ولم تستطع نقل هذه المواد أو تغيير منطقة اللحام فيجب استعمال واقي مضاد للحريق .

التأكد من عدم وجود مواد مشتعلة في الأسفل عند إجراء اللحام في مناطق مرتفعة أو السلالم وأيضاً لا تنسى أمر مساعد اللحيم أو العاملون في منطقة عملك من تحذيرهم من هذا الخطر.

قبل الشروع في اللحام تفحص سطح قطعة العمل من وجود طبقة قابلة للاشتعال (flammable coating) أو مواد غير معروفة قد تشتعل بفعل الحرارة لأن حصول الحريق الكبير وخطر الانفجار مرتبط بإجراء اللحام على أو محيط خزان- أنبوب يحتوي على مواد سريعة الاشتعال ، وهذا العمل يفترض أن يقوم به لحيم ذو خبرة عالية على دراية شاملة بأمور السلامة المتعلقة بهذا النوع من اللحام أو القطع في الأوعية الحاوية على مواد سريعة الاشتعال.

لذا يجب اتخاذ كافة تدابير السلامة اللازمة من :

- إرتداء الملابس الواقية التي تحمي الجسم و ملابسه العادية من التعرض للشرر آو الأجزاء المعدنية المتطايرة والتي لا تحتوي على جيوب أمامية ، مع مراعاة عدم رفع الأكمام ، وإدخال رجل البنطال داخل الجزمة آو القميص داخل البنطال.
- عدم ارتداء الملابس المبللة بالزيوت آو الشحوم .
- ارتداء حذاء جلدي لحماية القدمين.
- إبعاد المواد القابلة للاشتعال من منطقة اللحام ومنع التدخين في المناطق الحاوية لها .
- يجب وضع إشارة تحذيرية يوضع عليها (ساخن)على المواد التي تم لحامها لتحذير الآخرين من حملها وهي ساخنة ، وكقاعدة عامة يجب اعتبار جميع المواد على قاعدة اللحام ساخنة والحذر من ملامستها آو حملها بدون استخدام واقيات الحرارة.

Use only flame resistant clothing .

- تحديد موقع نقطة الحريق (fire alarm) وطفايات الحريق مع تفقد ضغطها ومدى جاهزيتها حتى لا تتفاجأ بأنها فارغة عند الحاجة إليها.
- وفي حال عدم توفرهما تأكد من توفر أية معدات مستخدمة لمكافحة الحريق من خراطيم إطفاء ، دلو رمل ، غطاء مقاوم للحريق (Fire –Resistant Blankets).
- التأكد من وجود شخص مراقب (Fire Watcher) لتطاير الشرر آو للحريق في حال اندلاعه عند إجراء اللحام ضمن مدى (35feet) في حيز للمواد المشتعلة (في تطبيق اللحام بواسطة القوس الكهرائي) ، للمساعدة أيضاً في تشغيل نظام الإنذار ،الإطفاء .وقد يستلزم في بعض الأحيان الانتظار لمدة نصف ساعة بعد إنهاء كافة أعمال اللحام لتحري أية دخان ناتجة عن حريق مخفي إن وجد .
- وكقاعدة عامة في حالات الطوارئ و ما ينتج عنها من حوادث الحريق **نوصي أولاً** بعدم الفزع **(Don't Panic)** واعتماداً على تقديرك لحجم الحريق الحاصل أطفئ ماكنة اللحام ، شغل أقرب نقطة تنبيه الحريق حالاً لتحذير الآخرين واستدعاء فرقة المطافئ وحاول إطفاء الحريق عند الإمكان بواسطة أجهزة الإطفاء المتوفرة ، ولكن من غير أن تعرض النفس للخطر مع المحافظة على تواجدك قريباً من مخرج آمن (Fire Exits) .

٢ . الانفجار (Explosion) :

هذا النوع من الأخطار يحدث عند التعامل مع أوعية الغاز المضغوطة (Compressed Gas Cylinder) أو حاويات كانت تستخدم لخزن مواد سريعة الاشتعال ، متفجرة .

فاحتمالية وجود هذه المواد داخل الشقوق ، الوصلات كثيرة لذا يجب التعامل مع هذه النوعية من اللحامات بحذر شديد وعناية عالية والتمرن عليها لتجنب الحوادث المؤلمة ناتجة عن سلك اللحام أو أن مقبض اللحام أو أي شيء مشحون بالطاقة يلامس أوعية الغاز المضغوطة .

وإزالة المواد الخطرة بواسطة البخار أو الغليان (Steaming or Boiling out) ، و في حال عدم القدرة على إزالتها كلياً نعمل على ملىء الحاوية بالماء ، غاز خامل ، أو نمرر بخار.

Never strike an electrode on any gas cylinder.

- خطر المعادن الساخنة (Hot metal hazard)

على اللحام اخذ الحيطة والحذر عند التقاط القطع المعدنية الملحومة للتو، أو المعالجة حرارياً بدون وسائل الحماية المتوفرة ، وهذا ينطبق أيضا على أسلاك اللحام بعد الانتهاء منها مباشرة ،وبدلاً من تكرار هذا التحذير وجد أن التجاوب مع هذا التحذير لا يتم إلا عندما يلتقط اللحيم القطع المعدنية الساخنة .

- خطر الجلخ وتنعيم المعادن (Grinding and chipping hazard)

عندما نلجأ إلى تنعيم القطع المعدنية ، وجلخها من اللحام الزائد من الضروري لبس نظارات الوقاية (Protective Goggles) المصنوعة خصيصاً لهذا الغرض وبذلك نتجنب وصول الغبار والمواد الضارة إلى العين وتمنع الإصابات.

* خطر الحرارة (Heat hazards)

يؤدي التعرض إلى جرعات من الحرارة إلى تولد اجهادات حرارية وقد تؤدي هذه الاجهادات إلى حدوث ضربة الشمس القاتلة حيث أن جهاز التبريد في الجسم يتوقف عن العمل .

يتعرض عمال اللحام للاجهادات الحرارية نظراً لارتدائهم ملابس ثقيلة للوقاية من الحروق التي قد يتعرضون لها بالإضافة إلى تعرضهم للحرارة الناتجة عن عمليات اللحام .

- **خطر التردد العالي (High frequency)**

في تقنية لحام الأرغون تكون ماكينة اللحام مزودة بوحدة لرفع تردد التيار (High frequency unit) إلى ما يقارب (0.3 ~ 30 MHz) وذلك بهدف تسهيل إشتعال واستقرارية القوس وبفولتية عالية تقدر بآلاف ، نظراً لاستمرارها فقط لفترة جزء من الثانية - **microseconds** - وبقيمة تياريه منخفضة جداً ، فإنها لا تسبب الصدمة الكهربائية ولكن الخطورة تكمن في الرهبة-الفزع للحيم مؤدية إلى سقوطه من مكان مرتفع أو إيذاء نفسه.

وفي العادة ينشأ عن هذه الترددات العالية إشعاع كهرومغناطيسي على طول الكوابل وينبغي الحرص على عدم تشويشها على معدات تحكم والقياس في موقع اللحام .

- **خطر الاهتزاز (Vibration hazards)**

عادة ما يؤدي الاستعمال الكثير للمعدات التي يصدر عنها اهتزازاً أو حركة دورية عالية التردد ولفترات زمنية طويلة إلى متاعب في ألايدي وخاصة منطقة الأعصاب الواصلة للأصابع بمرض يسمى "white finger" _ (Raynand"s phenomenon) ، ومن هذه المعدات مطرقة الجلخ chipping hammer ولهذا يجب تقليل العمل على تلك المعدات لأقصر فترة زمنية ممكنة، مع استخدام واقيات الأذن للترددات الصوتية (90dB) لفترات زمنية تزيد عن أل (8) ساعات.

- **تصميم منطقة العمل (Designation of hazardous areas)**

قد يستلزم في بعض الأحيان تقيد حركة الدخول إلى منطقة العمل بإستثناء المصرح لهم و المتعاملون مع الوقاية و الأمن والسلامة ، فاللافتات التحذيرية مهمة تواجدها كما نرى و تكون مطلوبة عندما :

١- يكون هناك خطر لإشعاع من القوس الكهربائي ، توضع لافتة تحذر من النظر وبضرورة لبس النظارات الواقية .

٢- خطر الضجيج وتصرح بعبارة (Ear Protection Area) وذلك ضمن القيم والفترات الزمنية المسموح بها خلال العمل .

EXAMPLES FROM NEMA EW6

These symbols with hazards are recommended and endorsed by the American Welding Society Labeling and Safe Practices Committee anytime optional symbols are used on a precautionary label.

HAZARD	SOURCE OF HAZARD	SYMBOL	SOURCE
Electric Shock	Welding Electrode		ISO, FMC, NEMA
Electric Shock	Wiring		ISO, FMC
Electric Shock	Welding Electrode and Wiring		ISO, FMC, NEMA
Fumes and Gases	Any Source		FMC, NFMA
Fumes and Gases	Welding Fumes and Gases		ISO, FMC, NFMA
Arc Rays	Welding Arc		ISO, FMC, NEMA

ERGONOMICS IN THE WELDING ENVIRONMENT

CONFINED SPACES

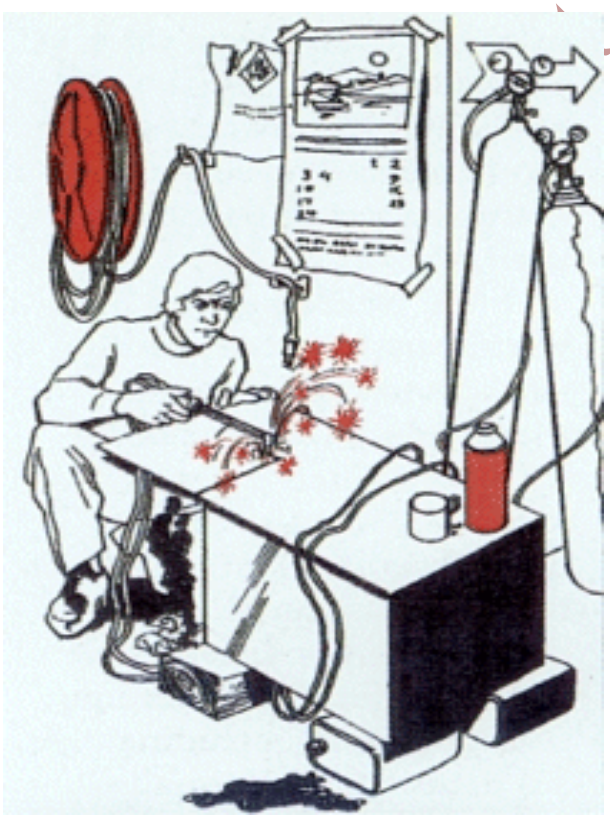
MECHANICAL HAZARDS

TRIPPING AND FALLING

والشكل التالي يعطي صورة إيضاحية عن التطبيق الصحيح و الخاطئ في لحام القوس الكهربائي ومدى الخطورة منها

The contrast between good and bad practice in arc welding

Bad practice **Hazards** **Good practice**



مخاطر الدخان والغازات

تتولد الأدخنة (Fumes) عند انصهار المعادن أثناء عملية اللحام وبالتالي تنبعث الأبخرة ، وعند تعرض هذه الأبخرة للهواء الجوي تتأكسد ، اضافة إلى أن هذه الأبخرة عندما تبرد فإنها تتكاثف بسرعة مشكلة ذرات صلبة وخصوصاً في المنطقة القريبة من نهاية سلك اللحام .

اذن يكون الدخان على شكل ذرات صلبة ناتجة عن تكثف المواد التي تكون في الحالة الغازية ويكون حجمها بحده الأقصى (100 µm) حسب الشكل المرفق بحيث يصعب رؤيتها بالعين المجردة .

تشكل الأدخنة خطورة عالية على صحة العمال المشتغلين باللحام حيث أن هذه الذرات لديها القدرة على التغلغل في الجهاز التنفسي داخل الرئتين وتسبب تلف لسطح الرئتين أو أنها تذوب وتنتقل مع الدم الى أجزاء الجسم المختلفة مؤدية الى عوارض مرضية مختلفة .

وتعتبر أسلاك اللحام والمعادن المغطاة بطبقة واقية من الزنك او الكاديوم عند انصهارها هي المصدر الرئيسي للأدخنة .

- **ومن أخطر أدخنة المعادن المسببة في ايذاء عامل اللحام في حال التعرض لجرعات كبيرة منها وبنسب تتجاوز الحد التعرض المهني المسموح فيه !**

البريليوم : وهو إحدى مكونات لدائن النحاس ، المغنيسيوم ، والألمنيوم .

قد يؤدي التعرض إلى جرعات كبيرة منه إلى حدوث الحمى وتكون أعراض ذلك الشعور بالبرد والزكام جفاف الحلق والفم ، التعب ، التقيؤ ، والصداع وتظهر هذه الأعراض بعد عدة ساعات من التعرض . يؤدي التعرض لمدة طويلة لأدخنة البريليوم إلى أمراض في الجهاز التنفسي وتكون الأعراض على شكل زكام وصعوبة في التنفس بالإضافة الى أنه قد يسبب السرطان وقد يؤدي للوفاة .

الكادميوم : يؤدي التعرض له إلى حدوث الحمى وقد يؤدي كذلك إلى تجمع السوائل في الرئتين التي قد تؤدي الى الوفاة ويعتبر من المواد المسرطنة .

الرصاص : يتجمع في أنسجة الجسم المختلفة ويسبب الانيميا نتيجة الخلل في كريات الدم الحمراء بالاضافة الى آلام في الكلى والجهاز العصبي.

النيكل : يسبب الحساسية وبعض الأنواع منه مسرطنة .

الزنك : ينتج عن التعرض لجرعات كبيرة منه الى حدوث الحمى .

الأغبرة : ينتج عن بعض عمليات التنظيف المرافقة لعمليات اللحام ، مثل أغبرة السليكا وعادة يكون حجم ذرات الغبار أكبر من ذرات الأدخنة وقد تصل الذرات التي يكون حجمها أقل من عشرة ميكروميتر الى الرئتين

يسمى المرض الناتج عن غبار السيليكا (سيليكوسيس) وتكون أعراضه صعوبة في التنفس .

- **يرافق عمليات اللحام انطلاق العديد من الغازات (gases) والأبخرة الناتجة عن الحرارة والأشعة فوق البنفسجية الموجودة في الغلاف الجوي وأهم مصادرها :-**

١ - غازات الاشتعال Fuel gases وما ينتج عنها من ثاني وأول اكسيد الكربون .
٢ -غازات الحجب والحماية Shielding gases مثل الآرجون ، هيليوم ، ثاني اكسيد الكربون .
٣ -إنصهار الحراري للمعدره والخبث ينتج غازي اول وثاني اكسيد الكربون .
٤ - التأثير الحراري ، والأشعة فوق البنفسجية على الهواء المحيط بعملية لحام القوس الكهربائي ينتج عنه من أكاسيد النيتروجين وغاز الأوزون .
٥ - غازات ناتجة عن تحلل وحرق بودرة الحماية أو بعض الدهان والزيوت المغلفة لسطح قطعة العمل.

- *وإن أغلب أنواع الغازات الضارة الناتجة عن اللحام بالقوس الكهربائي هي غازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروجين وغاز الأوزون والفوسجين .*

والتي سنتناول شرحها بشيء من التفصيل :

اكاسيد النيتروجين

تنتج عن تفاعل النيتروجين مع الأكسجين في الهواء وتزداد شدة التفاعل نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وانطلاق الأشعة فوق البنفسجية تسبب هذه الأكاسيد تهيج وتلف في الرئتين بالإضافة الى تجمع السوائل في الرئتين والذي قد يؤدي للوفاة

الفوسجين :

غاز ينتج عن تفاعل المواد الكربوهيدراتية مع الأشعة فوق البنفسجية والحرارة ويحدث ذلك نتيجة اللحام بالقرب من تنكات مواد التشحيم . يعتبر من المواد المهيجة لأنسجة الرئتين وتأثيراته مشابه لأكاسيد النيتروجين

الأوزون :

غاز ينتج عن تفاعل الأكسجين الموجود في الهواء مع الأشعة فوق البنفسجية ، يسبب التهيج للأنف والحنجرة والرئتين والتعرض لكميات كبيرة يؤدي الى تجمع السوائل في الرئتين وقد يؤدي للوفاة.

فلوريد الهيدروجين :

ينطلق من الطبقة المغلقة لاسلاك اللحام تسبب الأبخرة الناتجة عنه الى تهيج في العينين والجهاز التنفسي ويسبب التعرض لجرعات كبيرة منه الى تلف في الرئتين ، الكلى ، العظام والكبد.

الزئبق : تنطلق الأبخرة نتيجة حرق بعض الدهانات التي تحتوي على الزئبق ويسبب استنشاق الأبخرة الى حدوث الربو.

والجدول التالي يوضح المخلطر الناجمة عن الغازات والأدخنة :

الأدخنة والغازات الناتجة عن عمليات اللحام			
المادة	كمية المادة المتصاعدة	المصدر	الأعراض الناتجة
ثاني أكسيد الكربون	5000 ppm	الغازات المحجوبة	لا يوجد تأثير يذكر
أول أكسيد الكربون	25 ppm	لحام ثاني أكسيد الكربون ،أسلاك اللحام المغطاة بطبقة واقية	صداع وارتخاء في الجسم
الأوزون	.1ppm	ينتج من تفاعل الأكسجين الجوي مع الأشعة فوق بنفسجية	ألم في الصدر / صداع/ جفاف الحنجرة تهيج الرئتين
أكسيد النيتروجين	3 ppm	اللحام بالبلازما / ينتج بكميات كبيرة عند لحام الألنيوم	ألم في الصدر / سعال / حساسية في العينين والأغشية المخاطية
الفوسجين	.1 ppm	انحلال المواد الكربوهيدراتية وتفاعلها مع الأشعة فوق بنفسجية وخصوصا عند اللحام بجانب الشحوم والزيوت	تهيج أنسجة الرئتين وتورمها
الكروم	.5 mg/m	يوجد في أسلاك اللحام الخاصة بلحام الستيلنس ستيل	يسبب الربو إفراط الحساسية في الرئتين عند استنشاقه مصاحبا لتورم في الرئتين
النيكل	1.0 mg/m	يوجد بعض أنواع الستينلس ستيل	النيكل ومكوناته سامة ولكن لا يشكل خطورة في حالة لحام الستيلنس ستيل
أوكسيد الكاديوم	.05 mg/m	المعادن التي تحتوي على الكاديوم	صعوبة التنفس/ألم الصدر / سعال بطعم المعدن
أوكسيد النحاس (دخان)	.2 mg/m	سبائك النحاس / سلك لحام النحاس	ارتفاع درجة الحرارة
الفلورايد	2.5 mg/m	اسلاك اللحام المنخفضة الكربون	ارتفاع درجة الحرارة /سعال/حساسية التنفس
أوكسيد الزنك	5.0 mg/m	الصاج المجلفن والصاج المدهون	صداع /غثيان / قشعريرة / ارتفاع درجة الحرارة

التحكم بالأدخنة وغازات اللحام Control of welding fumes

إن كمية ونوع الغازات والأدخنة الصادرة تعتمد على : نوع اللحام (Type of process) ، طريقة الإجراء (Welding parameters) ، غازات الحماية المستعملة إضافة الى نوع سلك اللحام .
ومما تجدر الإشارة إليه أنه كلما زادت شدة التيار كلما زادت كمية الأبخرة والغازات المتصاعدة ، ويتناسب طول القوس الكهربائي تناسباً طردياً مع كمية الأدخنة المنبعثة حيث تقل كلما قصر القوس.

- إن أقل نوع لحام منتجاً للغازات والأدخنة هو اللحام بالقوس المغمور .

وعلى العموم فإن ثلاثة عوامل تؤثر على درجة تعرض اللحيم للأدخنة والغازات والتي هي :-

١ -وضعية اللحام Welding position
٢ -موقع ونوع ورشة العمل location & type of workplace
٣ -زمن التعرض Exposure duration

١ -وضعية اللحام welding position :

إن وضعية اللحام سواء كانت ارضي flat ، رأسي vertical ، أفقي horizontal أو فوق الرأس over head ومدى قرب اللحيم من سحابة الدخان تؤثر على درجة التعرض ، فلإنحناء اللحيم الطبيعي خلال العمل باتجاه قطعة العمل خاصة بوضعية اللحام الأرضي ينتج عنها أعلى مستوى من الغازات والأدخنة في منطقة التنفس ، وعليه يجب أن يحتاط العاملون على إبقاء الرأس ومجاري التنفس بعيداً على قدر الامكان من سحابة الدخان الصادرة .

٢ -موقع ونوع ورشة العمل location & type of work :

إن إجراء اللحام في ورش كبيرة ، أو في الخارج يمنع تكون الأدخنة والغازات نوعا ما ، بالمقارنة مع الورش الصغيرة التي من الصعب ان ينتشر ويختفي الدخان فيها ، فالعمل في الأماكن المحصورة يحتاج العناية خاصة من المراقبة والتهوية الصحيحة للوقاية من أثر الغازات السامة المنبعثة .

٣ -زمن التعرض exposure duration :

في معظم الدول يحدد التعرض لدخان اللحام بمعدل لا يزيد عن (5 mg/m³) خلال الـ 8 ساعات عمل ، وان لا يتجاوز مكوناته للقيمة المسموح بها لها افرادياً مثل أدخنة النيكل، الكروم والكوبالت ..... الخ . كما ذكرنا سابقاً الدورة التشغيلية للماكنة duty cycle في لحام القوس الكهربائي كلما زادت صدر عنها دخان أكبر والتعرض له يكون كبير .

- **في حال عدم قدرتنا على التحكم بالأدخنة وغازات اللحام يجب العمل بالنقاط التالية :**

١ -التحكم في اختيار والتعديل على طريق اللحام
٢ -تحسين إجراء العمل
٣ -التهوية
٤ -استخدام أجهزة التنفس

- **التحكم والتعديل على طريقة اللحام :**

اختيار الوسيلة المثلى للحام يعتمد أساسا في المراحل الأولية للشراء لتجهيز ورشة اللحام ، جودة اللحام المطلوبة ، توفر المعدات والاعتبارات اقتصادية ،والعديد من العوامل التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار . في أن اللحام بالقوس المغمور أو لحام الأرغون يعطي دخاناً أقل من اللحام بالقوس الكهربائي ، لحام الميج ... والكثير من الشركات الصانعة تصدر نشرات توضح التركيب الجزئي للدخان ونسبته من أسلاك اللحام المصنعة يستفاد منها في اختيار السلك ذو انبعاث دخاني قليل.

- **تحسين إجراء العمل :**

التعديل على وضعية قط عة العمل بحيث نجنب عامل اللحام سحابة الدخان الصادرة ، هي السبيل الأمثل للوقاية ، وايضاً إجراء اللحام في مشاغل مفتوحة جيدة التهوية ، ونتجنب اللحام في الأماكن المحصورة والمغلقة على قدر الإمكان بدون وسائل الوقاية .

- **التهوية :**

الإستراتيجية العامة في الاستخدام الأمثل للتهوية هي السبيل الأمثل للوقاية من الغازات والأدخنة السامة المنبعثة كما يتضح أدناه .

التهوية على العموم قد تفي بالغرض في حال كانت فترات اللحام قصيرة ومتقطعة ، وأكثر الطرق فعالية للتحكم في الوقاية من التعرض هي استئصال الغازات والأ دخنة من مصادرها مباشرة وذلك بلستخدام الوسائل الموضحة .

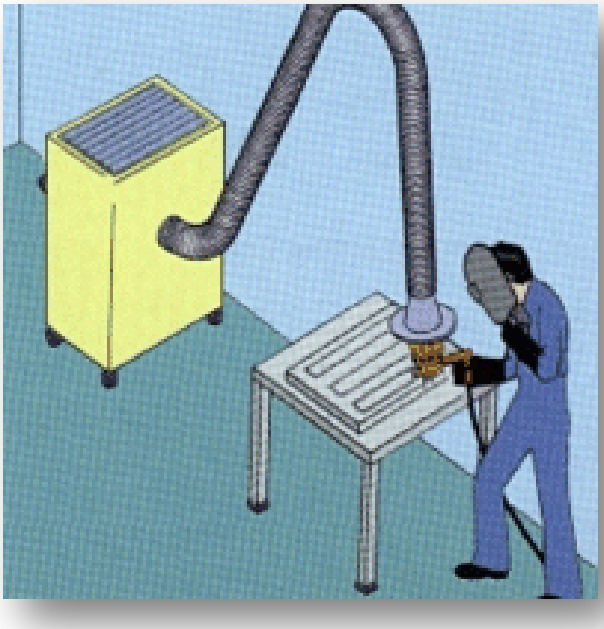
- **استخدام أجهزة التنفس :-**

في حال ضرورة التحكم بالغازات المنبعثة ، تستخدم التهوية الموضعية (LEV) ، و في حال تعذر ذلك أو مازالت قيم التعرض عالية تستخدم وسائل التنفس كآخر خيار موجود من وسائل التحكم المرغوب فيه، نظراً لإقتصار الحماية على عامل اللحام فقط .

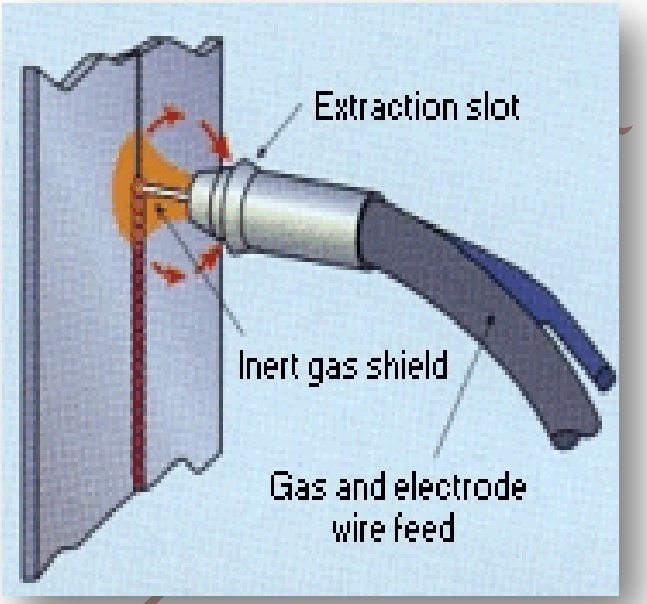
واستخدام هذا النوع من وسائل الحماية ، يحتاج إلى استشارة خبير في هذا المجال يحدد الاختيار الأمثل من هذه الأجهزة تبعاً لتركيز الغازات ومحتواها السام وإن كان يوجد نقص بالأكسجين وأيضاً يحتاج إلى تأهيل عاملي اللحام على كيفية التعامل مع هذه الأجهزة وصيانتها والشكل التالي يوضح أحد وسائل أجهزة التنفس.

General ventilation may be adequate if welding is of short duration and intermittent.

The most efficient way of controlling exposure to welding fume is its removal at source. There are several methods of removing fume close to the weld:



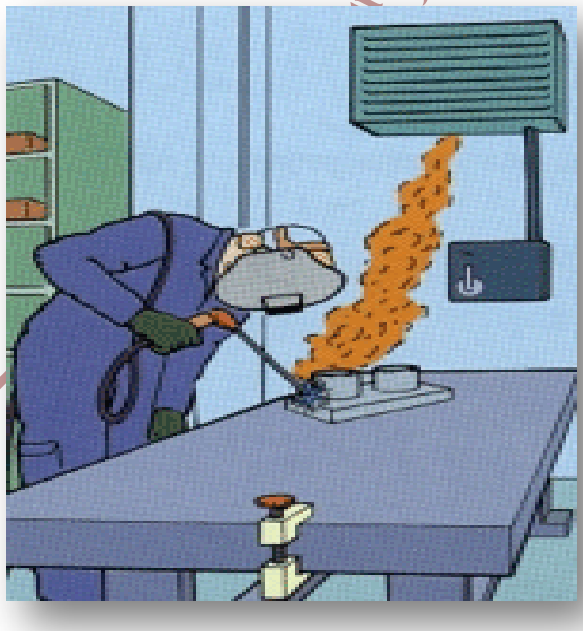
Extracted booth

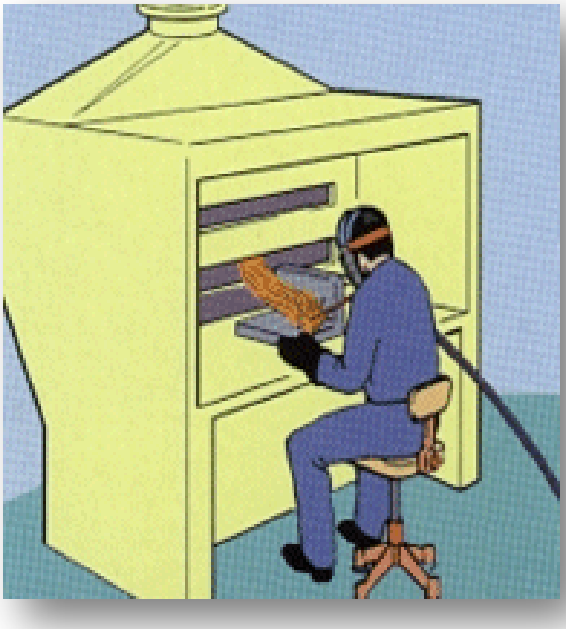


Extracted benches

Local exhaust ventilation (LEV)

On-gun extraction





ما يجب مراعاته بالنسبة لأسطوانة الأرغون :

- لا تدع الاسطوانة تسقط على الأرض فارغة ولا ملأى ولا تطرقها خوفاً من تلف أسنانها.
- أبعد الاسطوانة عن مصادر الحرارة والنار خوفاً من انصهار الاسطوانة ولا تضعها تحت الشمس بصورة مكشوفة إذ أن أي ارتفاع في درجة حرارة الغاز داخلها يصحبه ارتفاع في الضغط مما قد يزيد بشكل غير مسموح به .
- لا تطرق الاسطوانة ولا تدعها تسقط على الأرض خوفاً من الإنفجار.
- لا تقرب الى الاسطوانة لهباً مكشوفاً ولا تعرضها للحرارة أو تضعها عرضة لأشعة الشمس المباشرة.
- ضع غطاء منظم الاسطوانة بعد كل استعمال لها خوفاً من تلف الأسنان.
- افتح صمامات التشغيل بواسطة اليد وبهدوء.
- يجب أن يكون المانوميتر (منظم الغاز) متصلاً بإحكام بالاسطوانة .

التخزين الآمن Safe storage

تخزين الاسطوانات المضغوطة بالغاز له اعتبارات ومحاذير سلامة عامة منها :

١ - يجب التأكد أن جميع الاسطوانات الواردة تحمل بطاقات تبين محتوياتها وعدم استعمال الاسطوانات التي لا تحمل بطاقات.

٢ - تخزين الاسطوانات في الأماكن المحددة لها والمهواة جيداً مع كتابة عبارة (ممنوع التدخين) في منطقة التخزين

٣ - يمنع التدخين داخل وبجانب المستودعات .

٤ - يخزن كل نوع من الاسطوانات لوحده في أماكن جافة وجيدة التهوية بحيث لا تقل المسافة عن 3 متر ، أو أن يكون بينهما حاجز مقاوم للاحتراق بارتفاع 1.5 متر ، ومقاوم للحريق بمعدل لا يقل عن 30 دقيقة .

٥ - يجب أن تبعد الاسطوانات عن المواد السريعة الاشتعال كالدهان والزيوت والمذيبات بما يقارب الـ 6 متر.

٦ -التخزين الجيد يراعى فيه عدم وجود عوائق لدخول وخروج الاسطوانات مع ضرورة توفير وسائل النقل والمناولة للاسطوانات من المستودعات .

٧ -تخزن اسطوانات بشكل راسي وتثبت حولها سلاسل تمنعها من السقوط .

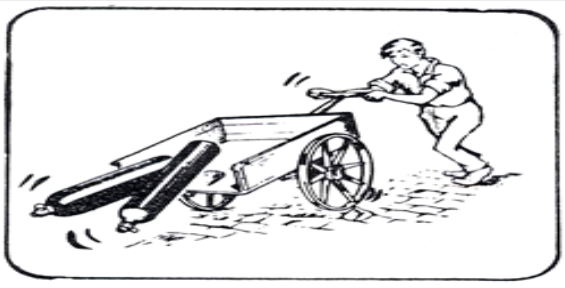
٨ -يجب حماية الاسطوانات من أشعة الشمس المباشرة او الثلج والجليد .

نقل وتداول الاسطوانات الآمن Handling compressed gases

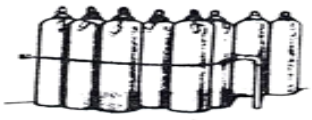
يمكن أن نحصل على إصابات بليغة نتيجة الاستعمال الخاطئ في نقل واستعمال اسطوانات الغاز المضغوطة وعليه يستلزم مراعاة النقاط التالية :

١ - تنقل الاسطوانات بواسطة عربات خاصة.
٢ - وضع وربط الاسطوانات بسلسلة حولها خوفاً من وقوعها.
٣ - ضرورة وضع علامة أو اشارة مميزة على الاسطوانة الفارغة.
٤ - يجب كتابة اسم الغاز المضغوط على الاسطوانة .
٥ - يجب أن تكون الاسطوانة مجهزة بغطاء لحماية الصمام Valve protection cap .
٦ - يجب الا تستعمل الاسطوانات فقط بمثابة درافيل او مساند سواء أكانت مملوءة أو فارغة.
٧ - يجب عدم العبث بالأرقام والعلامات المختومة على الاسطوانات (هذا العبث غير قانوني) .
٨ - عند نقل الاسطوانات بمرفاع او ونش يجب استعمال حمالة او منصة مناسبة .
٩ - لا توضع الاسطوانات حيث قد تصبح جزءاً من دائرة كهربائية ويجب تجنب حدوث تماس بينهما.
١٠ - يحظر ما يعمد إليه العمال أحياناً من خبط الالكترود بإحدى الاسطوانات لقدح قوس اللحام .

والأشكال التالية توضح نقل وتداول الاسطوانات الآمن :

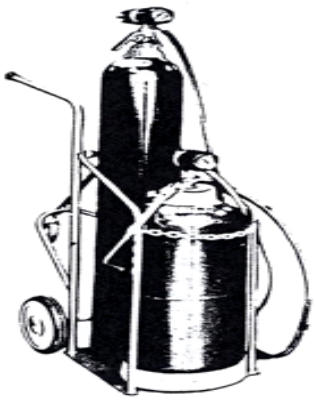


شكل (٥)

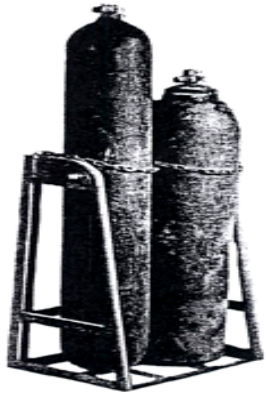


شكل (٦)

وكذلك يفضل ربط الاسطوانات بواسطة سلسلة بجانب الحائط كما في الشكل (٦) وضرورة تمييز الاسطوانات الفارغة من المملوءة وذلك عن طريق وضع اشارة مميزة على الفارغة والابقاء على بطاقة الاسطوانة المملوءة كما في الشكل (٦) .



a) Trolley for Easy Moving



b) Cradle for Lifting

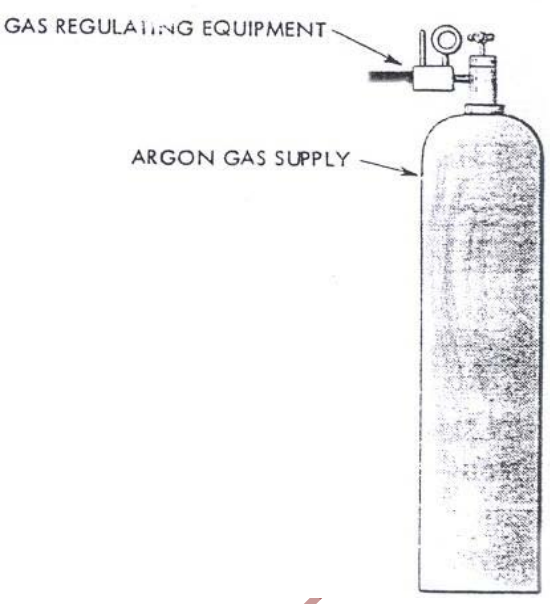
Fig.6 Handling of Gas Cylinders

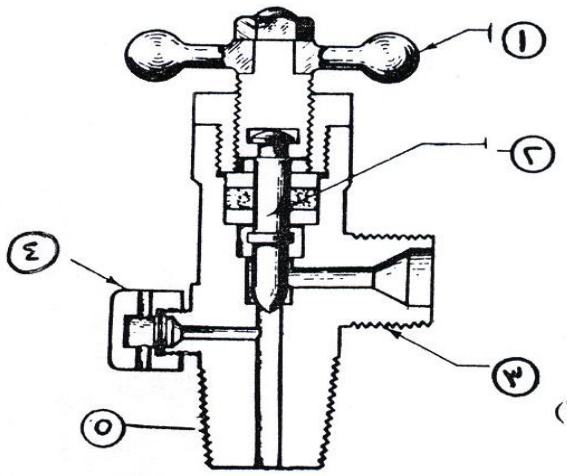
صمامات الغاز Cylinder Valve

تزود اسطوانة الارغون بصمامات خاصة وذلك للتحكم في عملية تدفق الغاز من الاسطوانة الى الخارج ويبين الشكل التالي احد أنواع الصمامات المستخدمة على اسطوانة الأرغون .

التعامل الآمن معها ينحصر في النقاط التالية :-

١ - التأكد من سلامة أسنان الصمام وخلوها من التشقق والعيوب.
٢ - التأكد من سلامة الصمام وخلوه من التشققات والعيوب.
٣ - التأكد من جاهزية صمام الأمان رقم (4).
٤ - التأكد من عدم تسرب الغاز وذلك بفحص نقاط التهريب المختلفة من منطقة ساق صمام يد التحريك رقم (2) ، فتحة خروج الغاز الى المنظم رقم (3) واجراء الفحص عادة يتم باستخدام محلول صابوني لكافة التوصيلات .





شكل (٧)

منظم الضغط pressure regulator

يكون الضغط داخل الاسطوانات عالياً فلا يمكن أن نستخدمه مباشرة في عملية اللحام ، لهذا صمم جهاز مخفض الضغط يسمى بمنظم الضغط .

يكون مثبتاً على صمام الاسطوانة الرئيسي كما هو موضح في الشكل التالي ، ويخفض هذا الجهاز الضغط العالي المتدفق من الاسطوانة الى ضغط مناسب للحام . ومن الشكل نلاحظ أن منظم الضغط مركب عليه مانومتر عدد اثنان (ساعتي ضغط) أحدهما لقياس ضغط الغاز داخل الاسطوانة ، والثاني لقراءة ضغط الغاز الخارج من المنظم أي ضغط غاز اللحام .

وفي منظم الضغط صمام أمان (**Safety valve**) يعمل تلقائياً عندما يزيد الضغط داخل منظم الغاز زيادة غير مسموح بها في الاسطوانة . و يفتح عند 1.5 ضغط جوي ويندفع الغاز للخارج أما الأكسجين فيتدفق الغاز منه ولهذا الصمام أهمية كبيرة في المحافظة على السلامة والوقاية من خطر الانفجار .

ويحتوي المنظم على مفتاح ضبط الغاز **adjusting handle** وهو مفتاح يتحكم فيه عامل اللحام يدوياً وبواسطته يعير ضغط الغاز على ساعة القياس.

وأيضا يحتوي على صمام معايرة تدفق الغاز **(Gas discharge valve)** الذي يتحكم به يدوياً . هذا ولون منظم الغاز أزرق ، ويتم تسنين توصيلات الغاز لليمين حيث يساعد ذلك في منع التداخل أثناء عمليات التوصيل مع التوصيلات الأخرى .

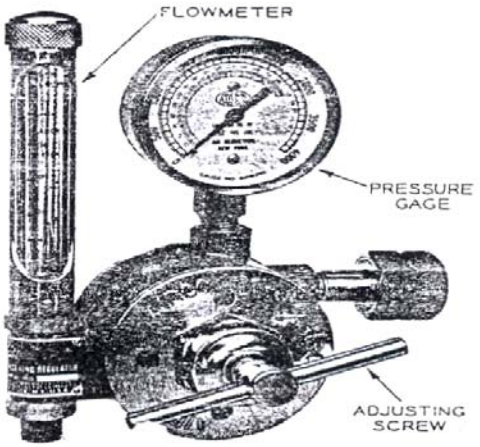


Fig. 13. An argon regulator with flowmeter. (Air Reduction Sales Co.)

تركيب مجموعة المنظم على الاسطوانة

قبل تركيب مجموعة المنظم على الاسطوانة تأكد من نظافة فتحة الصمام وخلوها من الرطوبة والغبار ، وذلك عن طريق فتح الصمام لحظياً لتسريب كمية بسيطة من الغاز للتنظيف ، كما في الشكل بإستعمال مفتاح مناسب بعد ذلك يركب المنظم على الاسطوانة ويجب التذكر أن سن منظم ضغط غاز يمين يأ ويجب استعمال العدد المناسبة للفتح والإغلاق .

ما يجب مراعاته بالنسبة لمنظم الغاز:

شكل (١٣)

- التأكد من خلو أسنان المنظم من العيوب أو الزيوت والشحوم.
- التأكد من أن المنظم خالي عن التشقق أو العيوب.
- التقيد بتعليمات وتوصيات الشركة الصانعة .
- التقيد بملائمة المنظم للأسطوانة .
- وصل المنظم بصمام الاسطوانة باستخدام المفتاح المخصص لذلك وعدم استعمال الزرادية أو غيرها
- فتح مفتاح منظم الضغط وذلك بادارته بعكس اتجاه عقارب الساعة وذلك من أجل حماية المنظم وساعات القياس من التلف عند فتح صمام الاسطوانة الرئيسي .
- فتح صمام الاسطوانة ببطئ لتلافي إتلاف ساعات القياس .
- التأكد من عدم وجود تسرب وذلك بأجراء الفحص اللازم .

خراطيم الغاز ومواصفاتها :

تصنع خراطيم الغاز من المطاط أو من مادة مماثلة ويجب أن تكون هذه الخراطيم قوية متينة غير مسامية لكنها مرنة ، وتوجد في الأسواق خراطيم ذات أقطار داخلية قياس 4 ، 6 ، 9 ، 11 ملم . ولون الخرطوم ازرق وللخراطيم أطوال مختلفة . وتثبت الخرطوم على منظم الغاز من طرف وعلى الماكينة من طرف آخر . وتستعمل في الربط مرابط خراطيم يجري شدها بالمفك بإحكام لضمان عدم تسرب الغاز.

احتياطات السلامة والأمان :

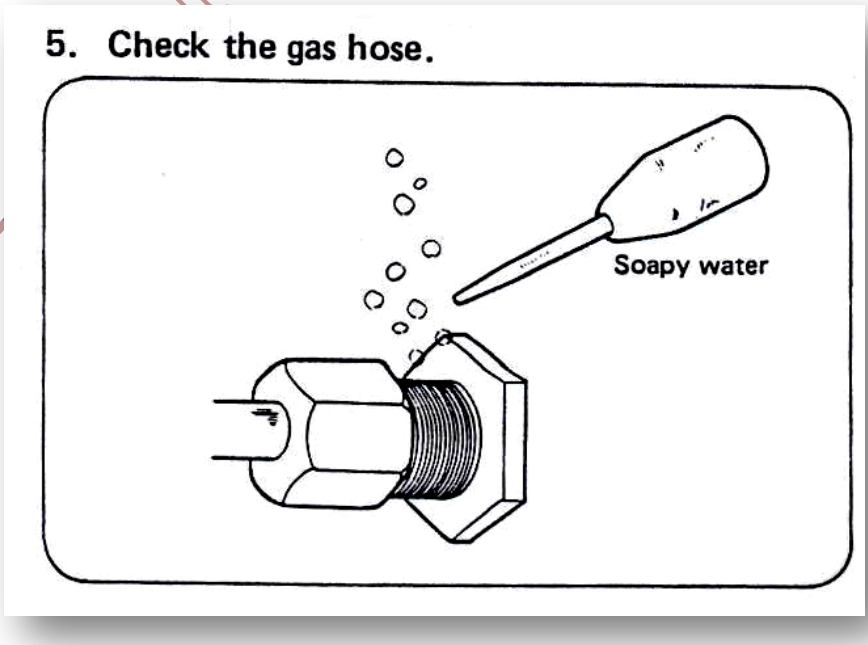
- يجب تفقد الخراطيم دائماً للتأكد من خلوها من التشقق وعند تركيب خراطيم جديدة على الاسطوانات نختار الخرطوم المناسب لاسطوانة الغاز من حيث المادة واللون وكذلك الوصلة وتركب الوصلة على المنظم باستخدام مفاتيح خاصة ثم يركب الخرطوم على الأنبوبة الخاصة ويربط باستخدام مرابط خاصة للخراطيم ولتنظيف الخرطوم من الغبار بتسريب كمية قليلة من الغاز خلاله كما في الشكل (16).
- التأكد من خلو الخراطيم من الحروق وخلوها من الزيوت او الشحوم ويمنع استعمالها اذا كانت ملوثة بالزيوت .
- يوضع الخرطوم في مكان أمين يوفر له اكبر قدر من السلامة ولا يجعل الخرطوم عرضة للحرارة او تلقي الشرر المتطاير من اللحام .
- ابقاء الخرطوم في مكان سهل التناول وفي وضع لا يعيق حركة عامة اللحام ولا يجعله يتعثر به او يقيد حركته .

شكل (١٦)

الكشف عن تسرب الغاز leak detection

لتفادي وقوع تسرب للغاز من الاسطوانة والبرابيش ، يجب تفقد الوصلات والبرابيش من حين لآخر عن تسرب الغاز باستعمال رغوة الصابون التي تعتبر من أفضل الوسائل ، ولا يتم كشف الغاز بواسطة النار

والشكل التالي يبين الكشف من تسرب الغاز



Welding Torch (فرد اللحام)

احتياطات السلامة والأمان :

- التقيد بتعليمات الشركة الصانعة لاختيار الفرد بالقياس المناسب للحام .
- التأكد من عدم تسرب غاز من الوصلات على الخراطيم في المشعل.
- التأكد من مطابقة فرد اللحام لإجراء اللحام المطلوب .
- في بداية التشغيل أو عند استلام العمل يفضل التأكد من تنفيس purging للنظام ، الفرد والخراطيم من الهواء ، وتأكد على عدم إجراء عملية التنفيس وطرد الغازات في الأماكن المغلقة .
- نبعد الفرد أثناء العمل عن الاسطوانات الغاز ووضعه على حامل .

تمت بعونه تعالى

المهندس زاهد العامري

قسم التدريب & التطوير

الفصل الثاني

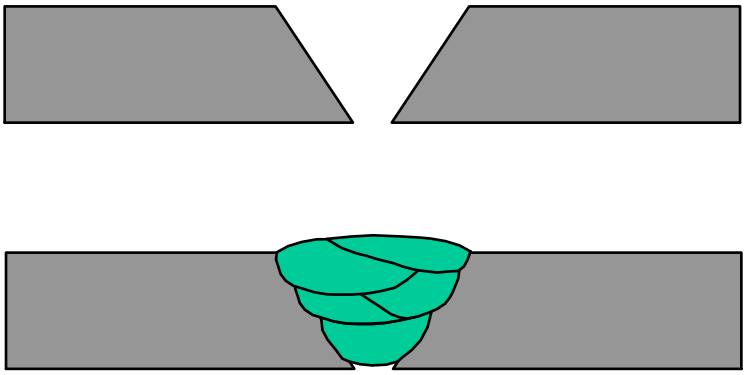
اللحام بالقوس الكهربائي بأستخدام غاز الأرغون

TIG

مقدمة في تكنولوجيا اللحام

٢ ١ تعريف اللحام

اللحام هو عملية الربط بين قطعتين معدنيتين متماثلتين او مختلفتين بواسطة الصهر او الضغط او كلاهما معاً بحيث تصبح القطعتان قطعة واحدة بعد اللحام.



٢ ٢ هدف اللحام

الهدف من إجراء عملية اللحام هو إعطاء استمرارية للمعدن الأساسي الذي يتم لحامه من حيث تحمله للإجهادات الميكانيكية او الظروف التشغيلية من تأكل وهريان ..... وغيرها أو كلاهما معاً.

٢ ٣ مبادئ اللحام

تتم عملية اللحام من خلال أي من المبادئ التالية :-

أ/ - يتم صهر جزء من معدني الأساس بواسطة مصدر حراري حيث تتكون منطقة ذائبة بين القطعتين تسمى بركة اللحام (WELD POOL) وعند تصلب هذه البركة تتكون وصلة اللحام ويمكن اضافة مادة خارجية الى البركة لملئ الفراغ بين القطعتين تسمى المادة المضافة (FILLER METAL) او أن يتم لحام المعدنيين بصهر جزء منهما دون الحاجة إلى مادة مضافة.

ب/ - يتم رفع درجة حرارة المعدن الاساس الى درجة الاحمرار دون الوصول إلى درجة الانصهار ثم يتم ضغط طرفي المعدن فينساب المعدن الذي يكون بدرجة لدونة عالية وتتكون وصلة اللحام.

ج- كذلك يمكن ان تتم عملية لحام معدنين دون صهرهما او ضغطهما وذلك عن طريق إذابة معدن اضافي تكون درجة انصهاره اقل من معدن الاساس وتسمى هذه العملية باللحام بالمونة (BRAZING).

٢ ٤ أساليب اللحام

تصنف أساليب اللحام إلى أنواع عديدة وذلك من خلال عاملين أساسيين هما :-

2-4-1 المصدر الحراري

يعتبر التصنيف من حيث المصدر الحراري هو الاساس ومن خلال ذلك يمكن تصنيف اساليب اللحام الى انواع رئيسية وكل واحد منها يشتمل على أنواع فرعية عديدة وهي :-

أولاً : المصادر الكهربائية : تعتبر المصادر الكهربائية هي الأكثر استخداماً في مجال اللحام ونجد أن أساليب اللحام الرئيسية المستخدمة في قطاع الصناعة والإنشاءات الهندسية تندرج تحت هذا النوع .

ثانياً : المصادر الميكانيكية : في هذا النوع من اللحام يتم استخدام الطاقة الميكانيكية او الحركية كمصدر للطاقة وتتم عملية اللحام دون الحاجة إلى صهر المعدن الأساس وإنما يتم رفع درجة حرارته إلى درجة الاحمرار حيث تصبح ذا لدونه عالية ويتم تحقيق عملية الالتحام من خلال ضغط خارجي.

ثالثاً : المصادر الكيماوية : يتم توليد الطاقة اللازمة للحام من خلال الحرارة الناتجة عن تفاعل كيماوي ويندرج تحت هذا التصنيف:-

أ/ -لحام الاوكسي أستيلين ، حيث تتولد الحرارة نتيجة حرق غاز الاستيلين.
ب/ - لحام الثرميت (THERMIT WELDING) ويتم في هذا النوع توليد الحرارة من خلال التفاعل الكيماوي بين أكسيد الحديد والألمنيوم .

2-4-2 حماية المعدن المنصهر والساخن خلال عملية اللحام

عند إجراء عملية اللحام يتم صهر المعدن او تسخينه الى درجة عالية حرارة (درجة الاحمرار) لإعطاء لدونة عالية، والمعدن في مثل هذه الحالة يكون سريع التأثر بالجو الخارجي حيث يتأكسد بسرعة كذلك فان هنالك غازات أخرى يمكن أن تكون ذات أثر سيئ على بركة الصهر، ولكي نتجنب حدوث مثل هذه التأثيرات ولعمل حماية جيدة للمعدن في منطقة اللحام سواء في حالة الصهر او التسخين فانه يتم استخدام اي من طرق الحماية التالية:-

a. **الحماية بواسطة الشوائب (SLAG)**

حيث تكون الشوائب على شكل بودرة او جزيئات مطحونة بحجم صغير تستخدم هذه المواد لتغلف سلك اللحام وعندما يتم صهر المعدن يصهر جزء من هذه المواد وتطفو على سطح بركة اللحام لحمايتها من الجو الخارجي ، ولا يكون لهذه المواد تفاعلات تذكر مع بركة الصهر ويجب ان تتمتع هذه المواد بمواصفات محددة لتكون صالحة لهذه الغاية .

b. **الحماية بواسطة الفكلس(FLUX)**

الفلكس يقوم بنفس العمل الذي تقوم به الشوائب لحماية بركة اللحام وبنفس الاسلوب والفارق الوحيد هو أن الفلكس يحوي مواد تتفاعل مع المعدن المصهور وخاصة التفاعل مع الاكاسيد للتخلص من الاوكسجين.

c. الحماية بواسطة جو مسيطر عليه (CONTROL ATMOSPHAER)

ويتم في هذه الحالة حماية بركة اللحام باستبدال الجو المحيط بها والذي يحوي غازات ضارة بغازات ليس لها أي اثر سيئ على المعدن المصهور وهنالك نوعين من الغازات تستخدم وهي:-

- **غازات خاملة (INERT GAS)** : مثل الأرغون والهليوم وعند استخدام مثل هذه الغازات يمكن لحام المواد عالية التأكسد مثل التيتانيوم والزركونيوم والمغنيسيوم.
- **غازات فعالة أو نشطة (ACTIVE GAS):** وهنالك العديد منها وأهمها وأكثرها استخداماً غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والذي يستخدم في لحام المواد الفولاذية الكربونية لان ذائبيته في المعدن المصهور محدودة جداً علماً بأن جزء من الغاز يتحلل ويدخل في بركة اللحام ولكن بكميات قليلة ويتم التخلص منه بواسطة إضافة منغنيز أو سيلكون لمعدن الأساس أو معدن الإضافة .

d. الحماية بواسطة العزل وطرد الأكسيد

كما هو الحال في لحام المقاومة الكهربائية حيث تكون المنطقة معزولة عن الجو الخارجي وكذلك في لحام الاحتكاك حيث تكون المنطقة معزولة ، ويتم طرد الاكاسيد نتيجة للإحتكاك.

e. الحماية بواسطة التفريغ (VACUUM)

ويتم التفريغ في المنطقة المحيطة بوصلة اللحام والى درجات عاليه من التفريغ وكما هو الحال في لحام الحزمة الالكترونية (ELECTRON BEAM WELDING) .

والمخطط التالي يوضح أنواع وطرق اللحام المعمول بها عالميا

Gas Tungsten Arc Welding

اللحام بواسطة القوس الكهربائي لقطب التنجستون مع غاز خامل

(GTAW)

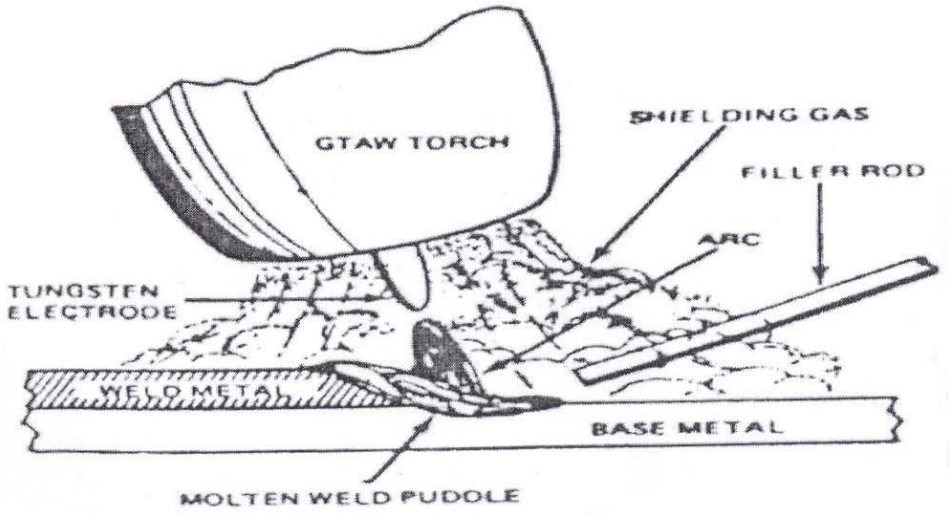
لاشك فيه أن إنتاج وصلة لحام خصائصها مماثلة للقطعة المراد لحامها (base metal) هو أحد الاعتبارات الهامة في عمليات اللحام المختلفة. ولذلك يراعى أن تكون بركة الانصهار (molten puddle) معزولة ومحمية بشكل كامل عن الهواء المحيط خلال إجراء اللحام وإلا فان الهواء وما يحتويه من غازات مثل النيتروجين والأوكسجين سوف تمتص في بركة الانصهار مما يجعل وصلة اللحام مسامية وضعيفة.

إذن لابد لنا من استخدام غاز خامل لعزل القوس الكهربائي ويحجب بركة الانصهار وبذلك نتفادى تلوث وتشوه اللحام.

كان قديماً يقتصر هذا النوع من الأنظمة (Tig) على عمليات اللحام للقطع المعدنية المقاومة للتآكل (Corrosion Resistant) وأيضاً لبعض المعادن ضعيفة اللحام. أما اليوم فتتنوع أنظمة لحام القوس الكهربائي المعزول بغاز خامل والتي تسمح بلحام جميع أنواع المعادن المتوفرة لدينا سواء حديدية أو غير حديدية وحتى أصبحت تتفوق على جميع أنظمة اللحام لما تمتاز به من سهولة الأداء وسرعة العمل.

لحام التيج (TIG WELDING)

خلال لحام التيج (Tig) يكون قطب التنجستون هو القطب المعدني غير القابل للانصهار(غير مستهلك) ، يولد عن طريقه القوس الكهربائي ، ويكون محاطاً بغاز خامل يعزل حوض اللحام عن الهواء المحيط وبذلك نمنع تأكسد كلاً من القطب وحوض اللحام والشكل التالي يوضح ذلك.



بمعنى آخر إن لحام ال (Tig) يستخدم قطب تنجستن فقط لتوليد القوس الكهربائي ولا يشترك في عملية اللحام ، ولإجراء اللحام والربط بين الوصلات اما يتم ذلك بانصهار الوصلات أو بإضافة سلك التعبئة (*Filler rod*) لمنطقة الانصهار بطريقة مشابهة لعملية اللحام بواسطة الاكسي استيلين كما في الشكل

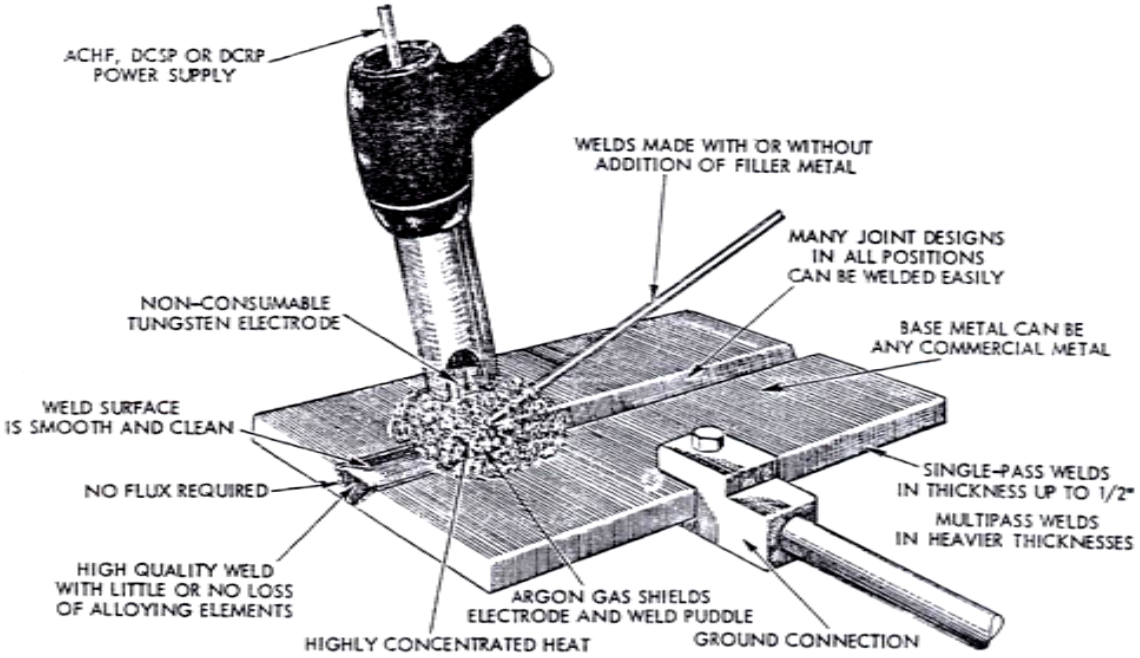


Fig. 2. In TIG welding, a non-consumable tungsten electrode is used. It is surrounded by a shield of inert gas. (Linde Co.)

* الخصائص النوعية للحام (Tig) *

Specific Advantages of Gas – Shield Arc

بما ان الغاز الواقي يعزل الهواء المحيط عن بركة الانصهار لذلك تكون وصلة اللحام اكثر قوة (more stronger) ، ومقاومة للتأكل (corrosion – resistant) عن غيرها من وصلات اللحام المعمولة ضمن إجراءات أخرى.

فالغاز العازل للقوس الكهربائي يسهل لحام المعادن غير الحديدية (non ferrous) بحيث لا يكون هناك حاجة إلى بودرة (مادة مساعدة على صهر المعدن) (Flax) لأنه كلما كانت عملية اللحام بحاجة إلى بودرة كان دائماً يوجد مشاكل في تتبع اثر البودرة بعد عملية اللحام ، والأكثر من ذلك فان استعمال البودرة يزيد من احتمال تولد الخبث (slag) والجيوب الغازية (gas pocket) وانتشارها

وميزة أخرى للحام بالغاز الواقي هو امكانية انتاج خط لحام سليم ومرتب ، بسبب قلة الدخان والغازات الناتجة مما يسهل ايضاً على اللحيم مراقبة خط اللحام الناتج (القوس الكهربائي وحوض

الانصهار) ، والاكثر من ذلك هو اتمام عملية اللحام بشكل نظيف خالي من المضاعفات والتشوهات التي تصاحب عادة عمليات اللحام الاخرى وايضاً خالي من الشوائب مثل البودرة المحروقة.

فهذا النظام ال (Tig) يصلح لجميع أوضاع اللحام ، مع اقل كمية من الذرات المعدنية (الشرر - spatter) مما يجعل سطح اللحام ناعماً (smooth) وبذلك نوفر التكاليف اللازمة لعمليات التشطيب النهائية للسطح (metal finishing) .

ويمتاز أخيراً بتشوه منخفض جداً للمعدن المجاور لمنطقة اللحام بمعنى صغر المنطقة المتأثرة حرارياً من القوس الكهربائي بشكل ملحوظ والناتجة عن القوس الكهربائي المركز في منطقة ضيقة محدودة يؤدي هذا الى سرعة اللحام قلة التشوهات الناتجة عن الحرارة أيضا إمكانية لحام معظم أنواع المعادن وسبائكها.

مكونات منظومة اللحام بقطب التنكستن وغاز الأرغون

G.T.A.W

تتكون منظومة اللحام من الأجهزة و المعدات التالية :-

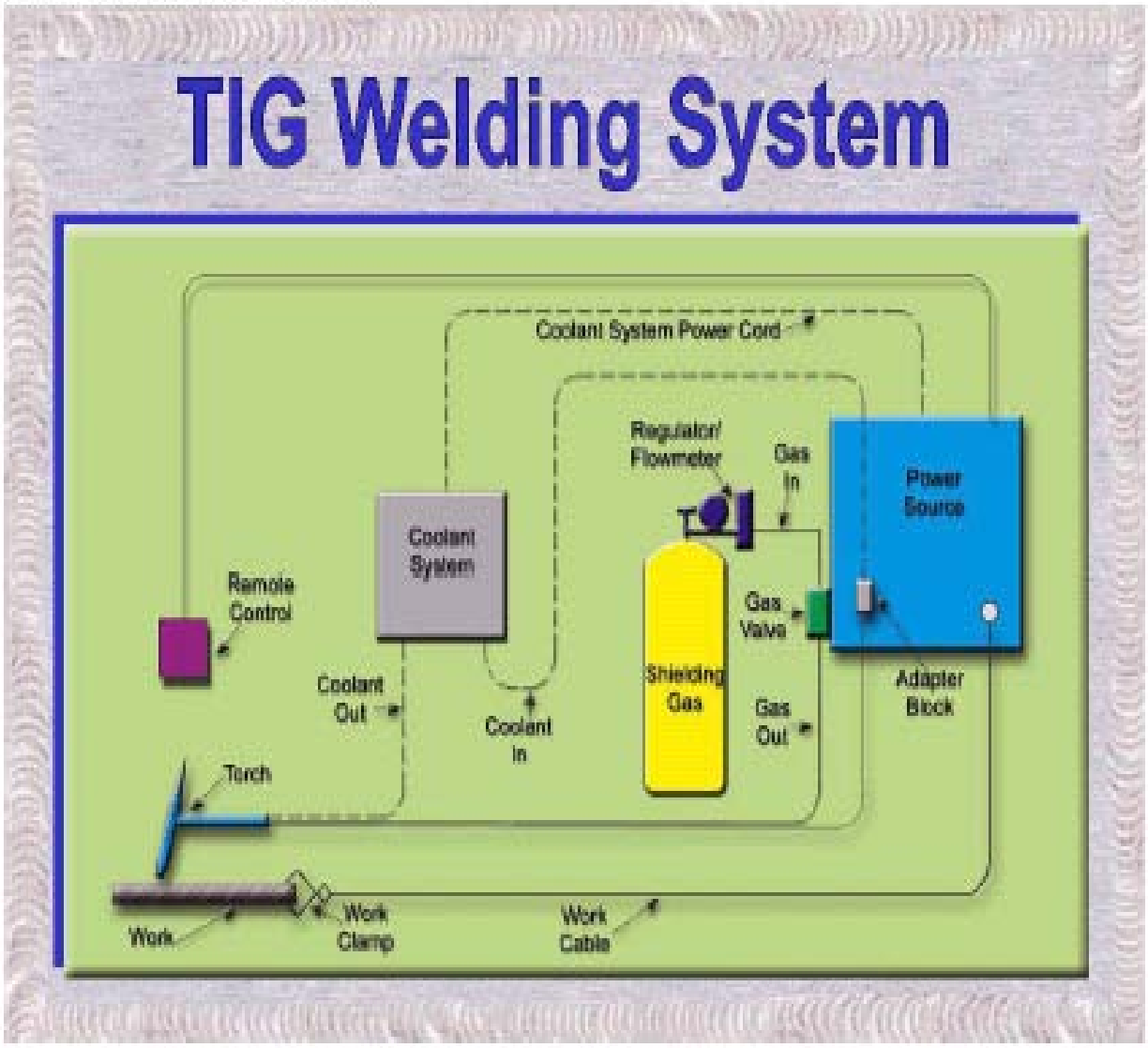
١ - ماكينة اللحام .
٢ - غاز الأرغون .
٣ - فرد اللحام (Torches) .
٤ - أقطاب التنجستون (Electrodes) .
٥ - حافظة قطب التنجستون (Electrode caps) .
٦ - أسلاك اللحام (Filler Rods) .
٧ -منظم الضغط (Pressure Regulator) .

****

١ -ماكينة اللحام . Welding Machine

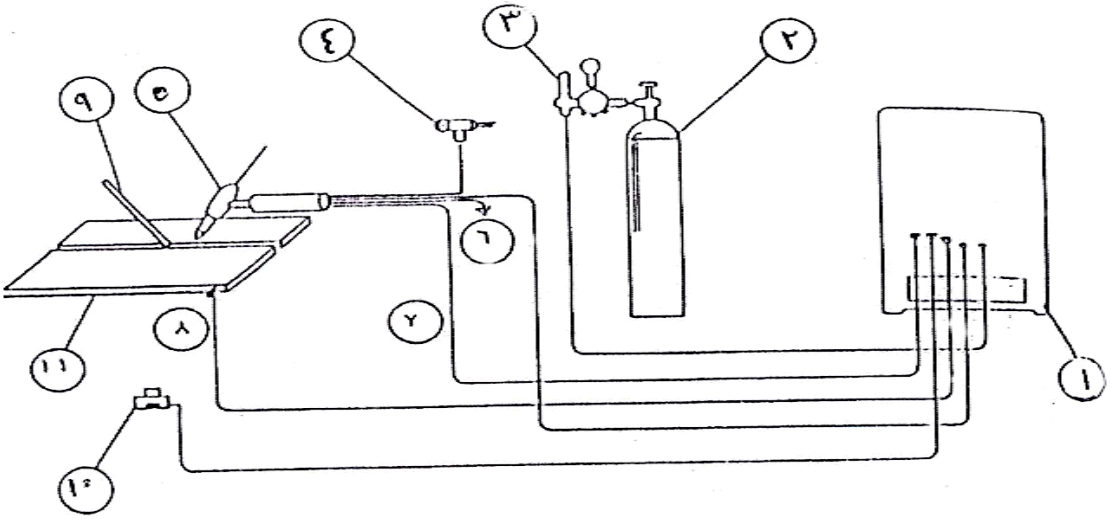
إن المواصفات العالمية لمعدات لحام (GTAW) ، وتمتاز ببساطتها في التركيب كما هو موضح في الأشكال رقم (1) و (2) و (3) ، والمرفقة ضمن هذه الوحدة.

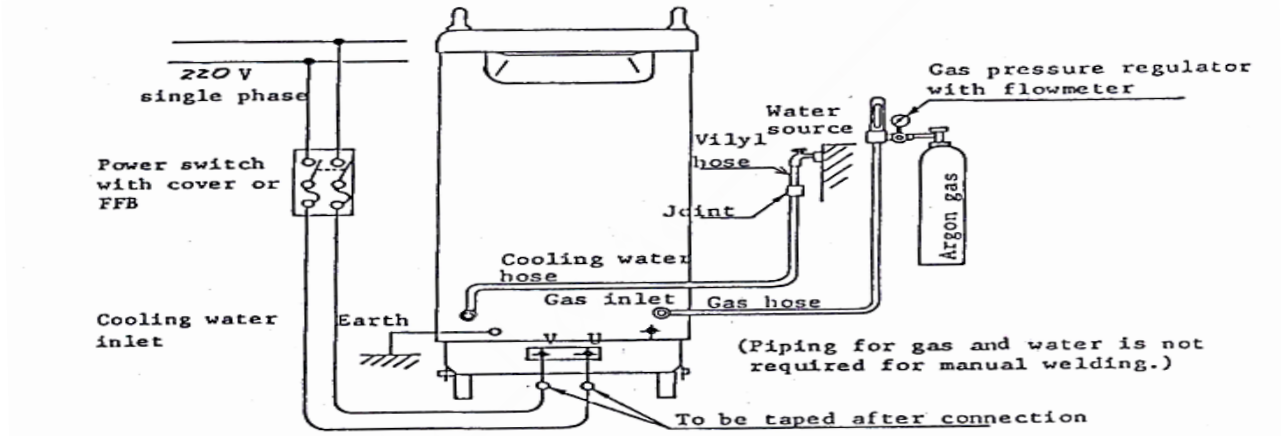
GTAW (TIG) Connections



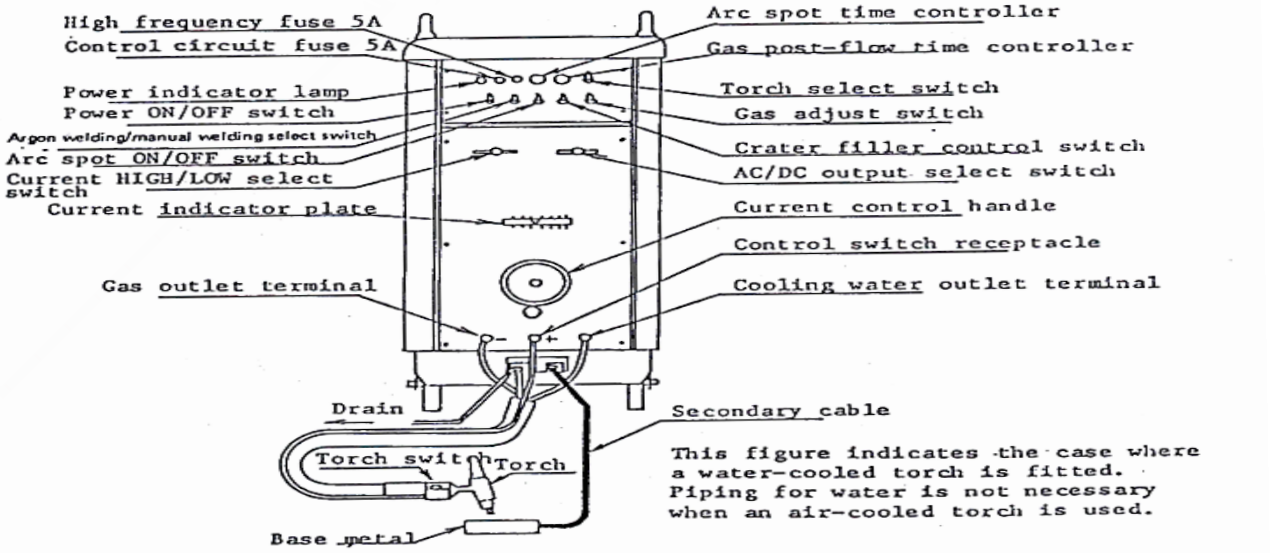
رسم تخطيطي يبين وحدة كاملة للحام القوس الكهربائي اليدوي مع استعمل غاز خامل واقي واسلاك لحام التنجستون.

- مصدر الكهرباء (تيار ثابت ومتغير).
2- اسطوانة الغاز الخامل .
3- منظم الضغط .
4- مصدر الماء المستعمل في التبريد
5- فرد اللحام .
6- مصرف للماء بعد عملية التبريد .
7- وصلة كيبل الكهرباء من الماكنة لفرد اللحام .
8- سلك اللحام .
9- كيبل الايرث (الارضي) .
10- القطعة المراد لحامها .
11- رموت كنترول (منظم التيار الكهربائي) .





(a) Connection on rear side



(b) Connection on front side

Fig. 1 External Connections Diagram for Argon Arc Welding

مقدمة

أي ماكنة لحام كهربائية ذات مواصفات عالمية سواء كانت تعمل بتيار متردد (Ac) ، او تيار مستمر (Dc) تستخدم في لحام التيج (Tig) ، ومن المهم أن يكون المولد (generator) أو المحول (Transformer) لديه المقدرة على التحكم الجيد بالتيار ضمن الترددات المنخفضة ، وهذا أمر هام يلزم للحصول على استقرارية جيدة للقوس الكهربائي المتولد ، خصوصاً عند لحام القطع المعدنية ذات السماكات المنخفضة.

فعندما تكون ماكنة اللحام تولد تيار (Dc) ، والتحكم به ضعيف ضمن المعدلات المنخفضة فيستحسن تركيب مقاومة (resister) على الخط الأرضي ما بين المولد وطاولة اللحام (work bench) فمثل هذه المقاومة ستجعل النظام الكهربائي يولد قوساً مستقراً ومنخفض (very low, stable) .

بينما لو كانت ماكنة اللحام ذات تيار متردد (Ac) فيجب ان تزود بمولد ترددات عاليه (high frequency generator) ، لدعم التيار المطلوب مع ملاحظة أن عملية اللحام بتيار متردد (Ac) هو أن التيار يتغير اتجاهه ، بشكل مستمر خلال فترة زمنية قصيرة ، وهذا الفاصل الزمني القصير جداً الذي لا يسري به تيار يجعل القوس الكهربائي في حالة عدم استقرار (Unstable) يؤدي في بعض الأحيان إلى إطفاء القوس.

إذن فمع وجود مولد للترددات العالية في النظام سيزيد من انتظام التيار وبذلك نحصل على قوس كهربائي مستقر نوعا ما .

وكلا الاجرائين أي المقاومة لماكينة تيار مستمر (Dc) ، أو مولد ترددات عالية لماكينة (Ac) يمكن رؤيتها بوضوح في معظم ماكينات اللحام القديمة الصنع. فالماكينات الحديثة حالياً لنظام لحام (Tig) تحتوي على جميع الأجهزة المساعدة واللازمة لهذا الإجراء فمصدر الكهرباء يعطينا كلا التيارين (Ac) و (Dc) ضمن ترددات وقيم مسيطر عليها.

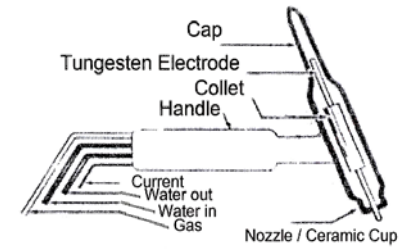


Fig. 4-3. A GTAW torch.

فرد اللحام (Torches)

فرد اللحام اليدوي التشغيل (Manually Operation) عادة يكون مزود بمقبض يدوي "Handle" ، يستخدم لعملية الامساك ، الفرد الاتوماتيكي بدونها. وعادة يرتبط به خطان ، أحدهما تيار اللحام والآخر خط الغاز الواقي لمنطقة اللحام. هذه الفرود يتم تبريدها إما بالماء أو الهواء .

والتركيب الكامل لكلا النوعين من الفرود مرفق في الاشكال لاحقا .

ففرد اللحام المبرد بالهواء مصمم لعمليات اللحام الخفيفة التي يستخدم بها قيم للتيار منخفضة كحد اقصى يصل لغاية (200 – 250 A). بينما فرد اللحام المبرد بالماء يستخدم لعمليات اللحام التي تتطلب قيم تيارية أعلى من 200 A ولغاية (400 – 500 A).

وان معدل تدفق ماء التبريد في فرد اللحام يتحكم بها عادة بواسطة (Solenoid) مرتبط مع ماكنة اللحام ، وكيبل الطاقة (Power Cable) يغلف عادة " بمياه التبريد الراجع منعاً للإحماء الزائد (Overheating) ، مما يساعد على إبقاء الكيبل باردا خلال عمليات اللحام المختلفة .

والشكل (1 – 9) يوضح ذلك. وقطب التنجستون الذي يمر به التيار الكهربائي يثبت بصورة قوية في الفرد بواسطة أسطوانة نحاسية مفرغة ذات مقاسات محددة تستخدم لتثبيت التنجستون تسمى ب (Colette) والتنوع في مقاسات هذه الاسطوانة تبعاً لتغير أقطار أقطاب التنجستون .

ويتم تدفق الغاز من الفرد عبر فوهة وهي عبارة عن قطعة نحاسية مثقبة ومسننة حسب مواصفات معينة موضوعة داخل عظمة سيراميكية (Ceramic Cup) قابلة للتبديل والتغيير بما يتلاءم مع التغير في تدفق الغاز وقطر سلك التنجستون.

فعند الضغط على مفتاح التشغيل (Control Switch) المربوط على الفرد فان ذلك سيسمح لكل من الغاز والتيار بالتدفق.

وفي بعض المعدات ، يوجد متحكم قدمي " دواسة " (Foot Control) وذلك لتنظيم تدفق الغاز والتيار بشكل أفضل خاصة عند الوصول الى المراحل الاخيرة من اللحام وذلك بالانقاص من قيمة التيار بشكل تدريجي وذلك تقليلاً من التحافير (Cavity) في نهاية حوض اللحام ومنعاً للخطر الناشئ عن التوقف القصير للغاز العازل.

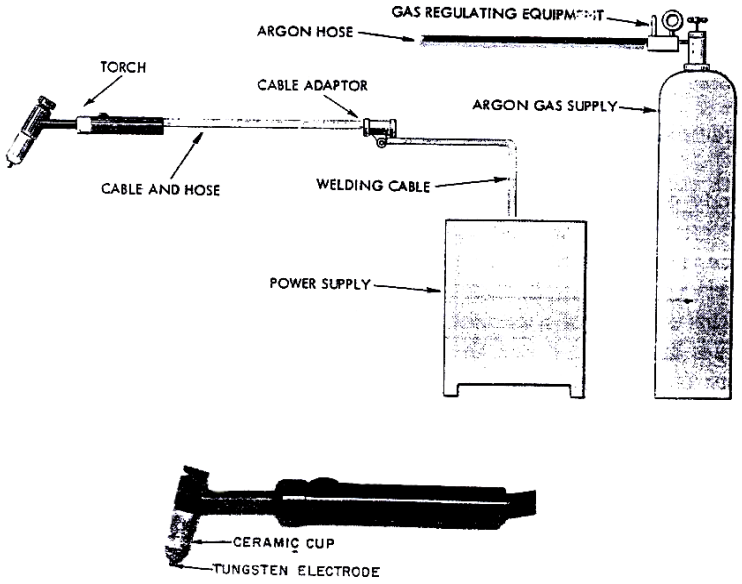


Fig. 9. An air-cooled torch is used for low current setting (below 200 amperes).

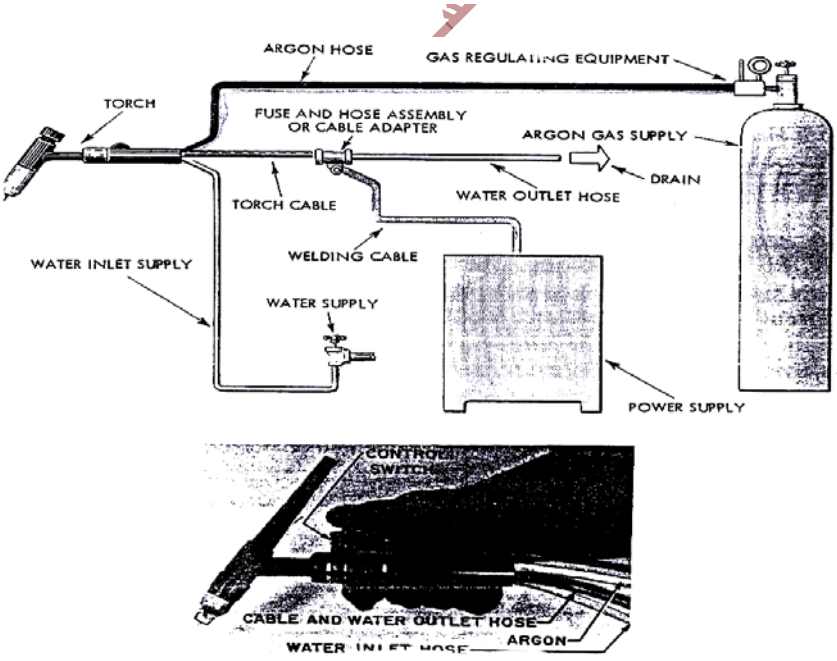
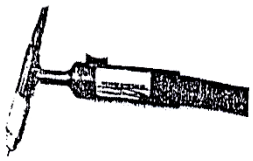


Fig. 10. When high current settings are used, a water-cooled torch is needed (above 200 amperes).

Fig. 4.3. A GTAW torch.



Argon Welding Torches each with different Max. Working Current

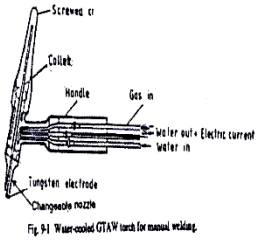
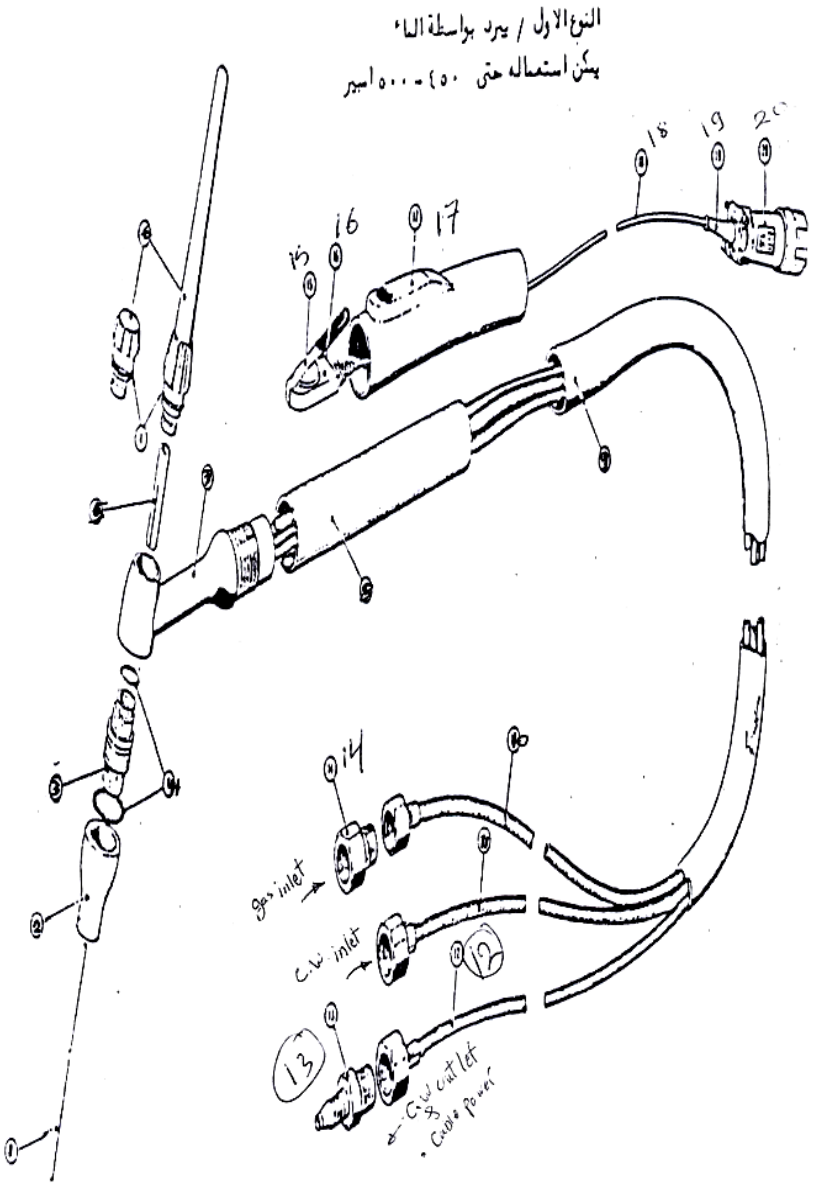


Fig. 9-1 Water-cooled GTAW torch for manual welding.

وفيما يلي بيان مفصل لأجزاء فرد اللحام الذي يبرد بواسطة الماء :-

١. سلك لحام غير قابل للصهر (سلك التنجستون).
٢. عظمة السيراميك.
٣. منظم خروج الغاز (قطعة نحاسية مثقوبة ومسننة حسب المواصفات).
٤. كاسكيت مطاطي دائري لمنع تسرب الغاز.
٥. اسطوانة نحاسية مفرغة ذات مقاسات محددة لتثبيت سلك لحام التنجستون.
٦. حافظة سلك التنجستون العلوية بنوعيها (القصير والطويل).
٧. الجزء الرئيسي من المقبض اليدوي (عبارة عن أداة الربط أجزاء الفرد مع بعضها وهي مثقوبة من الداخل لوصل الى منظم رقم (3).
٨. ماسورة المقبض اليدوي.
٩. واقي لحفظ برابيش الغاز والماء.
١٠. بربيش دخول الغاز.
١١. بربيش دخول ماء التبريد.
١٢. كيبل لوصل التيار الكهربائي.
١٣. خط الماء الراجع بعد التبريد.
١٤. وصلة نحاسية (صامولة خاصة لبربيش الغاز).
١٥. أداة التشغيل الاتوماتيكية.
١٦. مفتاح الاتوماتيك.
١٧. ماسورة عازلة لجهاز الاتوماتيك.
١٨. الكيبل الموصل.
١٩. عازل مطاطي م طرف الكيبل الموصول.
٢٠. فيش وصل الكيبل.



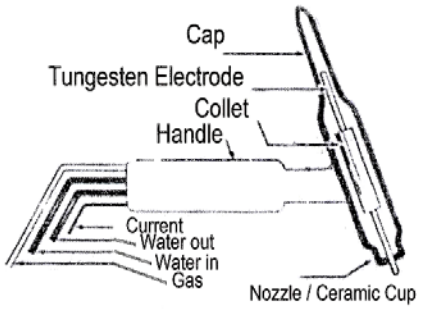


Fig. 4-3. A GTAW torch.

أجزاء فرد اللحام الذي يبرد بواسطة الهواء :-

١ . عظمة السيراميك.

٢ . كاسكيت مطاطي دائري لمنع تسرب الغاز.

٣ . منظم خروج الغاز (قطعة نحاسية مثقوبة او مسننة حسب المواصفات) .

٤ . سلك لحام التنجستون .

٥ . اسطوانة نحاسية مفرغة ذات مقاسات محدد لتثبيت سلك لحام التنجستون.

٦ . حافظة سلك التنجستون العلوية (تستعمل لاسلاك التنجستون الطويلة.

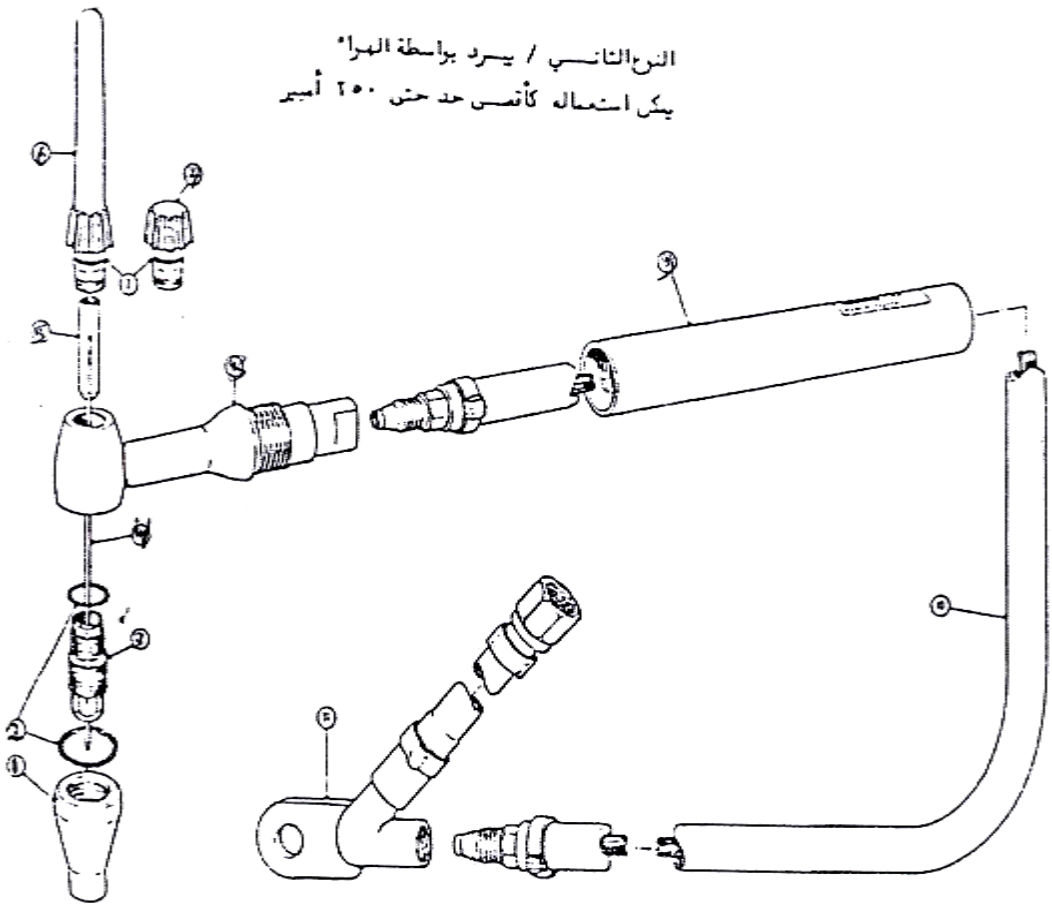
٧ . حافظة سلك التنجستون العلوية (تستعمل في المناطق الضيقة).

٨ . الجزء الرئيسي من المقبض اليدوي (أداة لربط أجزاء الفرد مع بعضها وهي مثقوبة من الداخل لوصل الغاز بالمنظم رقم (7).

٩ . ماسورة المقبض اليدوي.

١٠ . الكيبل الرئيسي لوصل الغاز والكهرباء للفرد.

١١ . أداة خاصة موصلة للتيار الكهربائي من مصدر كهرباء (ماكينة اللحام المولد) .



Electrode caps حافظة قطب التنجستون

من الملاحظ ان حافظة سلك التنجستون تتنوع وتختلف في التصميم تبعاً للتطبيق المطلوب منها خلال اللحام ، فالبعض تكون حافظة طويلة كما يتضح في شكل (21 – 14) نستطيع من خلالها امساك قطب التنجستون بشكل كامل بدون الحاجة الى تقصيره ، وعليه يكون أكثر اقتصادياً وأسرع في استخدام الفرد ذو حافظة طويلة لأنه لن يكون هناك داع لقص عدد من الأقطاب والحاجة لفترة زمنية للتجهيز.

وكما ذكرنا فان طبيعة اجزاء اللحام ومنطقة وصلة اللحام ان كانت محصورة وضيقة يكون من الضروري استخدام حافظة قطب تنجستون قصيرة ، والشكل المرفق يوضح عدد من التصاميم التجارية لحوافظ الاقطاب المستعملة حالياً في السوق المحلي.

FIGURE 14-20 Compare this TIG holder with the holder shown in Fig. 14-21. This TIG holder doesn't have the long pointed cap to hold an extra length of tungsten. You would select this holder shape if getting at work in a tight space was more important to you than having an extra-long tungsten in the holder.

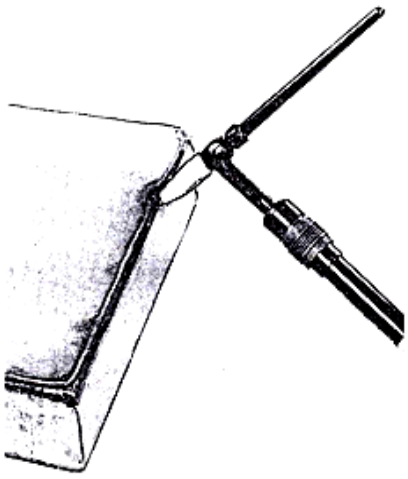


FIGURE 14-21 This TIG holder has just been used to weld a thin edge seam on a metal box. There is no clearance problem in this sheet-metal work, so the welder selected a TIG holder with a cap to contain an extra-long tungsten.

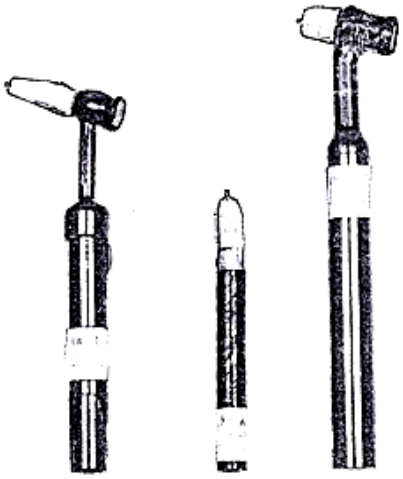


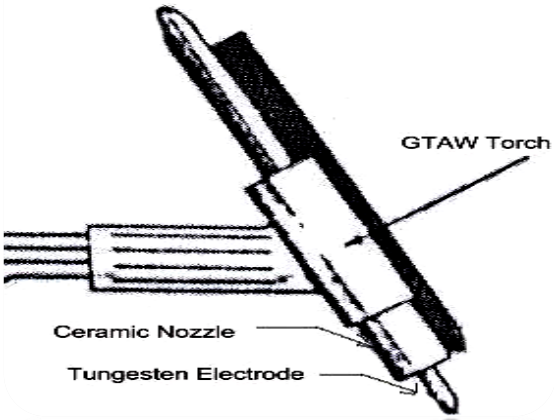
FIGURE 14-22 The TIG holder in the middle is a straight-headed pencil-shaped TIG holder. All three TIG holders are air-cooled models. A water-cooled holder (not shown) would look similar to an air-cooled TIG holder except that the handle and head would be a little thicker to make room for the cooling-water lines needed for high-amperage (up to 500 A) work.

والجدول التالي يوضح مقاس قطر عظمة السيراميك تبعاً لقطر قطب التنجستون ، وذلك مع ملاحظة ضرورة اتباع تعليمات الشركة الصانعة حسب تصميم الفرد.

Tungsten Electrode Diameter	Cup Orifice Diameter
1/16 (1.6mm)	1/4 ~ 3/4 (6.4 ~ 9.5mm)
3/32 (2.4mm)	3/8 ~7/16 (9.5 ~ 11.5mm)
1/8 (3.2mm)	7/16 ~ 1/2 (11.5 ~ 12.7mm)
3/16 (4.8mm)	1/2 ~ 3/4 (12.7 ~ 19mm)

Figure 3.22 An air-cooled GTAW torch.

Figure 3.23 A water-cooled GTAW torch.



Electrodes الأقطاب

كما ذكرنا سابقاً ان القطب المعدني المستخدم في انظمة لحام التيج هو قطب غير مستهلك مصنوع من معدن التنجستون ، يتولد القوس الكهربائي بين قطب معدن التنجستون الذي لا يذوب أثناء عملية اللحام وبين القطعة التي يتم لحامها ، وهذا يعني ان القطب لا يذوب ولا يدخل معدنه في خط اللحام وإنما يستخدم فقط لتوصيل التيار اللازم للقوس الكهربائي.

ويمتاز قطب التنجستون (Tungsten electrodes) بدرجة انصهاره العالية تصل لغاية (3410 C°) ، ومقاومته الكهربائية المنخفضة وموصلية حرارية جيدة وإشعاعه للالكترونات كبير وبشكل سهل ، ويصنع سلك التنجستون من معدن خاص ناعم السطح ويكون بأقطاب قياسية ثابتة.

ان سلك التنجستون له تأثير مباشر على التيار المستخدم والذي يرتبط مباشرة مع نوع المعدن المراد لحامه فاستخدام تيار قليل يؤثر على ثبات القوس الكهربائي وبالتالي يزيد من سرعة استهلاك الالكترود وهناك أربعة أنواع من أسلاك التنجستون موضحة في جدول أدناه .

GTAW Electrode Numbers , Colors & Alloys					
AWS Number	Code Color	Approximate Alloy Content			Others
		Tungsten	Thoria	Zirconia	(Max)
EWP	Green	99.5	-	-	0.5
Eth-1	Yellow	98.5	0.8 to 1.2	-	0.5
Eth-2	Red	97.5	1.7 to 2.2	-	0.5
Eth-3	Blue	98.95	0.35 to 0.55	-	0.5
EWZr	Brown	99.2	-	0.15 to 0.4	0.5
From Table 1 & 3 of AWS A5 12.69					

يتراوح أقطار هذه الاقطاب ما بين (0.5 – 6.4 mm) وبأطوال تتراوح ما بين (75-610 mm) . وأما أن تكون من التنجستون النقي (EWP) – (Pure Tungsten) درجة نقاوتها تصل لغاية (99.5%) ، وتمتاز بتكلفة منخفضة وتستخدم لأعمال اللحام ذات الدقة المنخفضة ، عن أسلاك التنجستون الثوريومي أو الزيركونيوم التي تستخدم لسعات تياريه أعلى ، وقذفها للالكترونات أعلى (Better Electron Emissive) وأطول عمراً وأكثر مقاومة لعوامل التلوث ، وسهولة توليد القوس واستقرارية أفضل .

ملاحظة : للحام الفولاذ الكربوني والفولاذ عالي الشد بواسطة قوس التنجستون المحجب لغاز خامل فان استخدامه في هذا المجال محدود جداً نظراً للتكاليف العالية لغاز لحماية المستخدم وقلة الإنتاجية بالنسبة إلى غيرها من أساليب اللحام ، علماً بأن هذا النوع من اللحام يستخدم أحيانا لعمل تمريرات الجذر في الحالات التي تتطلب نوعية عالية من اللحام في المراجل البخارية للمحطات البخارية ومصافي النفط .....وغيرها.

Table 3-7. GTAW Conditions for Nickel Alloys

Base Metal Thickness (in.)	Filler Metal Diameter (in.)	Electrode Diameter (in.)	Shielding Gas Flow Rate (Argon) (cfh)	Welding Current DCSP (amp)
1/32	0.030	0.040	12 to 15	25 to 35
1/16	0.045	1/16	12 to 15	55 to 65
3/32	0.060	3/32	12 to 20	75 to 100
1/8	0.090	3/32	12 to 20	110 to 135
1/4	0.090	3/32	12 to 20	130 to 200

TABLE 14-5 Typical welding procedure for manual GTAW of carbon steel

Material thickness, in.	1/16 to 1/8	1/8 to 1/4	1/4 to 1/2
Joint design	Square butt	Single-V groove	Double-V groove
Current, A	50–100	70 to 120	90 to 150
Polarity	DCSP	DCSP	DCSP
Arc voltage, V	12	12	12
Travel speed, in./min	As required	As required	As required
Electrode type	EWTh-2	EWTh-2	EWTh-2
Electrode size, in.	3/32	3/32	1/8
Filler-metal type	E70S-2	E70S-2	E70S-2
Filler-metal size, in.	1/16 or 3/32	3/32 or 1/8	3/32 or 1/8
Shielding gas	Argon	Argon	Argon
Shielding-gas flow rate, scf/h	20	20	25
Purging gas	Argon	Argon	Argon
Purging-gas flow rate, scf/h	5–7	5–7	5–7
Nozzle size	3/8	3/8	1/2
Nozzle-to-work distance, in.	1/2 maximum	1/2 maximum	1/2 maximum
Preheat, minimum	60°F [15.5°C]	60°F [15.5°C]	60°F [15.5°C]
Interpass temperature, maximum	500°F [260°C]	500°F [260°C]	500°F [260°C]
Postweld heat treatment	None	None	None
Welding position*	F, H, V, OH	F, H, V, OH	F, H, V, OH

* F = flat, H = horizontal, V = vertical, OH = overhead.

شكل قطب التنجستون * (Electrode Shapes) *

تعطى عملية تجهيز قطب التنجستون أهمية كبرى وذلك :

- للحصول على جودة عالية أو نظافة في خط اللحام المطلوب.
- إن تناسق شكل القطب يحدد شكل تدفق الغاز ، وبالتالي تحصل على درجة الحماية المطلوبة لمنطقة الصهر في حوض اللحام .

فعندما تكون قيمة تيار اللحام منخفضة جداً أو قطر القطب كبيرة جداً فان القوس الكهربائي الناشئ يكون مشتتا وضعيفاً ، ولتلافي هذا الوضع تتم عملية جلخ القطب فان زاوية رأس القطب مرتبطة مع تيار اللحام المستخدم وسماكة القطع المعدنية المراد لحامها .

فكلما كانت الزاوية صغيرة كانت نفاذية اللحام كبيرة ، وعرض خط اللحام الناتج ضيق (narrower the bead) .

وتتراوح قيمة هذه الزاوية ما بين (120 ~30) ، ولكن الزاوية الأكثر شيوعاً هي (60 °) وأيضا درجة حافة الطرف تؤثر على نفاذية اللحام ، فكلما كانت الزاوية صغيرة كانت نفاذية اللحام كبيرة ، وعرض خط اللحام الناتج ضيق (narrower the bead) ، ومعظم التطبيقات العملية تستخدم قطب التنجستون ذو رأس مدبب (Pointed electrodes) مع تيار لحام مباشر (DC) وتستخدم قطب ذو رأس كروي مع تيار مستمر (AC) كما في الشكل (12) . مع مراعاة ضرورة التأكد من استقامة القطب داخل الفرد وإلا أدى ذلك إلى توزيع الغاز بشكل غير منتظم حول القوس الكهربائي.

والأشكال المرفقة التالية توضح ذلك.

Electrode Shapes

To produce good welds the tungsten electrode must be shaped correctly. The general practice is to use a pointed electrode with DC welding and a spherical end with AC welding. See Fig. 12.

It is also important that the electrode be straight, otherwise the gas flow will be off center from the arc.

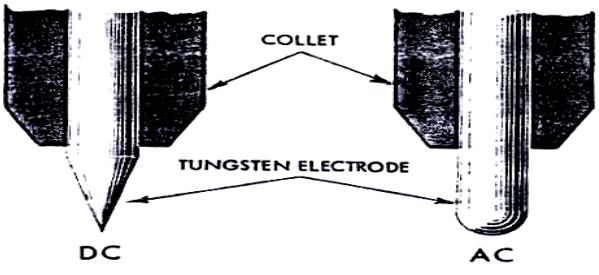


Fig. 12. Be sure the tungsten electrode is shaped properly.

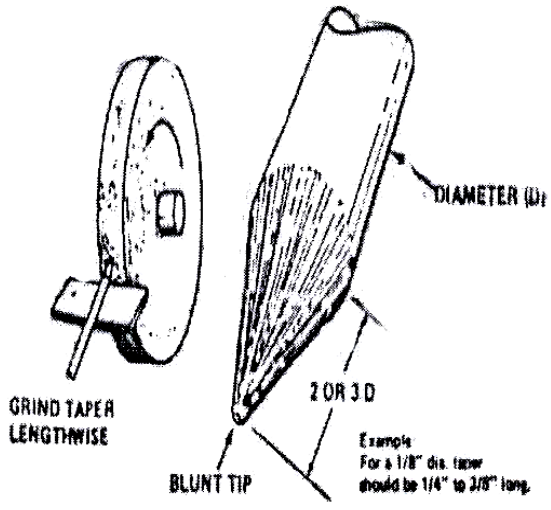
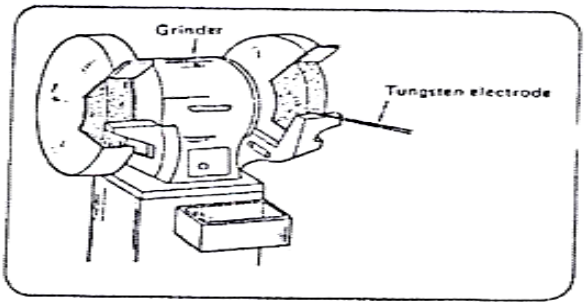


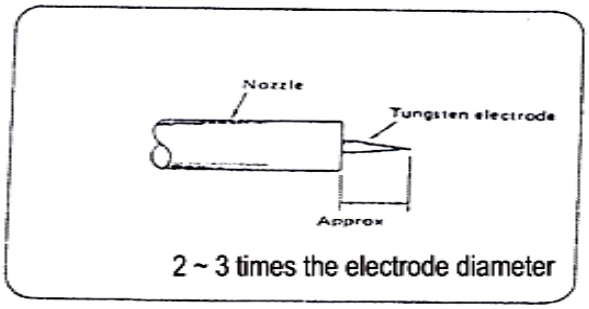
Fig. 4-5. Grinding a tungsten electrode tip.

1. Sharpen the electrode end.

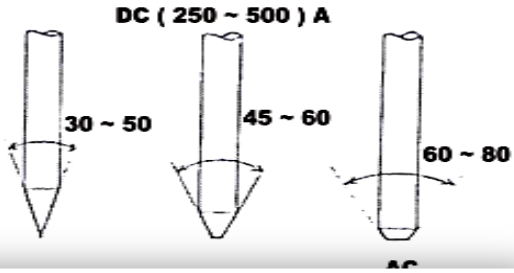


(1) Grind the electrode end sharp.

2. Attach the electrode to the torch.



(1) Attach the electrode so that its end projects about from the nozzle.



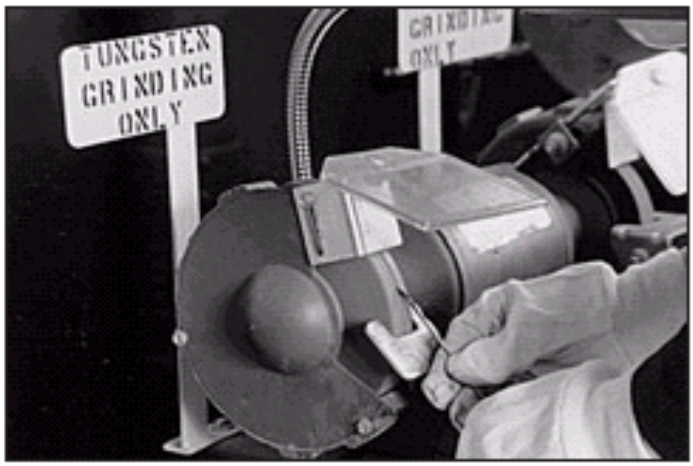
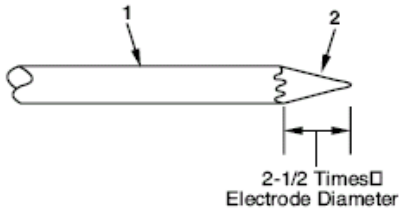


Figure 4.10 Tungsten electrode preparation.



1. Tungsten Electrode
2. Tapered End

Grind end of tungsten on fine grit, hard abrasive wheel before welding. Do not use wheel for other jobs or tungsten can become contaminated causing lower weld quality.

- أسلاك لحام التنجستون غالية الثمن بشكل ملحوظ لذا يجب معاملتها بكل حذر وخاصة عند جلخ الرأس الأمامي للسلك.
- عملية الجلخ هذه لا يستغني عنها وذلك لأنها تؤدي إلى تركيز قوة القوس الكهربائي في نطاق ضيق محدودة ، والى حصر حرارة القوس الناتجة حسب الطلب مما يؤدي إلى سهولة ودقة إجراء عملية اللحام .
- ومن الأهمية بمكان أن يخصص قرص جلخ خاص لجلخ أطراف أسلاك التنجستون وذلك لتفادي أي تلوث قد ينتج نتيجة استعمال قرص الجلخ هذا عند استعماله لجلخ معادن أخرى.
- والتلوث هذا يؤدي إلى تلف تدريجي وأحيانا سريع لطرف السلك المجلوخ.

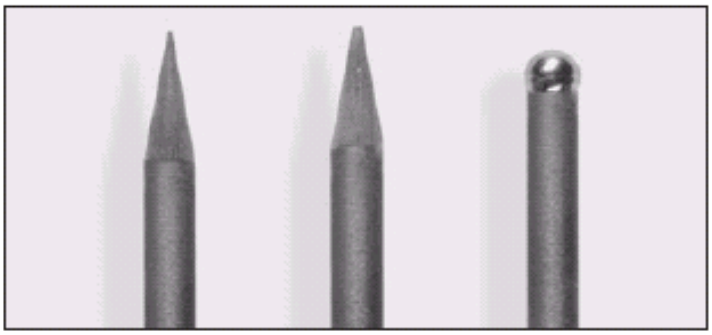


Figure 4.6 The ball diameter should never exceed 1.5 times the electrode diameter. Pointed tungstens are as noted.

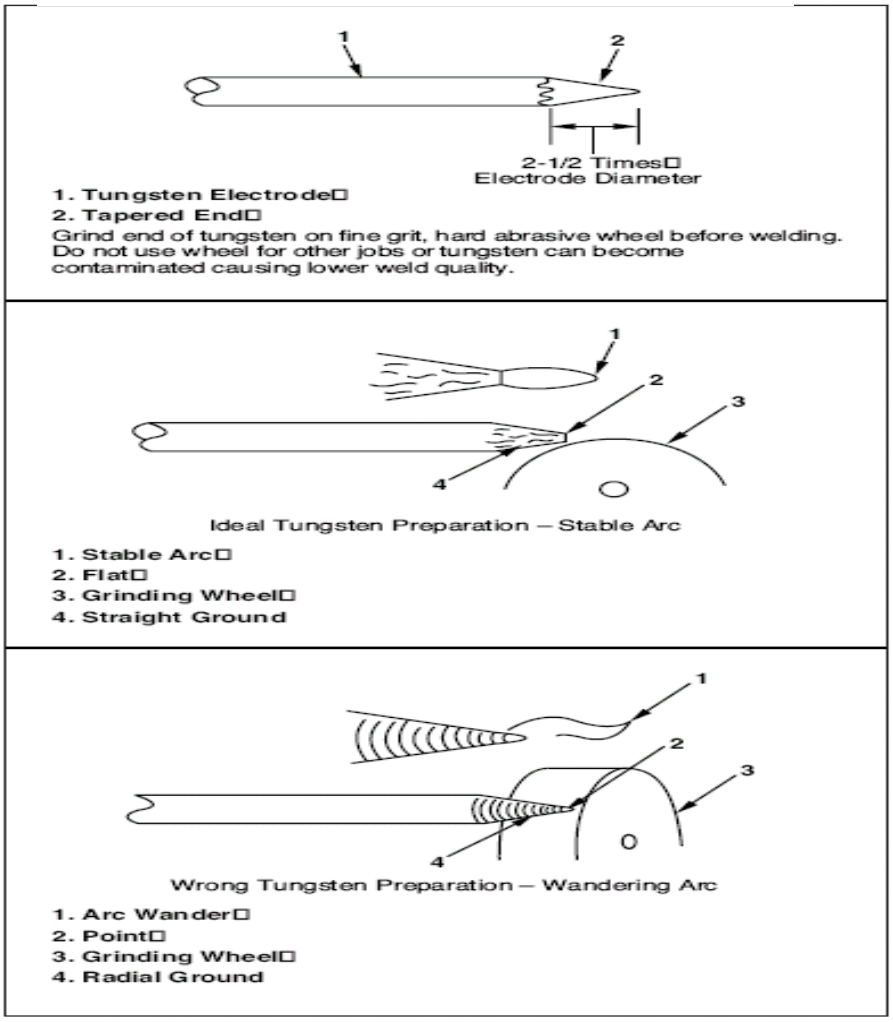


Figure 4.7 Preparing tungsten for DC electrode negative welding and AC with wave shaping power sources.

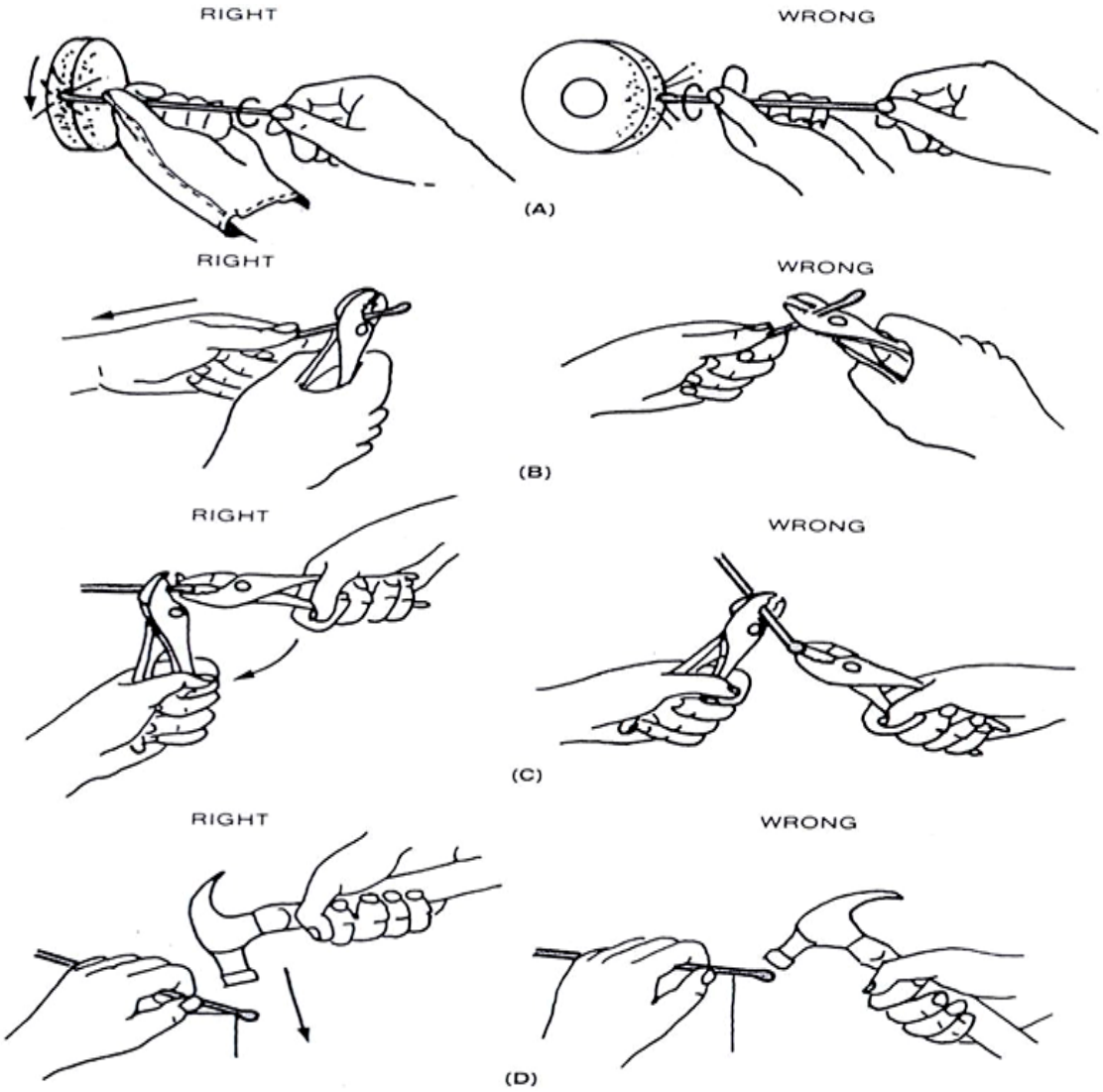


FIGURE 14-19 Right and wrong ways of tipping and redressing a GTAW tungsten electrode. (A) How to grind the ends of a tungsten electrode. (B) Cutoff ends of electrodes up to 1/16 in. [1.6 mm] in diameter. (C) How to break off ends of electrodes larger than 1/16-in. [1.6-mm] diameter but not larger than 1/8-in. [3.2-mm] diameter. (D) How to break off ends of electrodes 3/32 in. (2.4 mm) and larger in diameter. Put electrode on edge of a bench.

بعض التوصيات المهمة الواجب إتباعها للحفاظ على حياة عملية أطول لأقطاب التنجستون

١. يجب حفظ الأقطاب في أماكنها الخاصة بها إلى حين استعمالها، ويجب أن لا تترك بين العدد والمبارد وغيرها لتلافي تلفها كما ويجب أن لا تتعرض للأوساخ مطلقاً.

٢. عند الانتهاء من عملية اللحام وحين قطع القوس الكهربائي مباشرة يجب أن يستمر الغاز الواقي بالتسرب من فوهة العظمة الأمامية إلى أن يبرد قطب اللحام تماماً وأما إذا كانت عملية التبريد بواسطة الغاز غير كافية الزمن فانه يكسو الطرف الأمامي لقطب اللحام طبقة من الاكاسيد حيث يظهر لون القوس مختلف تماماً من لونه الطبيعي العادي عند اشتعال القوس مرة أخرى وهذا يؤثر على خواص اللحام ويقلل حياة السلك العملية . وتتم عملية التبريد الصحيح للسلك عند إيقاف عملية اللحام مباشرة بأن يبقى الغاز الخامل مستمر التسرب لبضعة ثوان ، وعلى اللحيم أن يراقب الطرف الأمامي للقطب إلى أن يظهر لامعاً" مصقولاً ".

٣. يجب تجنب تلوث لحام التنجستون بمادة اللحام المنصهرة أو تجنب التصاقه بطرف سيخ اللحام المضاف يدوياً أثناء اللحام نتيجة لعدم انتظام إجراء عملية اللحام أو نتيجة السهو. وإذا حدث هذا التلوث فانه يلزم وقف عملية اللحام وجلخ المنطقة التي تلوثت وأما إذا كانت نسبة التلوث ضئيلة فلا يلزم فك السلك من فرد اللحام ، يكفي عمل قوس كهربائي على قطعة من الفولاذ الكربوني لعدة ثواني إلى إن يزول التلوث نهائياً وأما إذا ما أزيل التلوث هذا فان ذلك يؤدي الى عدم تركيز القوس الكهربائي كما يجب والى صعوبة عملية الانصهار.

٤. لا تلمس طرف سلك اللحام الأمامي قبل التأكد من أن ماكينة اللحام لا تعمل. وأما إن لزم ذلك فيجب أن يلمس طرف القطب بحيث لا تغلق الدارة الكهربائية.

٥. تأكد من قطب التنجستون مثبت جيدا داخل الحافظة ، وان لا تقل الطول الموجود في هذه الحافظة الداخلية عن 10 ملم.

٦. لا تشعل القوس الكهربائي دون أن تتأكد من أن الغاز يتسرب من فوهة العظمة الأمامية خوفاً من التأكسد الذي يؤدي إلى تلف مؤكد لطرف السلك الأمامي.

الحياة العملية لقطب التنجستون

سبق أن أشرنا إلى سلك لحام التنجستون لا يكاد يستنفذ في أسلوب لحام القوس الكهربائي في جو من الغاز الخامل ، ولكن في الواقع يحدث فعلاً بعض الفقد في التنجستون ، ويتفاوت الفقد في التنجستون وفي احتمال ترسبه في مادة اللحام تفاوتاً كبيراً اثر عدة عوامل منها :-

١. تلوث السلك.
٢. طريقة أداء عملية اللحام.
٣. طريقة اشتعال القوس.
٤. الوقاية التي يوقي بها طرف السلك بعد انطفاء القوس الكهربائي.
٥. مقدار التيار الكهربائي.
٦. مقاس السلك.

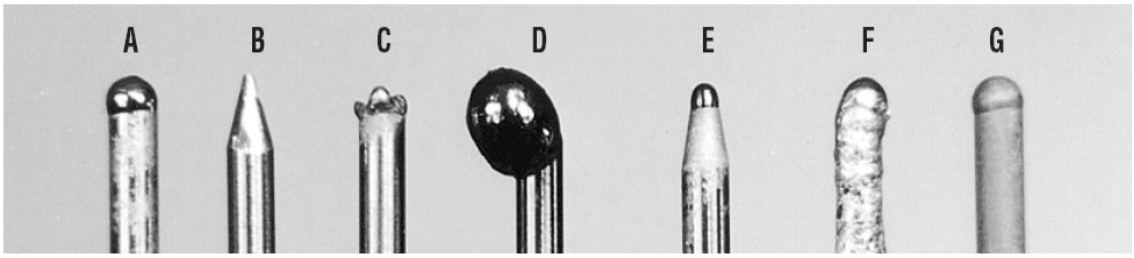


Figure 4.11 1/8" Tungstens.

ELECTRODE "A" has the "ball" end. This pure tungsten was used with alternating current with a sine wave power source on aluminum. Notice the end is uniform in shape and possesses a "shiny bright" appearance.

ELECTRODE "B" is a 2% thoriated tungsten ground to a taper and was used with direct current electrode negative, or a similar shape for Advanced Squarewave applications.

ELECTRODE "C" is a 2% thoriated tungsten used with an alternating current sine wave power source on aluminum. Note that this electrode has several small ball shaped projections rather than a round complete "ball end" like the pure tungsten.

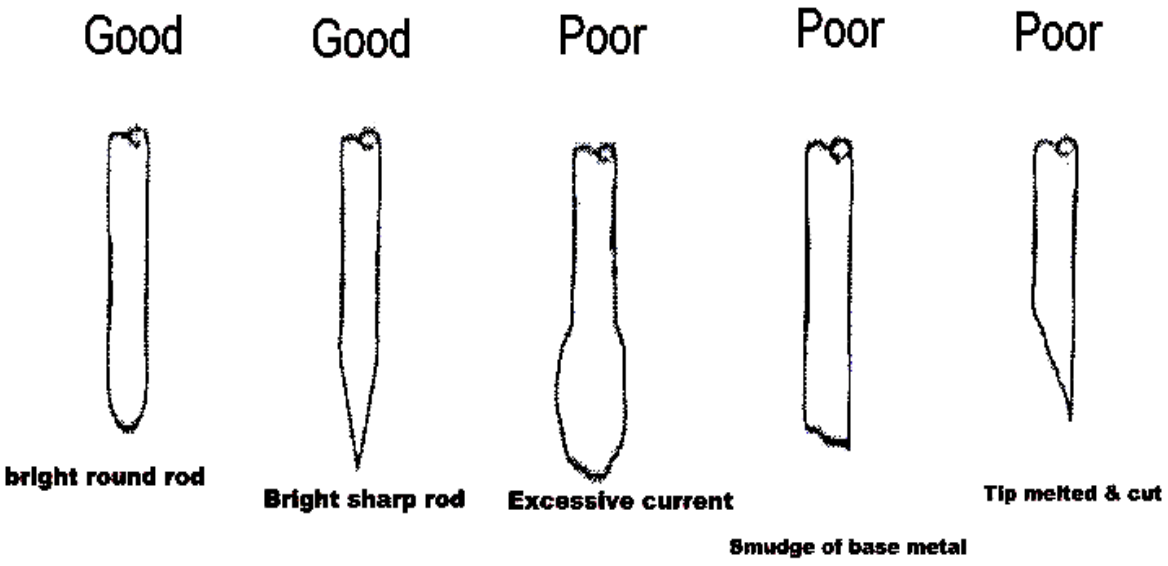
ELECTRODE "D" is a pure tungsten used with alternating current sine wave power source or balance control set to excessive cleaning action on an AC wave controlled power source on aluminum. This electrode was subjected to a current above the rated capacity. Notice the "ball" started to droop to one side. It became very molten during operation and continuing to operate would have caused the molten end to drop into the weld pool.

ELECTRODE "E" is a pure tungsten that was tapered to a point and used on direct current electrode negative. Notice the "ball" tip characteristic of the pure tungsten. Pointing of pure tungsten is not recommended as the extreme point will always melt when the arc is established, and often times the molten tip will drop into the molten weld pool.

ELECTRODE "F" was severely contaminated by touching the filler rod to the tungsten. In this case, the contaminated area must be broken off and the electrode reshaped as desired.

ELECTRODE "G" did not have sufficient gas postflow. Notice the black surface which is oxidized because the atmosphere contacted the electrode before it cooled sufficiently. If this electrode were used, the oxidized surface will flake off and drop into the weld pool. Postflow time should be increased so the appearance is like electrode "A" after welding.

Form of tungsten electrode tip



* (Shielding Gases) * الغازات العازلة

* تستخدم في عزل القوس الكهربائي الناتج عن مرور تيار كهربائي في قطب غير مستهلك مثل قطب التنجستون عديدة نذكر منها غاز الارغون ، الهليوم ، أو خليط من الغازين معاً.

فغاز الأرغون يمتاز بما يلي :

١ - أثقل من الهواء ب (1.4) مرة ، و (10) مرات عن غاز الهليوم وهذه الميزة تعطي غاز الأرغون وضعاً مثالياً في عملية العزل لحوض اللحام .

٢ - سهولة الرؤيا عبر هذا الغاز (لا يوجد ضبابية) خلال عملية اللحام مما يتيح مراقبة القوس الكهربائي والتحكم بحوض اللحام بشكل جيد.

٣ - يعطي غاز الأرغون عادة إجراء تنظيفي أحسن (a better cleaning action) خاصة عند لحام معدني الألمنيوم والمغنيسيوم بتيار متردد (AC).

٤ - يعطي قوسا ناعماً (smoother) وهادئاً (Quieter Arc).

٥ - فخاصية الفولتية المنخفضة للقوس (Lower are Voltage Characteristic) لغاز الأرغون تمتاز في لحام المعادن الرفيعة (Thin material) لوجود تركيز اقل في اختراقية المعدن وعليه فان غاز الارجون يستخدم بكثرة في عزل اللحامات ذات السماكات تصل لغاية (3.2 mm) سواء كان اللحام يدوي او لحام آلي ذات سرعات بطيئة .

٦ - اشتعال القوس بغاز الارجون أسهل منه لغاز الهليوم.

٧ - وعرض خط اللحام يكون أضيق (narrow) ، وتأثير منطقة الإحماء أقل (Small Heat Effect Zone).

* يستخدم غاز الهليوم في بعض الأحيان للسرعات العالية لعمليات اللحام نظرا لتولد فولتية عالية للقوس الكهربائي عند نفس قيمة التيار.

** خليط غازي الأرغون والهليوم يستعمل عادة في لحام المعادن التي تحتاج إلى تسخين عالي مثل المواد غير الفولاذية (AL , SS ونحاس ونيكل وتيتانيوم) ، فالجداول التالية توضح اختيارات الغازات بما يلاءم المعادن.

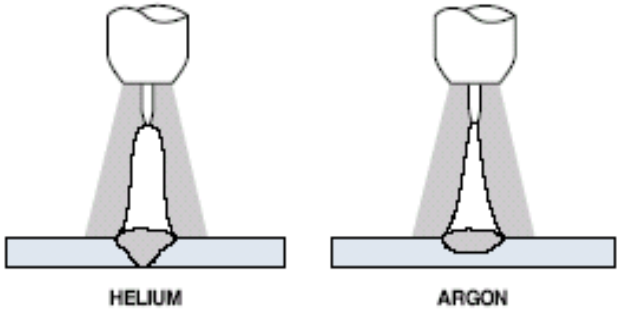


Figure 4.13 A representation of the affects on the arc and bead produced by argon and helium shielding gases. Note the wider arc and deeper penetration produced by the helium shielding gas.

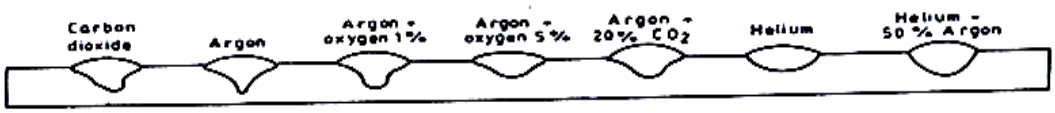


Fig. 5-3 Effect of shielding gas on weld bead shape.

In general the composition of the shielding gas for gas shielded arc welding of different metals and their alloys can be based on the guidelines provided by table 5-6. Bead shapes obtained with different shielding gases are shown in Fig. 5-3.

Table 5-6 Gases for Gas-Shielded Arc Welding Processes

Metal	*Shielding gas*	*Gas effects*
Mild Steels	CO_2	Low spatter
	CO_2 + 1 – 2% O_2	Avoids lack of fusion
	Ar + 1 – 2% O_2	Better bead shape
	Ar + 20 – 25% CO_2	No spatter
Low alloy steels	Ar + 2% O_2	Improved emissivity, hotter arc Eliminates undercutting
	Ar + 5% O_2	Improved bead shape
	Ar + 20% CO_2	Lower cost
Stainless steels	Ar + 1 – 5% O_2	Stable arc, reduced undercutting
	Ar + 2 – 4% H_2	Hotter running arc
	He+7·5% Ar+2·5% CO_2	Improved bead shape
Aluminium	Argon	Removes surface oxides
	He + 25% Ar	Oxide removal and porosity control
Magnesium	Argon	Removes surface oxides
	Argon + 50% He	Hotter arc, reduced porosity
Nickel	Argon	Improved control on base metal
	Ar + 50 – 75% He	Fluidity, good wettability
	Ar + 2 – 5% H_2	Hotter running arc
Copper	Argon	Reduces sensitivity to surface cracks
	He + 25% Ar	Improved bead shape
	Nitrogen	Counteracts high thermal conductivity by high heat input arc
Titanium	Argon	Good metal transfer

TABLE 14-3 How to select a shielding gas for GTAW

Metal	Welding Operation	Shielding Gas	Advantages and Applications
Aluminum and Magnesium	Manual	Argon	Better arc starting, cleaning action, weld quality, lower gas consumption.
		Argon-helium	High welding speeds are possible due to higher heat produced by helium.
	Machine	Argon-helium	Better weld quality, lower gas flow than required with straight helium.
		Helium (DCSP)	Deeper penetration and higher weld speeds than can be obtained with argon-helium.
Carbon Steel	Spot Welding	Argon	Generally preferred for longer electrode life. Ease of starting, lower gas flows than helium.
	Manual	Argon	Better molten weld puddle control, especially for out-of-position welding.
	Machine	Helium	Higher speeds obtained than with argon.
Stainless Steel	Manual	Argon	Permits controlled penetration on thin-gauge material
	Machine	Argon	Excellent control of penetration on light-gauge materials.
		Argon-helium	Higher heat input, higher welding speeds possible on heavier gauges.
		Argon-hydrogen (up to 35% H_2)	Prevents undercutting, produces desirable weld contour at low current levels, requires lower gas flows.
		Argon-hydrogen-helium	An excellent selection for high-speed tube-mill operations.
		Helium	Provides highest heat input and deepest penetration.
Copper, Nickel, Cu-Ni Alloys	Manual	Argon	Easy to get molten puddle control, penetration, and good bead contour on thin-gauge sheets and strip.
		Argon-helium	Higher heat input to offset high conductivity of heavier gauges.
		Helium	Highest heat input for higher welding speeds on heavy metal sections.
Titanium	Manual	Argon	Low gas flow rate minimizes turbulence and air contamination in welds, improves heat-affected zone.
		Helium	Better penetration for manual welding of thick sections (inert-gas backing required to shield back of weld against contamination).
Silicon Bronze	Manual	Argon	Reduces cracking of this "hot short" metal.
Aluminum Bronze	Manual	Argon	Less weld penetration of base metal when welding thinner sections.

ويمتاز هذا الغاز بعدم قابليته للاشتعال (non – combustion) ولا للانفجار (Non-Explosive) ، يستخلص من الهواء بواسطة التبريد العالي وهو اثقل من الهواء بنسبة (23%) ، وينقسم هذا الغاز إلى ثلاثة مجموعات (A,B.C.) حسب درجة النقاوة واحتوائه على الشوائب بنسب تتراوح من (0.01) ، (0.04) ، (0.1%) على التوالي.

والغاز التجاري منه يحتوي على شوائب بنسبة (16.7%) وفي عمليات اللحام المتقدمة تحتاج الى غاز ارجون عالي النقاوة بنسبة (99.995 %) ، ويعتبر من الغازات غير السامة (Non Toxic) ولكنه يؤدي إلى الاختناق في حالة حصره بأماكن ضيقة.

ويخزن هذا الغاز ضمن اسطوانات فولاذية ذات مقاييس عالمية في الحالة الغازية ، فالاسطوانات التي تحتوي على غاز الارجون النقي تكون ذات لون اسود من الأسفل وأبيض من الأعلى مع وجود كلمة ارجون نقي (Pure Argon) مكتوبة على الاسطوانة.

يكون ضغط الغاز في الاسطوانة (150 – 200 kg/cm²) في حالة الإملاء الكامل (Full Filled) . ويتصل عادة ما بين الاسطوانة ومنطقة اللحام منظم مربوط على اسطوانة الغاز بحيث يعمل هذا المنظم على تخفيض ضغط الغاز الى ما هو مطلوب (عادة اقل من 0.5 atm) . وايضاً يبقى ضغط العمل في حالة الثباتية (working press constant)

ومنظم ضغط غاز الارجون لونه اسود عادة . ومعدل تدفق غاز الأرغون يقاس بمقياس تدفق يسمى (Flow meter) مثبت مع المنظم.

وكما ذكرنا سابقاً تنقسم درجات غاز الأرغون المستخدم في عمليات اللحام إلى (3) درجات (A, B,C) نفصلها كالتالي :-

١. درجة (A) : نقاومه بنسبة (99.99%) ، يستخدم في عمليات اللحام ذات الدقة العالية جداً وللمعادن النادرة (rare metal).

٢. درجة (B) : نقاوته بنسبة (99.69%) ، يستخدم في لحام سبائك الالومنيوم والمغنيسيوم.

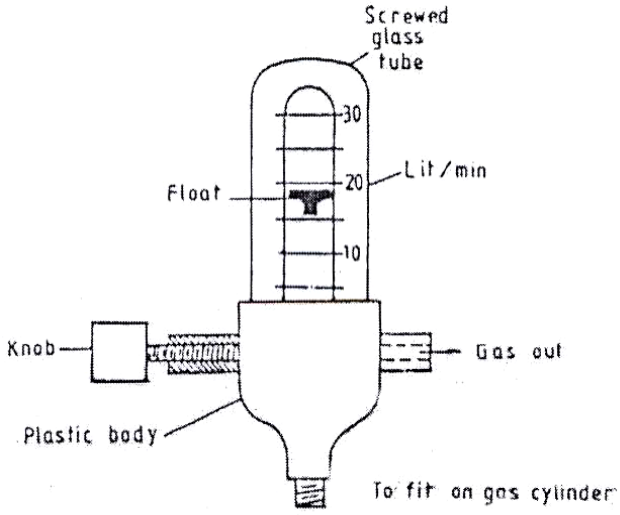
٣. درجة (C) : نقاوته بنسبة (99.9 %) ، يستخدم في لحام معدن الستينلس ستيل وغيرها من سبائك الفولاذ.

*(Pressure Regulator) *منظم الضغط

هو عبارة عن جهاز على درجة عالية من الحساسية والدقة يركب على صمام الاسطوانة بسن يميني

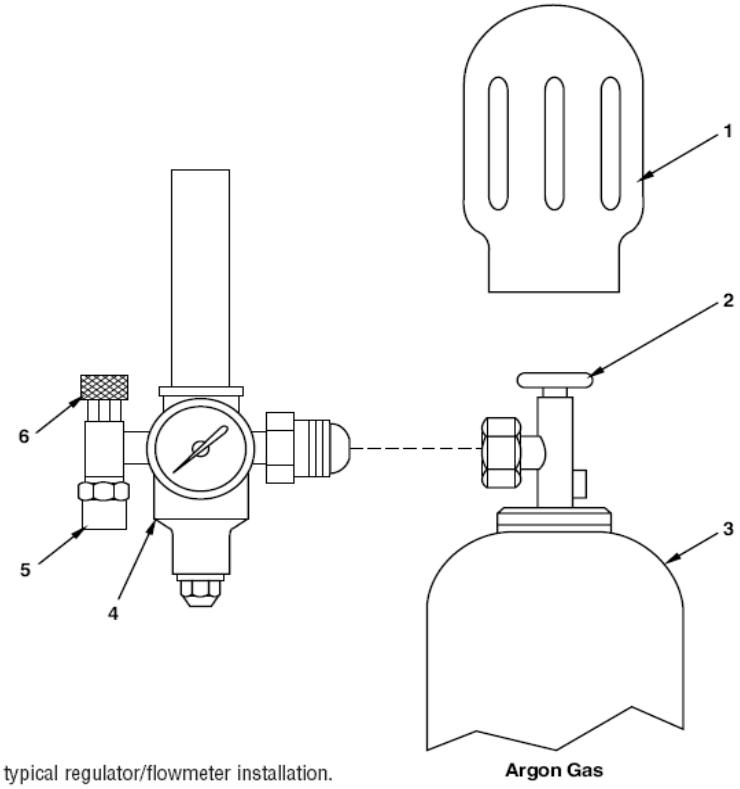
وله فوائد مهمة جداً وهي :-

١. يبين ضغط الغاز الموجود في الاسطوانة.
٢. يمنع تصريف الغاز إلا عند الحاجة.
٣. يثبت الضغط المطلوب.
٤. يخفض الضغط (من ضغط الغاز العالي الموجود داخل الاسطوانة الى ضغط التشغيل المطلوب).



Gas floweter

Figure 4.15 The regulator/flowmeter regulates the flow of shielding gas from the cylinder to the welding torch. This meter displays the amount of pressure in the cylinder as well as the rate of flow.



Obtain gas cylinder and chain to running gear, wall, or other stationary support so the cylinder cannot fall and break off valve.□

1. Cap□

2. Cylinder Valve□
Remove cap, stand to side of valve, and open valve slightly. Gas flow blows dust and dirt from valve. Close valve.□

3. Cylinder□

4. Regulator/Flowmeter□
Install so face is vertical.□

5. Gas Hose Connection□
Fitting has 5/8 – 18 right-hand threads. Obtain and install gas hose.□

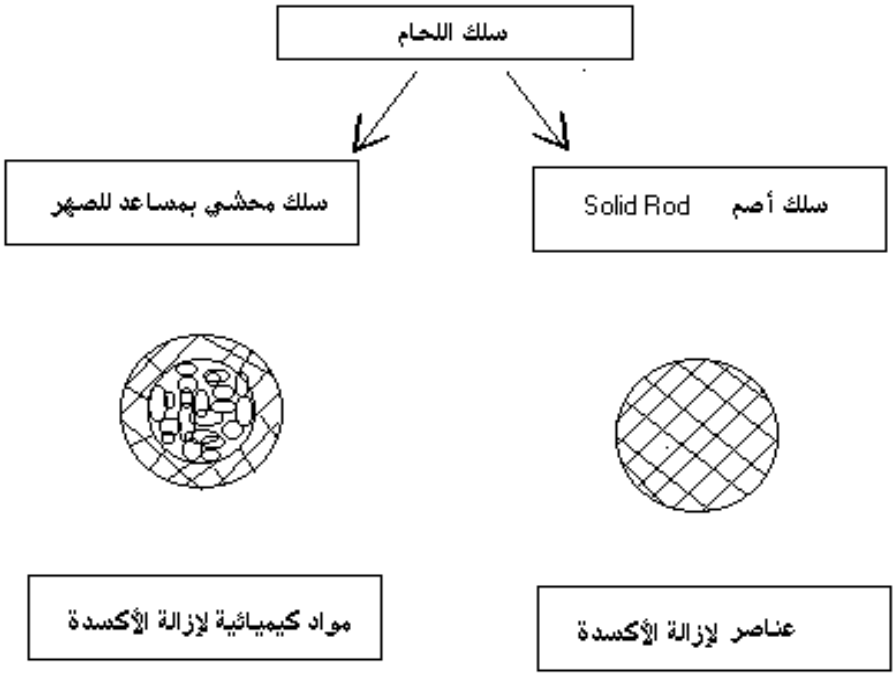
6. Flow Adjust□
Typical flow rate is 15 cfh (cubic feet per hour)□
Make sure flow adjust is closed when opening cylinder to avoid damage to the flowmeter.□
□
□
□

Figure 4.14 A typical regulator/flowmeter installation.

أسلاك اللحام (Filler Rods)

تنقسم أسلاك اللحام لهذه الطريقة إلى نوعين رئيسين هما :-

- أسلاك صماء (Solid filler Rod) .
- أسلاك مفرغة (Tubular F.R.) ، محشوة بمساعد الصهر بحيث تكون على شكل أنابيب ذات أقطار صغيرة.



وعملية لحام معدنين مختلفين تتطلب اختيار معدن الإضافة بحيث يراعى فيه إجهاد الشد والتركيب الكيمائي المناسب ، فنجاح أي لحيم يعتمد على مقدرته في فهم عمل أسلاك اللحام، وانتقاء واستعمال المناسب لكل عملية لحام .

فأسلاك الإضافة تكون ذات أطوال محددة والأقطار المختلفة تبدأ من (0.8 mm) حتى (4.8 mm) .

- أسلاك اللحام هذه تكون مكسوة بطبقة رقيقة من النحاس لتحافظ عليه من التعرض للأكسدة وكذلك تساعد على نقل التيار الكهربائي من خلال السلك المتحرك خاصة في تقنية لحام الـ(Mag) .
- وهناك أنواع مختلفة من معادن الإضافة المستخدمة في لحام التنجستون وهي في الغالب متشابهة ، وهناك مواد غير مؤكسدة تضاف إلى أسلاك اللحام وذلك للحصول على نعومة أكثر وأدق في عملية اللحام.

أسلاك التعبئة المستخدمة للحام الفولاذ الكربوني بواسطة القوس الكهربائي المحجب بغاز (GTAW & GMAW)

المواد المضافة المستخدمة في لحام الفولاذ الكربوني (Carbon steel) نسبة الكربون كحد اقصى تقدر ب 2% بواسطة قوس التنجستون مدرجة ضمن المواصفات الأمريكية (AWS/A5.18 – 80) ويتألف رمز هذه الالكترودات من العناصر التالية :

- (ER) رمز يدل على أن المواد المضافة يمكن استخدامها كالالكترودات (E) او كأسلاك تعبئة (R) حيث تستخدم كالالكترودات في حالة لحام القوس المعدني المحجب بغاز (GMAW) وتستخدم كأسلاك تعبئة فقط في لحام قوس التنجستون المحجب بغاز (GTAW).
- الرمز الذي يتبعه عادة رقم مؤلف من منزلتين ، يد ل على إجهاد الشد لمعدن اللحام (1000 X باوند / أنش^2 .
- الرمز الذي يتبعه يكون حرف (S) للدلالة على أن السلك المستخدم هو سلك أصم (Solid) ويستخدم أحيانا الرمز (T) للدلالة على أن السلك محشو بالبودرة (Tubular).
- الرمز الذي يتبعه يكون رقم من 2← 7 للدلالة على التركيب الكيماوي للمجموعة التي ينتمي إليها سلك اللحام والتي تتميز بصورة رئيسية بنسبة المنغنيز والسيليكون في هذا السلك والتي تعمل بصورة أساسية كمواد لاختزال الأوكسجين من بركة اللحام خاصة أذا كان غاز الحماية هو غاز (CO_2) أما في حالة استخدام الأرغون كغاز للحماية ، فان كمية المنغنيز والسيليكون تكون اقل في سلك اللحام.

والجدول رقم (4 – 10) أدناه يبين الانواع المختلفة لأسلاك اللحام المستخدمة للحام الفولاذ الكربوني (Carbon steel) بواسطة القوس الكهربائي المحجب بغاز.

التصنيف حسب	التركيب الكيماوي لسلك اللحام (٪)												
(AWS)	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Ti	Zr	Al
ER70S-2	0.07	0.90 to 1.40	0.40 to 0.70								0.05 to 0.15	0.02 to 0.12	0.05 to 0.15
ER70S-3	0.06 to 0.15	0.90 to 1.40	0.45 to 0.70								---	---	---
ER70S-4	0.07 to 0.15	1.00 to 1.50	0.65 to 0.85	0.025	0.035	0	0	0	0.05	-	----	---	---
ER70S-5	0.07 to 0.19	0.90 to 1.40	0.30 to 0.60								---	---	0.50 to 0.90
ER70S-6	0.07 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15								---	---	---
ER705-7	0.07 to 0.15	1.50 to 2.00	0.50 to 0.80								---	---	---
ER705-G		محدد	غير										

جدول رقم (٤-١٠)

ملاحظـــة :-

بالنسبة للحام الفولاذ الكربوني والفولاذ عالي الشد بواسطة قوس التنجستون المحجب بالغاز ، فان استخدامه في هذا المجال محدد جداً نظراً للتكاليف العالية لغاز الحماية وقلة الإنتاجية بالنسبة إلى غيره من أساليب اللحام ، علماً بأن هذا النوع من اللحام يستخدم أحيانا لعمل تمريرات الجذر في الحالات التي تتطلب نوعية عالية من اللحام في المراجل البخارية للمحطات الحرارية ومصافي النفط وغيرها .

معدن الإضافة (أسياخ اللحام المستعملة)

يجب أن تكون جميع أسياخ اللحام المستعملة مطابقة لمعدن الأساس ، وأما إذا تعذر الحصول على أسياخ لحام مناسبة فانه يمكن أن يقص بعض الشرائح من نفس معدن الأساس لتقوم مقام أسياخ اللحام.

ولقد وجد أن أسياخ اللحام المسحوبة تعطى في العادة نتائج أفضل بكثير منها لو استعملت الشرائح المقصوصة.
كما يجب انتقاء مقاس أسياخ اللحام أو الشرائح بحيث تكون مناسبة تماما وذلك لتسهيل إدخالها إلى حوض الانصهار ويشترط أن لا تكون من الكبر بحيث يتأخر انصهارها عند حافة الحوض المنصهر.

وإذا لم يكن معدن الإضافة بالمقاس المضبوط فقد ينغمس في الحوض ويتدخل مع القوس أو يلوث السلك وأما إذا كان قطر سيخ اللحام اصغر مما يلزم ، فقد ينصهر رجوعاً حيث تتكون كرة على طرفه تأكسد وتمنع التحكم في تغذية السيخ المنتظمة.

وعلى كل حال ، يجب أن لا يسحب السيخ خارج جو الغاز الواقي ، حتى لا يتأكسد طرفه ، كما يجب إبقاؤه في وضع بحيث لا يسخن دون داع خارج منطقة الغاز الواقي.

* يجب أن تكون أسياخ اللحام المستعملة نظيفة لامعة وخالية من أية أوساخ أو تلوث أو صدا ويفضل تنظيفها قبل الاستعمال بواسطة ورق الصنفرة الرقيق.
* يفضل ثني رؤوس أسياخ اللحام من الخلف بحيث تشكل الثنية شكلاً دائرياً صغيرا وذلك منعاً للإصابات التي قد يتعرض إليها مساعد اللحيم أو أي شخص آخر مجاور نتيجة حركة فجائية عفوية.

اجراء اللحام (Welding Procedure)

أولا : الخطوات التحضيرية (Preliminary Steps)

قبل البدء بعملية اللحام يجب إتباع الخطوات التالية:-

١. تفقد جميع الوصلات الكهربائية للتأكد من ربطها بأحكام وبالشكل الصحيح.

٢. تفقد والتأكد من القطر الصحيح والمناسب لقطب التنجستون وحجم العظمة (cup size) حسب تعليمات الشركة الصانعة.

٣. معايرة قطب التنجستون كالتالي :-

- بروز قطب التنجستون من عظمة السيراميك يتحدد تبعاً لتصميم وصلة اللحام (Joint design) ووضعية اللحام (weld position) فعلى سبيل المثال :-
- يجب أن يمتد قطب التنجستون من حافة عظمة السيراميك مسافة (1/8 to 3/16) إنش وذلك للحام الوصلة التقابلية (Butt weld).

يجب ان يمتد مسافة تقارب (3/8 to 1/4) إنش في لحام الوصلة الزاوية الداخلية (Fillet weld) .

- يجب أن يمتد مسافة لا تتجاوز (1/8 max) أنش في لحام الوصلة الزاوية الخارجية (Corner weld).
- وعلى العموم يجب ان لاتقل المسافة عن (1.5 mm) وإلا أدى ذلك لوجود اجهادات حرارية عالية تتلف العظمة بشكل سريع . وشكل رقم (22) يوضح ذلك.

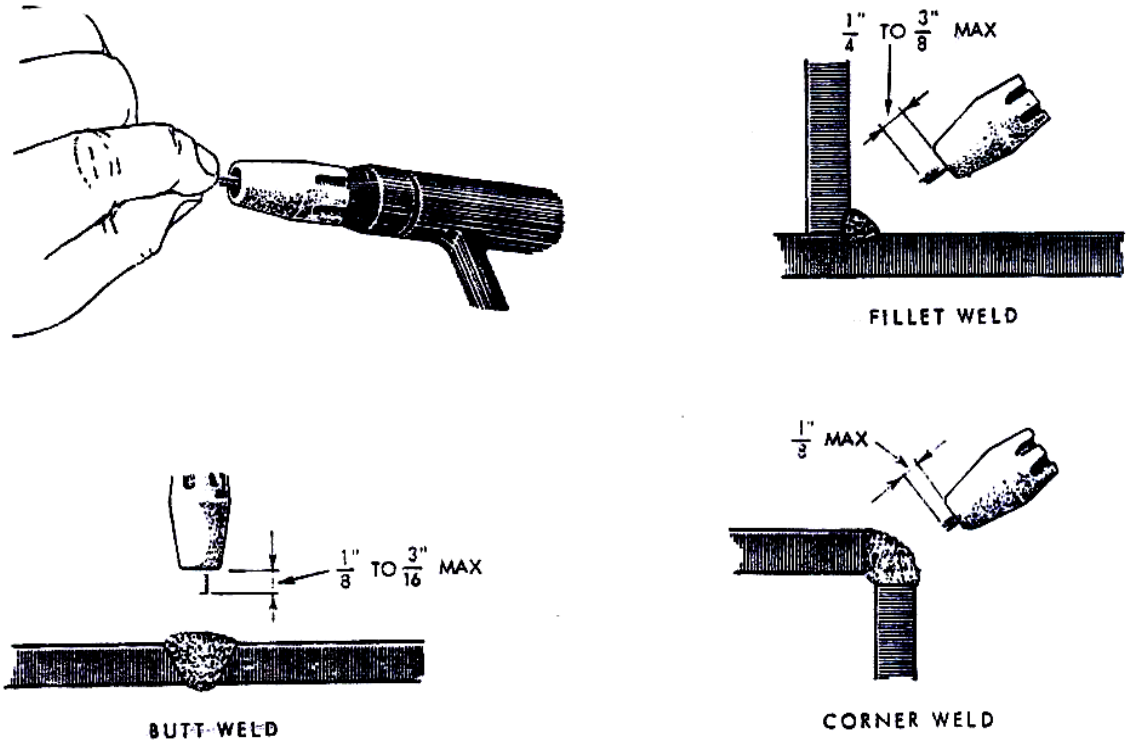


Fig. 22. Adjust the electrode so it extends beyond the edge of the gas cup.

٤. تفقد قطب التنجستون من تثبيته بقوة داخل اسطوانته النحاسية (cullet) ويتم التأكد عن طريق ملامسة طرف الفرد بسطح صلب ودفعه بشكل لطيف فلو تحرك القطب خلال عملية الدفع هذه وجب شد الاسطوانة النحاسية او عظمة السيراميك.

٥. معايرة ماكينة اللحام على نوعية التيار المطلوبة (AC or DC) وقيمة التيار الملائمة لوضعية اللحام .

٦. فتح نظام التبريد سواء مائي او هوائي على الفرد.

٧. فتح اسطوانة الغاز والتأكد من ضغطها ، ومعايرة التدفق على القيمة المحددة لعملية اللحام .

ثانياً :- توليد القوس (Starting the Arc)

عندما تتم عملية اللحام لا يلزم لتوليد القوس الكهربائي ان يلمس طرف القطب سطح قطعة العمل.

فلتوليد القوس اولاً نوصل تيار اللحام ومن ثم نمسك الفرد بالوضعية الافقية (horizontal position) على مسافة تقارب (2) انش = (51 mm) من سطح القطعة ، ثم نحرك الفرد بعد ذلك لمسافة لا تقل عن (1/8 انش) = (3.2 mm) عندئذ سيقفز التيار العالي التردد ، عبر الغراغ ما بين القطب وسطح القطعة مولداً القوس الكهربائي ، مع ضرورة التأكد بأنه مع الحركة السفلية (Downward motion) ان تتم بصورة سريعة لضمان اكبر قدر ممكن من الغاز العازل لمنطقة حوض اللحام .

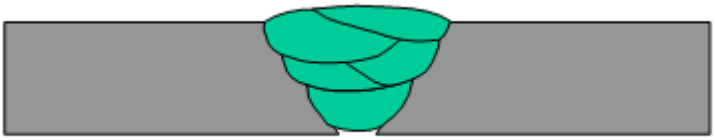
ثالثا : إيقاف القوس المتولد (Stopping the Arc)

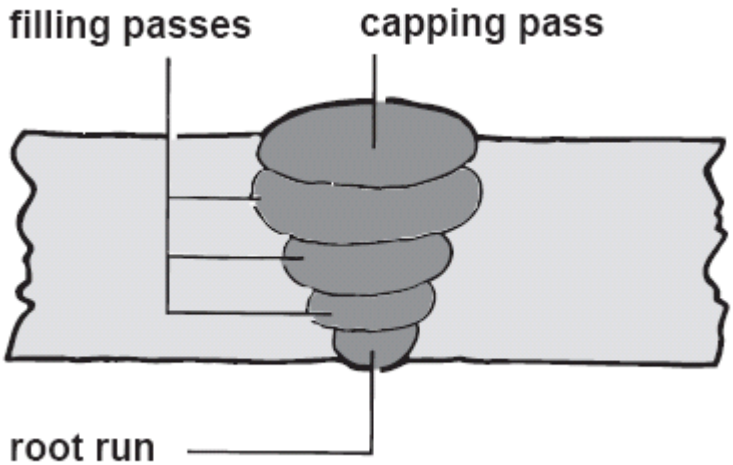
لإيقاف القوس الكهربائي سواء بماكينات (AC) أو (DC) في نهاية عملية اللحام يعتمد ذلك على مبدأ الإطفاء والتشغيل كما سنرى في الأمثلة الموضحة بالرسومات الملحقة ، خلال التمارين العملية.

حالات اللحام

ان إزاحة المصدر الحراري على طول وصلة اللحام يكون ما يسمى بالتمر يره أو (إمراره) (PASS).

يمكن أن يكون اللحام ذا تمريره واحدة (SINGLE PASS) أو تمريرات عديدة (MULTI PASSES) وفي حالة التمريرة الواحدة وعندما تكون السماكة عالية فان الحرارة المضافة تكون عالية وهذا يؤدي إلى تدني في المواصفات الميكانيكية لوصلة اللحام بينما يمكن أن تتحسن هذه المواصفات من خلال التمريرات المتعددة حيث ان كل تمريره تساعد على تلدين التمريره التي قبلها والتخفيف من الاجهادات الداخلية المتكونة فيها.





WELDING POSITION أوضاع اللحام

ان عمليات اللحام بشكلها العام اما ان تتم في:

أ/ - الموقع FIELD/SITE WELD

ب/ الورشة WORKSHOP/SHOP WELDING

ونجد ان كثير من أعمال اللحام في حالة المنشآت الصناعية يجب أن تجري في الموقع حيث يتحدد مكان ووضع وصلة اللحام على ضوء طبيعة المنشأة ، أن وضع اللحام عندما يكون في وضع غير الوضع السطحي الذي يجري في العادة عندما ينفذ العمل في الورشة فانه يتطلب مهارة من قبل الفني ليقوم بتنفيذه بالطريقة الصحيحة والحصول على وصله متينة ، من هنا نرى أن وضع اللحام يرتبط بصورة أساسية مع كفاءة فني اللحام وأن عملية التأهيل تتم على أساس تحديد الوضع الذي يتقنه هذا الفني.

وهناك العديد من أوضاع اللحام والتي تتحدد من خلال شكل وصلة اللحام وتقسم بصورة أساسية الى :

أولاً: وصلة لحام أخدودية ((GROOVE WELD (G)) :

وهذه الوصلات تصنف على النحو التالي:

أ - وصلات أخدودية / صفائح وتشمل:

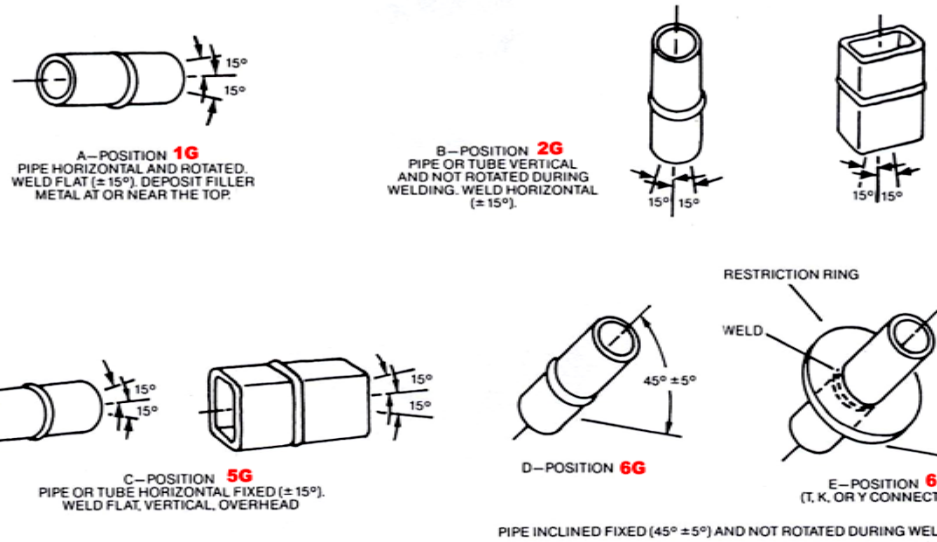
- وضع لحام سطحي — 1 G (FLAT)
- وضع لحام أفقي — 2 G (HORIZONTAL)
- وضع لحام عمودي — 3 G (VERTICAL)
- وضع لحام فوق الرأس — 4 G (OVERHEAD)

ب- وصلات أخدودية / أنابيب وتشمل:

* وضع سطحي — 1 G (FLAT) R
* وضع أفقي — 2 G (HORIZONTAL)
* وضع مركب أنبوبة أفقية — 5 G
* وضع مركب أنبوبة بزاوية 45 ° — 6 G

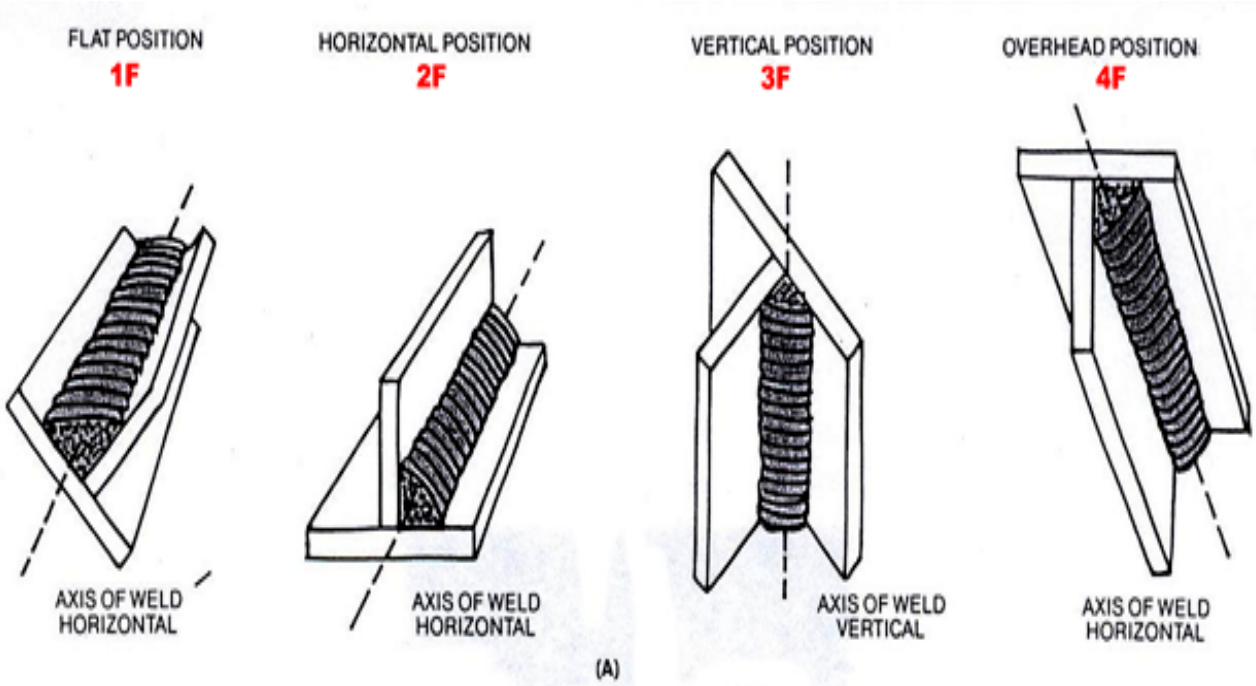
ثانياً : وصلة لحام زاوية (Fillet Weld (F)):

- وضع سطحي — 1 F (FLAT)
- وضع افقي — 2 F (HORIZONTAL)
- وضع لحام عمودي — 3 F (VERTICAL)
- وضع لحام فوق الرأس — 4 F (OVERHEAD)



(C)

Welding Positions for Pipe Groove welds



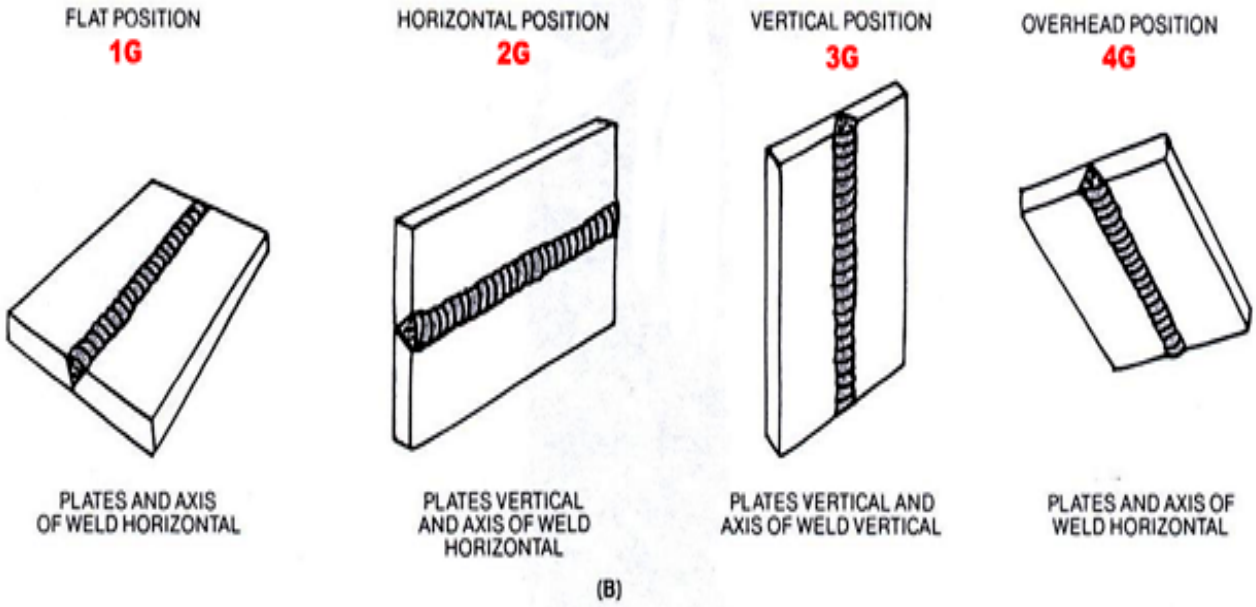


Plate / Groove weld " G "

لحام المواسير

(الأنابيب)

Pipes Welding

FIGURE 1-1 The last weld goes in place on the first trans-Alaska pipe-
line from above the Arctic Circle in Prudoe Bay to the all-weather port
of Valdez in Southern Alaska. Pipeline welders travel the world and
make more money than they can spend, but few people ever develop
skills to qualify as one of these super-welders.

Pipe Welding لحام الأنابيب

في العادةً تكون المواسير دائرية وتعرف في المقاييس العالمية بمادة الصنع (Material) أو بالقطر الاسمي (Nominal diameter) الذي يتبعه عادة سمك الجدار وطول الأنبوب والجدول رقم (1 - 10) يعطي صورة مبسطة لهذا التصنيف ضمن سماكات قياسية (stander) أو قوة مضاعفة (Extra Strong) أو قوة مضاعفة مزدوجة (double Extra strong).

TABLE 10-1 Pipe size and nominal wall thickness

Nominal Pipe Size	Outside Dia.	Schedule 5	Schedule 10	Schedule 20	Schedule 30	Standard +	Schedule 40	Schedule 60	Extra Strong	Schedule 80	Schedule 100	Schedule 120	Schedule 140	Schedule 160	Double-Extra Strong
⅛	0.405	—	0.049	—	—	0.068	0.068	—	0.095	0.095	—	—	—	—	—
¼	0.540	—	0.065	—	—	0.088	0.088	—	0.119	0.119	—	—	—	—	—
⅜	0.675	—	0.065	—	—	0.091	0.091	—	0.126	0.126	—	—	—	—	—
½	0.840	—	0.083	—	—	0.109	0.109	—	0.147	0.147	—	—	—	0.187	0.294
¾	1.050	0.065	0.083	—	—	0.113	0.113	—	0.154	0.154	—	—	—	0.218	0.308
1	1.315	0.065	0.109	—	—	0.133	0.133	—	0.179	0.179	—	—	—	0.250	0.358
1¼	1.660	0.065	0.109	—	—	0.140	0.140	—	0.191	0.191	—	—	—	0.250	0.382
1½	1.900	0.065	0.109	—	—	0.145	0.145	—	0.200	0.200	—	—	—	0.281	0.400
2	2.375	0.065	0.109	—	—	0.154	0.154	—	0.218	0.218	—	—	—	0.343	0.436
2½	2.875	0.083	0.120	—	—	0.203	0.203	—	0.276	0.276	—	—	—	0.375	0.552
3	3.5	0.083	0.120	—	—	0.216	0.216	—	0.300	0.300	—	—	—	0.438	0.600
3½	4.0	0.083	0.120	—	—	0.226	0.226	—	0.318	0.318	—	—	—	—	—
4	4.5	0.083	0.120	—	—	0.237	0.237	—	0.337	0.337	—	0.438	—	0.531	0.674
5	5.563	0.109	0.134	—	—	0.258	0.258	—	0.375	0.375	—	0.500	—	0.625	0.750
6	6.625	0.109	0.134	—	—	0.280	0.280	—	0.432	0.432	—	0.562	—	0.718	0.864
8	8.625	0.109	0.148	0.250	0.277	0.322	0.322	0.406	0.500	0.500	0.593	0.718	0.812	0.906	0.875
10	10.75	0.134	0.165	0.250	0.307	0.365	0.365	0.500	0.500	0.593	0.718	0.843	1.000	1.125	—
12	12.75	0.156	0.180	0.250	0.330	0.375	0.406	0.562	0.500	0.687	0.843	1.000	1.125	1.312	—
14 OD	14.0	—	0.250	0.312	0.375	0.375	0.438	0.593	0.500	0.750	0.937	1.093	1.250	1.406	—
16 OD	16.0	—	0.250	0.312	0.375	0.375	0.500	0.656	0.500	0.843	1.031	1.218	1.438	1.593	—
18 OD	18.0	—	0.250	0.312	0.438	0.375	0.562	0.750	0.500	0.937	1.156	1.375	1.562	1.781	—
20 OD	20.0	—	0.250	0.375	0.500	0.375	0.593	0.812	0.500	1.031	1.281	1.500	1.750	1.968	—
22 OD	22.0	—	0.250	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—
24 OD	24.0	—	0.250	0.375	0.562	0.375	0.687	0.968	0.500	1.218	1.531	1.812	2.062	2.343	—
26 OD	26.0	—	—	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—
30 OD	30.0	—	0.312	0.500	0.625	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—
34 OD	34.0	—	—	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—
36 OD	36.0	—	—	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—
42 OD	42.0	—	—	—	—	0.375	—	—	0.500	—	—	—	—	—	—

ولا بد لنا أن نميز الفرق بين الأنبوب والتيوب فهذان المصطلحان شائعان في الصناعة فكل منهما له وظيفته والشكل (1 – 10) يوضح هذا الفرق.

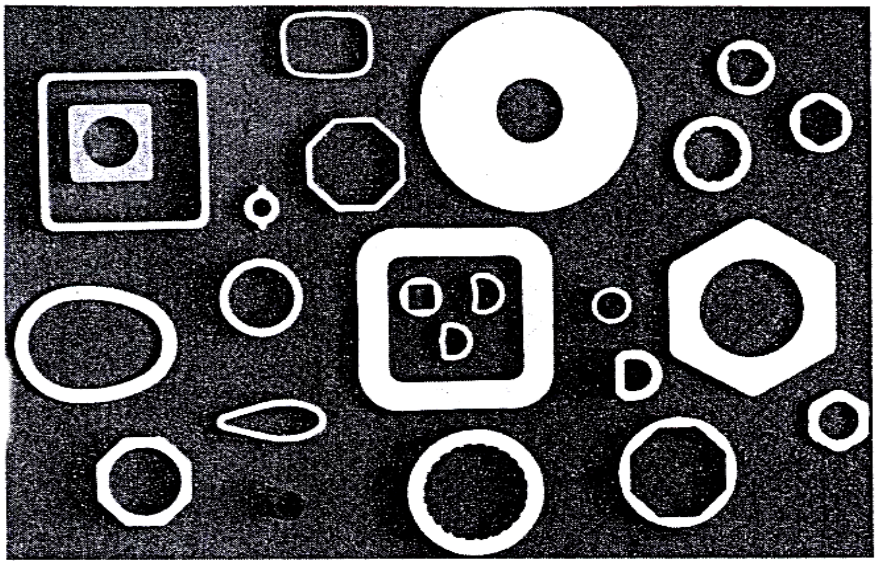


FIGURE 10-1 Tubing comes in a much wider variety of shapes, sizes, and metal grades than pipe. Tubing isn't always used to carry pressured fluids, either. This array of tubular shapes (much of it extruded from solid steel) is an example of the tubular shapes produced by the Babcock & Wilcox Tubular Products Group, Beaver Falls, Pennsylvania, a McDermott company. They also make welded tubing. Many of these tubes will be used for machine parts or as hollow shafts. When produced for those kinds of applications, the material is called *mechanical tubing*.

وهناك العديد من التصنيفات القياسية التي تتدرج تحت مظلتها مواصفات الأنابيب والتيوبات نذكر منها ***ASME BOILER & pressure vessel code, ASTM و API*** وغيرها.... تبعاً لمادة الصنع كما هو موضح في جدول رقم (2 – 10).

وهنا لابد لنا أن نشير إلى أن معدن الصنع يمكن أن يكون ستيلس ستيل ، تيتانيوم و حديد منخفض الكربون وفولاذ سبائكي مقاوم للحرارة *High-alloy heat resisting steel* والنحاس و الألمنيوم والمئات من السبائك المختلفة وعادة ما تكون مصنوعة بطريقة السحب (Seamless tubing) أو ملحومة بطريقة الدرزات *Seam welded* .

TABLE 10-2 ASTM steel pipe and tubing specifications

Specification	Description
Wrought steel pipe	
ASTM A-53	Welded and seamless steel pipe
ASTM A-120	Black and hot-dipped zinc-coated welded and seamless steel pipe for ordinary use
ASTM A-139	Electric-fusion-welded (arc-welded) steel pipe (sizes 4 in. and over)
ASTM A-134	Electric-fusion-welded (arc-welded) steel pipe (sizes 16 in.and over)
ASTM A-135	Electric-resistance-welded steel pipe
ASTM A-155	Electric-fusion-welded (arc-welded) pipe for high-temperature service
ASTM A-530	General requirements for specialized carbon steel and alloy pipe
ASTM A-369	Ferritic alloy steel forged and bored pipe for high-temperature service
ASTM A-430	Austenitic steel forged and bored pipe for high-temperature service
ASTM A-381	Metal-arc-welded steel pipe for high-pressure transmission service
ASTM A-106	Seamless carbon steel pipe for high-temperature service
ASTM A-312	Seamless and welded austenitic stainless-steel pipe
ASTM A-333	Seamless and welded steel pipe for low-temperature service
ASTM A-376	Seamless austenitic steel pipe for high-temperature central station service
ASTM A-524	Seamless carbon steel for process piping
ASTM A-335	Seamless ferritic alloy-steel pipe specially heat-treated for high-temperature service
ASTM A-405	Seamless ferritic alloy-steel pipe specially heat-treated for high-temperature service
ASTM A-211	Spiral-welded steel or iron pipe
ASTM A-409	Welded large outside diameter light-wall austenitic chromium-nickel alloy steel pipe for corrosive or high-temperature service
ASTM A-252	Welded and seamless steel pipe piles
Steel tube	
ASTM A-556	Cold-drawn carbon steel feedwater heater tubes
ASTM A-254	Copper-brazed steel tubing
ASTM A-250	Electric-resistance-welded carbon-molybdenum alloy-steel boiler and superheater tubes
ASTM A-226	Electric-resistance-welded carbon steel boiler and superheater tubes for high-pressure service
ASTM A-178	Electric-resistance-welded carbon steel boiler tubes
ASTM A-214	Electric-resistance-welded carbon steel heat-exchanger and condenser tubes
ASTM A-498	Seamless and welded carbon ferritic and austenitic alloy steel heat-exchanger tubes with integral fins
ASTM A-199	Seamless cold-drawn intermediate-alloy steel heat-exchanger and condenser tubes
ASTM A-179	Seamless cold-drawn low-carbon steel heat-exchanger and condenser tubes
ASTM A-213	Seamless ferritic and austenitic alloy-steel boiler, superheater, and heat-exchanger tubes
ASTM A-249	Welded austenitic steel boiler, superheater, heat-exchanger, and condenser tubes
Mechanical steel tubing	
ASTM A-512	Cold-drawn butt-welded carbon-steel mechanical tubing
ASTM A-513	Electric-resistance-welded carbon and alloy steel mechanical tubing
ASTM A-519	Seamless carbon steel mechanical tubing
ASTM A-511	Seamless stainless-steel mechanical tubing
ASTM A-554	Welded stainless-steel mechanical tubing

أسلاك لحام الأنابيب (Pipe Welding Rods)

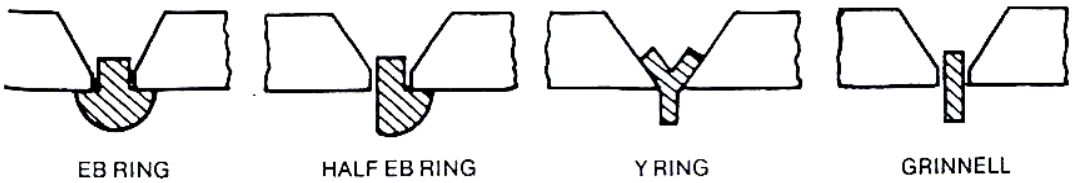
علمنا سابقاً أن هناك مدى كبير وواسع للتعامل مع أنواع معادن مختلفة للأنابيب في التصنيف ASTM يتطلب من اللحيم معرفة ما هو مناسب لإجراء اللحام من حيث اختيار السلك المطابق لمعدن الانبوب والتي عادةً ما تشملها المواصفة القياسية (AWS) كما في الجدول رقم (1 – 9).

TABLE 9-1 American Welding Society gas welding, braze-welding, and brazing rod specifications

AWS A5.2	Iron and Steel Oxyfuel Gas Welding Rods.
AWS A5.7	Copper and Copper-Alloy Welding Rods.
AWS A5.8	Brazing Filler Metals.
AWS A5.9	Corrosion-Resisting Chromium and Chromium-Nickel Steel Welding Rods and Bare Electrodes.
AWS A5.10	Aluminum and Aluminum-Alloy Welding Rods and Bare Electrodes.
AWS A5.13	Surfacing Welding Rods and Electrodes.
AWS A5.14	Nickel and Nickel-Alloy Bare Welding Rods and Electrodes.
AWS A5.15	Welding Rods and Covered Electrodes for Welding Cast Iron.
AWS A5.16	Titanium and Titanium-Alloy Bare Welding Rods and Electrodes.
AWS A5.19	Magnesium and Magnesium-Alloy Welding Rods and Bare Electrodes.
AWS A5.21	Composite Surfacing Welding Rods and Electrodes.

مساند مستهلكة (Consumable Inserts)

عادة في اللحام الكهربائي (ARC Welding) نستخدم شرائح تدعيم خلفية لوصلة الجذر تهدف إلى تحسين انصهار الجذر "Root pass fusion" وإعطاء نعومة للسطح الداخلي للأنبوب وتصنع من نفس المعدن الأساسي للأنبوب ، ويتم عمل تكن بها خلال لحام الجذركما هي موضحة في شكل رقم (5 G/(10 –

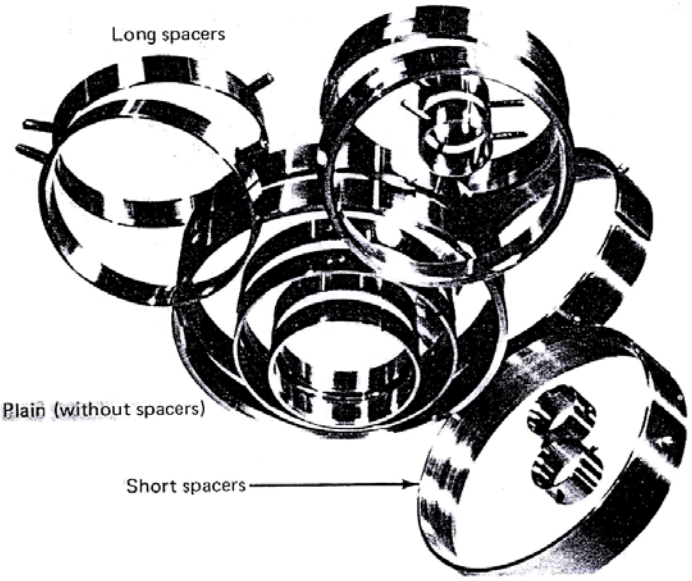


(G) Standard consumable welding inserts (used primarily for arc welding). The insert becomes part of the finished weld metal.

وهذا التدعيم يساهم أيضاً في تقليل الزمن المطلوب لعملية محاذاة محاور الأنبوبان وعلى العموم فان سيئة هذا التطبيق هو اختلاف التركيب الكيماوي عن معدن الأساس في بعض التطبيقات.

وشكل (6 – 3) يوضح بعض الأنواع العامة لهذه المساند (Welding rings) ففي الحلقات ذات فواصل قصيرة (Short Spacers) تستخدم بدون الحاجة إلى تكن فهذه الفواصل تتحكم في فتحة الجذر المطلوبة وتذوب في أول درزة لحام للجذر وتستخدم للأنابيب المتطابقة في القطر الأسمى (nominal diameter) والحلقات ذات الفواصل الطويلة (Long Spacers) تستخدم عند وجود اختلاف في أقطار الأنابيب.

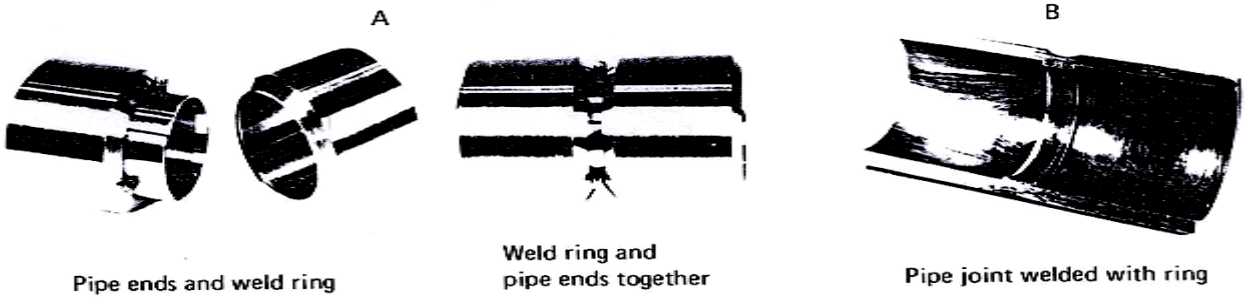
Fig. 3-6. Welding rings



Imperial Weld Ring Corporation

أما في الحلقات التي لا تحوي فواصل (plain rings) تعطي الحيم الحرية في التحكم بمقدار فتحة الجذر المطلوبة ، وتثبت بواسطة التكن وشكل (3-7A) يوضح مبدأ تركيب حلقة ذات فواصل وشكل (3 – 7B) يوضح حلقة ملحومة داخل الأنبوب.

Fig. 3-7. Installed weld rings



Imperial Weld Ring Corporation

وصلات الأنابيب (pipes joints)

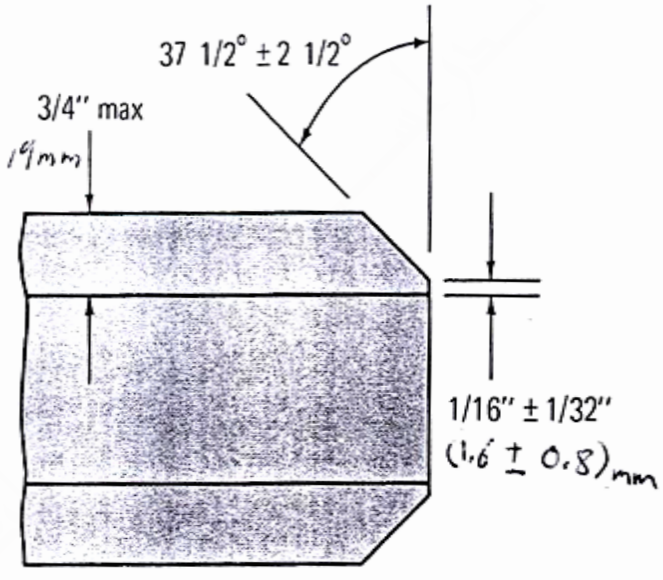
هناك نوعان أساسيان من وصلات اللحام المستخدمة في الصناعة لأنظمة للأنابيب وهما :-

١. وصلة لحام تقابلية (Butt welds)
٢. وصلة اللحام زاوية (Fillet welds)

في اللحام التقابلي الموضح في الشكل (1 – 3) نرى فيه تحضير وصلة نهاية الأنبوب تبعاً لأقصى سماكة جدار (19mm ≈ ¾") على شكل شطفة (Bevel) تضمن تخريق جيد لجذر الوصلة.

ويتم إعداد هذه الشطفة إما بواسطة القص ألياً (machining) أو بواسطة الجلخ (grinding) أو مقص الغازي (Oxygen Cutting) كما يتضح في شكل(2 - 3) الذي نرى فيه تثبيت لجهاز القص على نهاية الأنبوب وتسليط الفرد بزاوية محددة تعد الشطفة المطلوبة بزاويتها من خلال دوران الفرد حول الأنبوب.

Fig. 3-1. Butt-weld bevel



Plain bevel

Fig. 3-2. Beveling machine

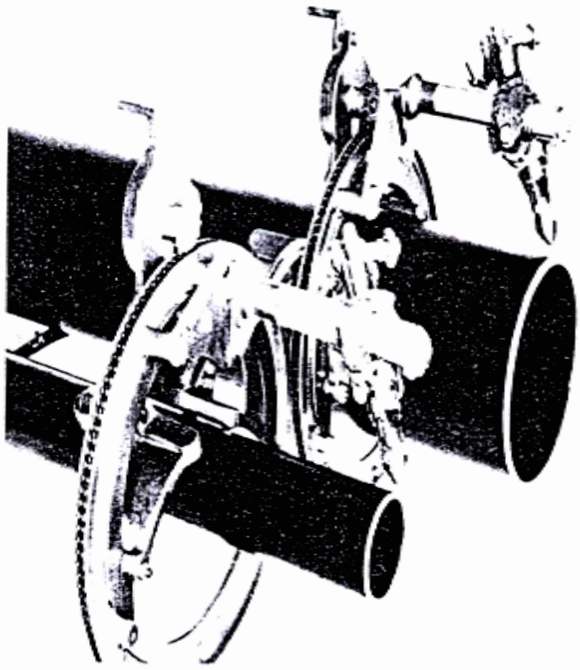


Photo courtesy of Sawyer Manufacturing Company

تحضير الوصلات (Joint Preparation)

نلاحظ في شكل رقم (6 – 10) وصلة تقابلية "V – groove Joint" يحدد فيها مسافة الجذر Root gap 3/32" (2.4mm) وهذه المسافة يجب المحافظة عليها بعد تثبيت وصلة الماسورتان مع بعضهما وهذه المسافة تعطي انصهاراً كاملاً لجدار جذر وصلة اللحام (Improving root penetration) ولهذا لابد من مراعاة تساويها على كامل محيط وصلة الانبوب وأيضاً تقلل من اجهادات الشد لحوض اللحام المتصلب وما ينتج عنها من انكماش بالبرودة تعمل فهي على سحب الوصلة التقابلية لمعدن الأساسي مع بعض والإجهاد الناتج عن تصلب حوض الانصهار يمكن أن يزيد عن نقطة الخضوع أو إجهاد الشد لمعدن الأساسي مما ينتج عنه انحناء أو كسر وعليه فان مسافة الجذر هذة تقلل من حصول تلك الاجهادات.

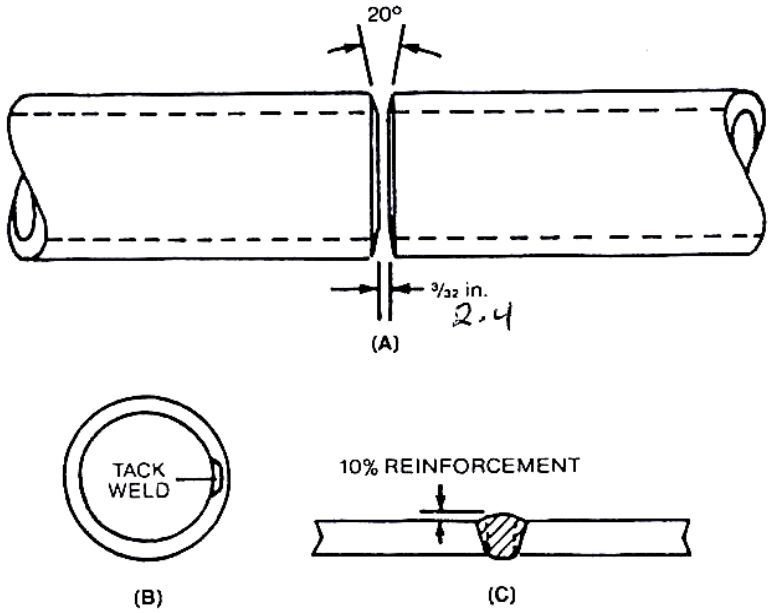


FIGURE 10-6 Small-diameter pipe joint preparation for 0.154-in. (3.9-mm) maximum wall thickness section. (A) Joint preparation and alignment of pipe. (B) Tack-weld pipe joint. (Note that tack welds are never full-section welds.) (C) Cross section of completed weld.

وعادةً ما نحتاج إلى لحام تكن واحد لأنبوب قطر ه (1 in) لو كنت ستقوم باللحام بشكل مباشر ويزيد عدد هذه التكنات إلى 2 أو 3 في حال تأجيل اللحام لوقت لاحق بتوزيع متساوي على محيط الأنبوب وتعطى مواصفة التكن على أن لا تزيد عن نصف سماكة الأنبوب في الارتفاع وبطول لا يزيد عن ضعفي سماكة الأنبوب .

وعادة يراعى جلخها قبل الشروع في اللحام لتسهيل انصهارها مع التذكير على ضرورة إذابة وتميع نقطة ألتكن الباردة خلال اللحام تجنبا لحدوث عيب في وصلة اللحام.

وصلات الأنابيب (Pipes Joints)

عادةً يتم اعتماد لحام السطح الخارجي للأنبوب فقط ما لم يكن قطره كبير جداً . ولهذا السبب معظم وصلات الانابيب تكون أحادية الشطفة single groove كما هو موضح في شكل (5 – 10) كما يلي:

* الأنابيب التي تصل سماكة جدارها لغاية (4mm) 5/32 " يفضل ان تكون وصلتها تقابليه مربعة بدون شطفات Square – groove joint .
* الأنابيب ذات سماكات تصل لغاية (20mm) 3/4" تحتاج إلى تجهيز وشطفة تقابليه بزاوية (75º) على شكل حرف " V " .
* والأنابيب التي يتجاوز سماكتها (20mm) 3/4 " تستخدم شطفة تقابليه على شكل حرف " U ".

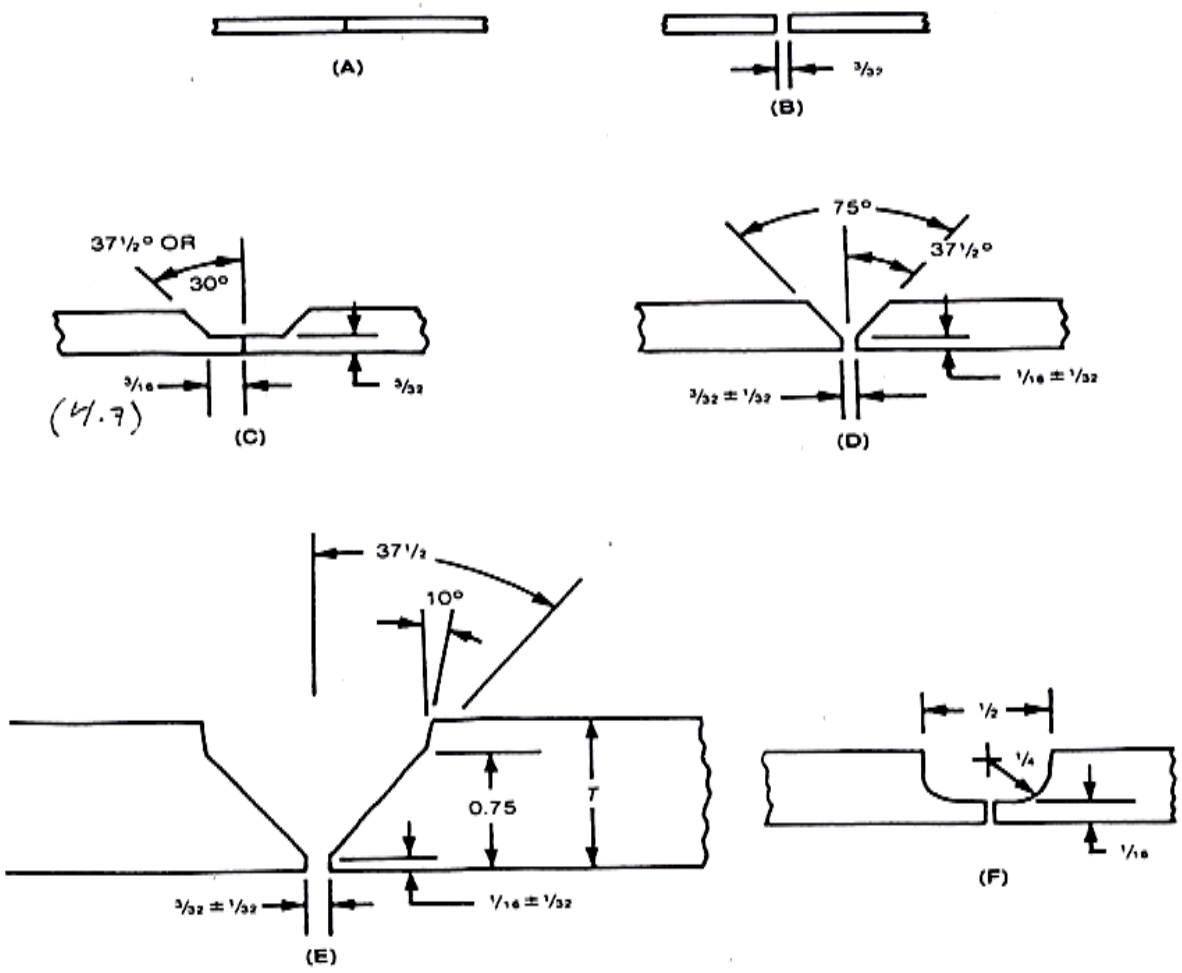
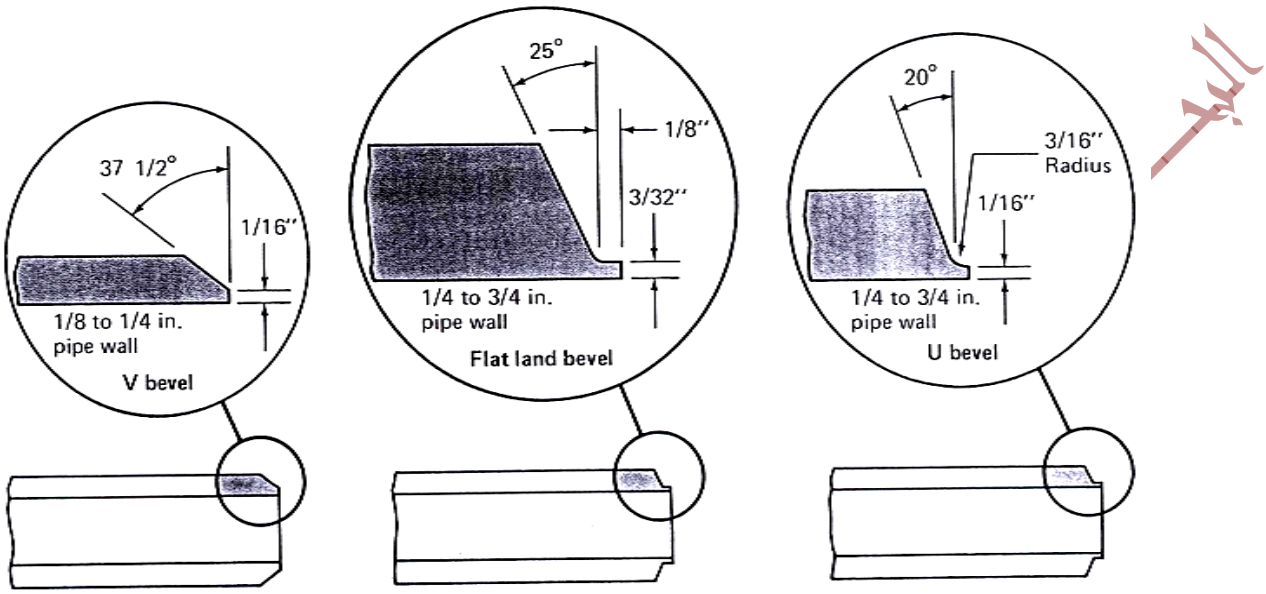


FIGURE 10-5 Pipe-welding joint designs. (A) Thin wall. (B) Thicker wall. (C) Thicker wall—GTAW. (D) Standard wall—uphill welding, steel. (E) Heavy wall—electrical arc welding, steel. (F) Heavy wall aluminum.

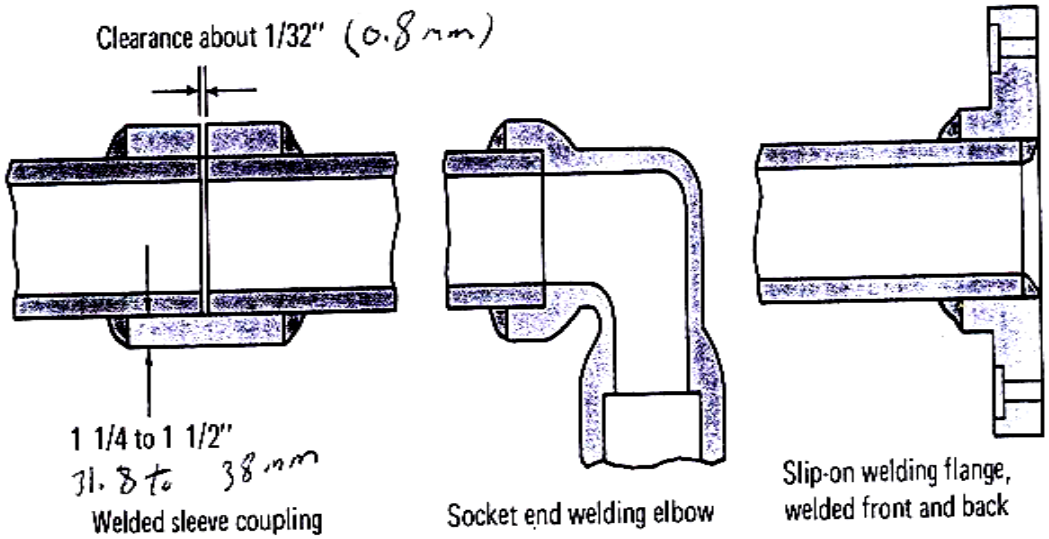
ونلاحظ في شكل رقم (3 – 3) تجهيز وصلة المواسير بشطفة تقابلية على شكل حرف (V) أو(Flat Land Bevel) أو (U – bevel).

Fig. 3-3. Pipe end preparation for gas tungsten-arc welding



وفي اللحام الزاوي (Fillet Welds) كما يتضح في شكل (3-4) ، يطبق على وصل أنبوب مع فلنجة أو وصلة تداخلية ..... والذي عادةً ما يستخدم للأنابيب الأقطار الصغيرة.

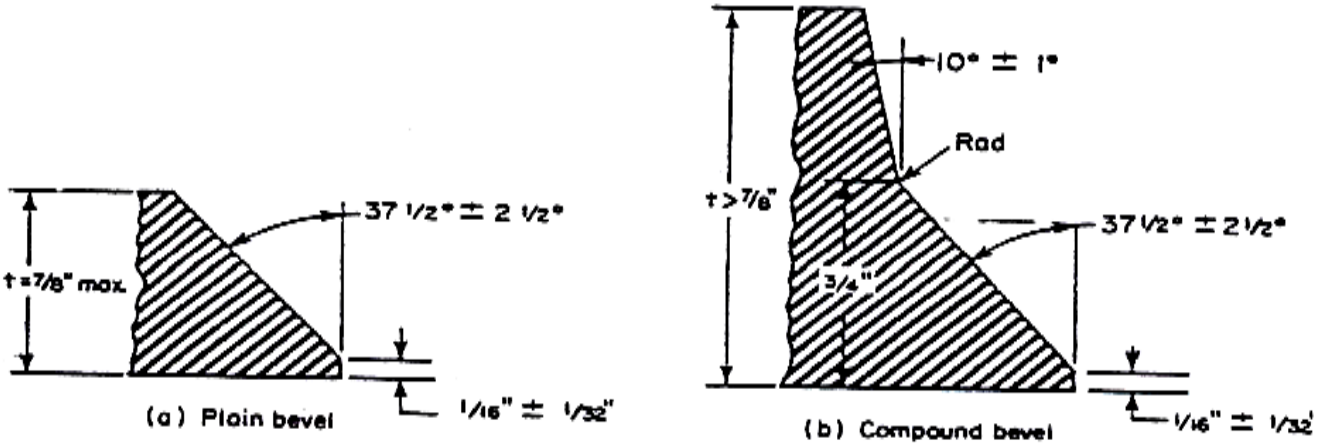
Fig. 3-4. Fillet joints



Pipe-Weld Joint Preparation and Design

Butt Welds. The most common type of joint employed in the fabrication o welded-pipe systems is the circumferential butt joint. It is the most satisfactory joint from the standpoint of stress distribution. Its general field of application is pipe to pipe, pipe to flange, pipe to valve, and pipe to fitting joints. Butt joints may be used for all sizes, but fillet-welded joints can often be used to advantage for pipe NPS 2 in and smaller.

The profile of the weld edge preparations for butt welds may be any configuration the welding organization deems suitable for making an acceptable weld. However, to standardize the weld edge preparation on butt-welded commercial piping components, standard weld-edge preparation profiles have been established in ASME/ANSI B16.25. These weld-edge preparation requirements are also incorporated into the standards governing the specific components (e.g., B16.9, B16.5, B16.34). Figures A2.49, A2.50, and A2.51 illustrate the various standard weld-edge profiles for different wall thickness.



Nominal pipe wall thickness (t)	End preparation
Less than x*	Cut square or slightly chamfer, at manufacturer's option
x* to 3/8 incl.	Plain bevel as in (a) above
More than 3/8	Compound bevel as in (b) above

x* = 1/16" for carbon steel, ferritic alloy steel, or wrought iron; 1/8" for austenitic alloy steel

FIGURE A2.49 Basic welding bevel for all components (without backing ring, or with split ring).

On piping, the end preparation is normally done by machining or grinding. On pipe of heavier wall thicknesses, machining is generally done on post mills. On carbon- and low-alloy steels, oxygen cutting and beveling is also used, particularly on pipe of wall thicknesses below 1/2 in. However, the slag should be removed by grinding prior to welding.

* تجهيز وصلات اللحام للمواسير حسب المواصفات اليابانية *

Table 5. Shape and dimensions of grooves for butt joint of pipes

Type of joint		Shape of groove	Thickness of base metal mm	Number of welding layers	Root surface mm		Root gap mm		Angle of groove		Remarks mm
					TIG welding	MIG welding	TIG welding	MIG welding	TIG welding	MIG welding	
Butt joint of pipe	Square groove		$t \leq 3$	1 to 2	-		$c \leq 2$		-		Corner may be chamfered.

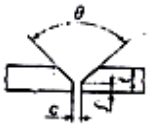
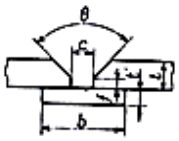
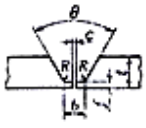
Type of joint		Shape of groove	Thickness of base metal mm	Number of welding layers	Root surface mm		Root gap mm		Angle of groove		Remarks mm
					TIG welding	MIG welding	TIG welding	MIG welding	TIG welding	MIG welding	
Butt joint of pipe	Single V groove		$3 \leq t \leq 15$ Outer diameter 20 to 600	1 min.	$f \leq 2$	-	$c \leq 3$	-	θ=80° to 90° (horizontal revolution) θ=80° to 110° (vertical and horizontal fixation)	-	
	Single V groove with backing metal		$3 \leq t \leq 30$ Outer diameter 30 to 1200	1 min.	$f \leq 2$		$c \leq 6$		θ=70° to 80° (horizontal revolution) θ=70° to 110° (vertical and horizontal fixation)	θ=60° to 90°	b = 20 to 50 r = 2 to 5

Table 5. Continued

Type of joint		Shape of groove	Thickness of base metal mm	Number of welding layers	Root surface mm		Root gap mm		Angle of groove		Remarks mm
					TIG welding	MIG welding	TIG welding	MIG welding	TIG welding	MIG welding	
Butt joint of pipe	Single U groove		$3 \leq t \leq 30$ Outer diameter 30 to 1200	1 min.	$1 \leq f \leq 3$		$c \leq 3$		θ = 60° to 70°		b = 7 max. R = 3 to 5 In the case of MIG welding, it is preferable to melt the root of the initial layer by TIG welding.

أوضاع لحام المواسير (Pipe Positions)

تعتمد أوضاع لحام المواسير على اتجاه المحور الوهمي التي يقطع منتصف الأنبوب ماراً بمركزه وأيضاً على حرية الحركة للماسورة خلال إجراء اللحام الأفقي (horizontally).

فالوضع المثالي المحبب لكل لحيم مواسير هو الوضع الأفقي لمحور الأنبوب على عجال تدوير " Turning rolls " تقوم بتدوير الأنبوب خلال إجراء اللحام بالوضعية الأرضية " down hand " نظراً لكون الأنبوب أسفل فرد اللحام وشكل رقم (2 – 10) يوضح مثالاً لهذه الطريقة.

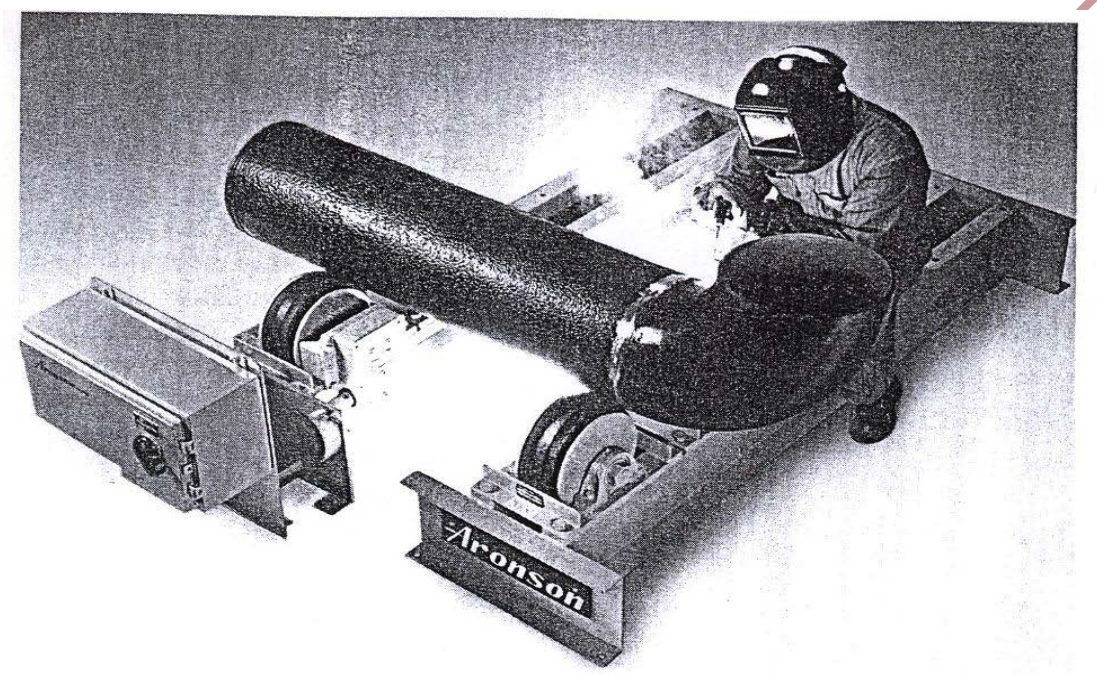
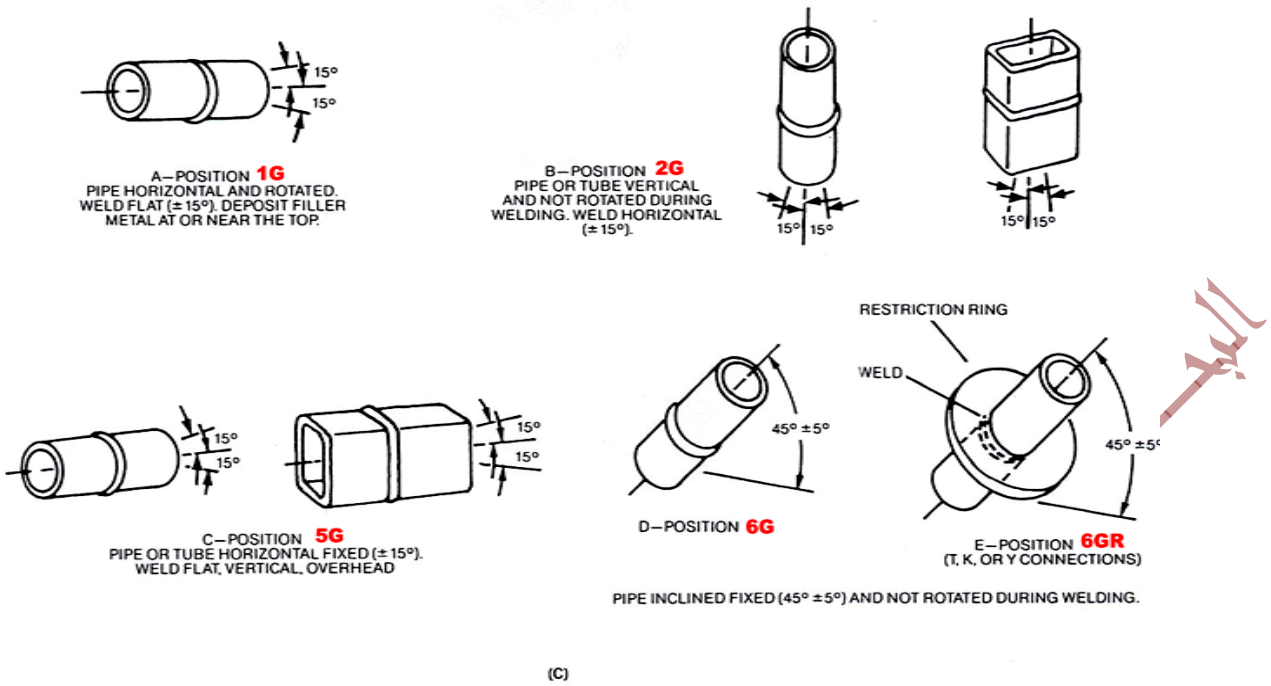


FIGURE 10-2 Turning rolls are used to rotate round work such as pipe or tubing so that welding is always done in the downhand position. Downhand welding is not only easier to do, but the weld-metal deposition rates are higher than for out-of-position work.

والطريقة الأخرى الأكثر صعوبة هي وضع محور الأنبوب عامودياً " Vertically " وإجراء اللحام له يكون بالدوران بللوضعية الأفقية للحيم مع ثبات الأنبوب والشكل رقم (3 – 10) يعطي نظرة إيضاحية اكبر لكافة الأوضاع القياسية المستخدمة في لحام الأنابيب.

نلاحظ على الرسومات وجود حرف " G " دلالة على لحام" Grove weld " وأيضاً يرمز للحام الزاوي " Fillet wed " برمز " F "



Welding Positions for Pipe Groove welds

Welding Positions أوضاع اللحام

قبل الشروع في دراسة أوضاع اللحام المختلفة للأنابيب لابد لنا من توضيح مفهوم:-

أ- Forehand Welding :-

الشكل رقم (3 – 9) يوضح مفهوم هذه التقنية في اللحام فيها نلاحظ تقدم سلك التعبئة عن مقدمة اللهب في اتجاه اللحام . وتطبق هذه التقنية على كافة أوضاع اللحام (عامودي ، أرضي ، أفقي ، فوق الرأس) وتمتاز هذه الطريقة في التحكم الأفضل في بركة انصهار صغيرة وناتج لحام ناعم نسبياً .

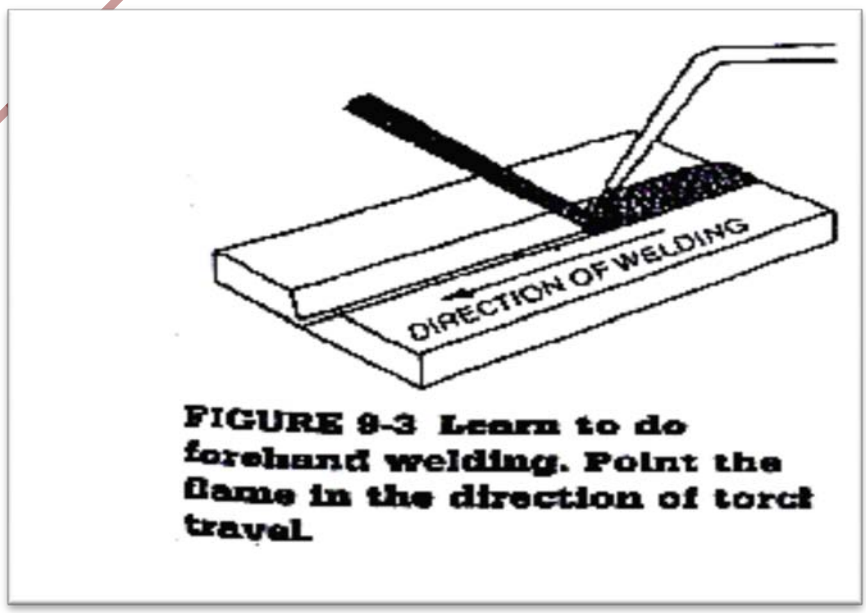


FIGURE 9-3 Learn to do forehand welding. Point the flame in the direction of torch travel.

ويكون اللحام بالأوضاع المختلفة كما يلي :-

1. لحام وصلة أنابيب بوضعية (The 1GR Position) :

يدور الأنبوب بوضعية أفقية (Rolled horizontal) وتم عملية اللحام بشكل أرضي (Flat or down hand) حيث حرف ألـ R اختصار لكلمة Rotation .

2. لحام وصلة أنابيب بوضعية (The 5 G Position):

في لحام الأقطار الصغيرة لأنابيب مثبت محورها أفقياً وتستخدم تقنية Forehand بحيث تبدأ اللحام من أسفل الأنبوب تصاعدا لأعلى الأنبوب وصولاً إلى نقطة التكن في القمة.

3. لحام وصلة أنابيب بوضعية (The 2 G Position):-

اللحام لهذه الوضعية هو لمحاور الأنابيب الثابتة عامودياً .
ألان سنتطرق إلى تقنية لحام المواسير ذات الأقطار الكبيرة في الأوضاع المختلفة مع الإشارة إلى الشكل رقم (10-11) الذي يوضح تحضير الوصلات لهذا النوع من الأنابيب التي سماكتها تتراوح ما بين (4.7 - 9 mm) 3/16" to 3/8" على شكل حرف (V) وبوجه جذر سمكه (1.5 – 7 mm) 1/16" to 1/32" وتحتاج إلى زيادة فتحة الجذر إلى (4mm) 5/32" بدلا من (3mm) 1/8" باستخدام تقنية ال (forehand).

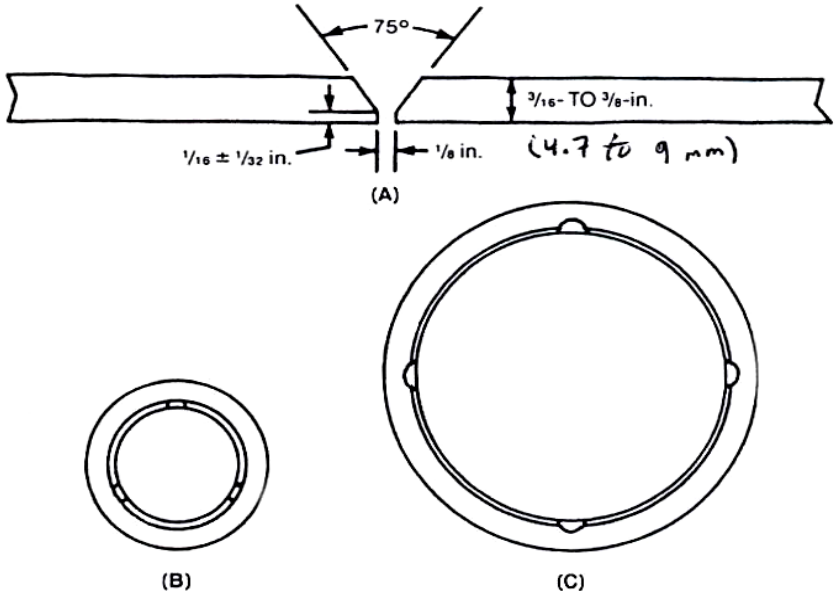


FIGURE 10-11 Large-diameter pipe joint preparation. (A) Single-V-groove joint design. (B) Three tack welds are placed 120° apart for pipe up to 6 in. in diameter. (C) Four tack welds are placed 90° apart on pipe that is from 8 to 12 in. [200 to 300 mm] in diameter. Note, again, that tack welds must not be full-penetration welds.

١. لحام وصلة أنابيب بوضعية (The 1GR Position) :-

ذكرنا سابقاً أن هذه الوضعية يتم فيها دوران الأنبوب أفقياً واللحام بشكل أرضي وعادةً آلية الدوران للأقطار الكبيرة تتم بواسطة ميكان يزم إدارة على عجال متصلة بمحرك يتم التحكم بسرعة دورانه بواسطة دواسة قدم A foot treadle مرتبط بقدم اللحيم.

٢. لحام وصلة أنابيب بوضعية (The 5G Position) :-

كما ذكرنا سابقاً في هذه الوضعية يكون الأنبوب محوره ثابتأفقياً وعليه يكون ابتداء عملية اللحام في منتصف وصلة اللحام من أسفل الأنبوب (الجذر) والاستمرار على الجنب وثم للأعلى وفي هذه الوضعية يمكن استخدام كلا الطريقتين ال F.H أو B.H وينصح باستخدام تقنية ال F.H لسهولة التطبيق على هذا الوضع.

مع التأكيد على انصهارية نقطة التكن وتغلغلها مع مادة المعدن المنصهر ويستخدم حجر الجلخ للتقليل من سماكتها وارتفاعها لضمان سهولة مرور الباص خلال عملية اللحام.

وقبل الانتهاء من لحام النصف الثاني والاقتراب من النقطة العلوية للأنبوب يفضل إجراء تسخين للنقطة العلوية للنصف الأول وذلك تجنباً لتقابل الدرزات وتطابقها على البارد Cold lap وأية عيوب أخرى....

٣. لحام وصلة أنابيب بوضعية (The 2G Position) :-

في هذا الوضع يكون الأنبوب ثابت عامودياً وإجراء اللحام يتم بوضعية أفقية ، وتستخدم تقنية B.H مع التأكيد على تسخين الدرزة السابقة وقبل الوصول إلى نقطة البدء ، وانصهار كافة نقاط التكن وتغلغلها مع المعدن المنصهر في اللحام.

Figure 8.14 This welder (who happens to be left handed) demonstrates still another style of torch and filler rod manipulation used to accomplish a pipe weld.

Techniques for Pipe Welding

Figures 8.11 and 8.12 Demonstrations of two common methods of grasping the torch for pipe welding. There is no single "correct" method of doing this and each welder is encouraged to experiment with several different methods until one is found that is most comfortable, and results in satisfactory welds.

Figure 8.13 Demonstration of how the torch and filler rod are held to accomplish the "walking-the-cup" method of pipe welding.

Table 5

Welding Position Designations	
Plate Welds	
Groove Welds	
1G	Flat position
2G	Horizontal position
3G	Vertical position
4G	Overhead position
Fillet Welds	
1F	Flat position
2F	Horizontal position
3F	Vertical position
4F	Overhead position
Pipe Welds	
Groove Welds	
1G	Flat position, pipe axis horizontal and rotated
2G	Horizontal position, pipe axis vertical
5G	Multiple positions, (overhead, vertical and flat) pipe axis horizontal and is not rotated (fixed)
6G	Multiple positions, (overhead, vertical and horizontal) pipe axis in inclined 45° from horizontal and is not rotated (fixed)
6GR	Multiple positions, (overhead, vertical and horizontal) pipe axis in inclined 45° from horizontal and is not rotated (fixed), with restriction ring
Fillet Welds	
1F	Flat position, pipe axis is 45° from the horizontal and the pipe is rotated
2F	Horizontal position, pipe axis is vertical
2FR	Horizontal position, weld pipe axis is horizontal and the pipe is rotated
4F	Overhead position, pipe axis is vertical
5F	Multiple positions, (overhead, vertical and horizontal) pipe axis is horizontal and is not rotated
6F	Multiple positions, (overhead, vertical and flat) pipe axis is 45° from horizontal and is not rotated

Table 6

Welding Process Comparison Based on Quality and Economics			
	All Positions		
Applications	**GTAW**	**GMAW**	**SMAW**
Carbon steel plate (over 3/16")	G	E	E
Carbon steel sheet (to 3/16")	E	E	G
Carbon steel structural	F	F	E
Carbon steel pipe — 3" IPS and under	E	F	F
Carbon steel pipe — over 4" IPS	G	G	G
Stainless steel plate (over 3/16")	G	E	G
Stainless steel sheet (to 3/16")	E	G	F
Stainless steel pipe — 3" IPS and under	E	F	F
Stainless steel pipe — over 4" IPS	G	G	F
Aluminum plate (over 3/16")	G	E	NR
Aluminum sheet (to 3/16")	E	G	NR
Aluminum structural	E	G	NR
Aluminum pipe — 3" IPS and under	E	NR	NR
Aluminum pipe "over 4" IPS	E	F	NR
Nickel and nickel alloy sheet	E	F	F
Nickel and nickel alloy tubing	E	NR	NR
Nickel and nickel alloy pipe — 3" IPS and under	E	F	NR
Nickel and nickel alloy pipe — over 4" IPS	E	F	NR
Reflective metals, titanium — sheet, tubing, and pipe	E	NR	NR
Refractory metals, TA and Cb — sheet, tubing	E	NR	NR

GTAW — Gas Tungsten Arc (TIG)
GMAW — Gas Metal Arc (MIG)
SMAW — Shielded Metal Arc (Stick)

E — Excellent
G — Good
F — Fair
NR — Not recommended on basis of cost, usability, or quality.

لحام متعدد الدرزات للأنابيب (Multiphase pipe welding):-

عند التعامل مع أنابيب ذات سماكات من (10 mm) إلى (20 mm) قد تحتاج إلى عدة طبقات من اللحام لتعبئة هذه الوصلة وصولاً إلى لحام جيد.
فأول طبقة (درزة) تسمى وصلة الجذر (Root Pass) ويتبعها بدرزة التعبئة (filling pass) في الوصلات ذات الشطفات (V) العميقة تحتاج إلى بناء درزة الجذر وعدة درزات التعبئة والانتهاء بطبقة السطح cover pass .
وينصح كقاعدة عامة في لحام متعدد الدرزات لوصلات الأنابيب الثقيلة هو استخدام لحام طبقة (درزة) واحدة لكل 6 مم من سماكة الأنبوب.
ولو أردت الحصول على كل لحام ذو نوعية عالية الجودة تستخدم درزة لكل 5 مم من سماكة الأنبوب.
وبشكل عام من المرجح أن تحتاج إلى درزتين أو ثلاثة لوصلة أنبوب سماكتها (12.5 mm) أو معدل 3 أو 4 لأنبوب سماكته (20 mm).

تعاقب تعدد الدرزات (Multiphase in Cascade):-

يمكن الحصول على وصلة لحام جيدة في أتباع الإجراءات السابقة للحام ، وفي الشكل رقم (12 ~ 10) نوضح فيه طريقة التعاقب (Cascade method) في بناء عدة درزات على وصلة اللحام المطلوبة.

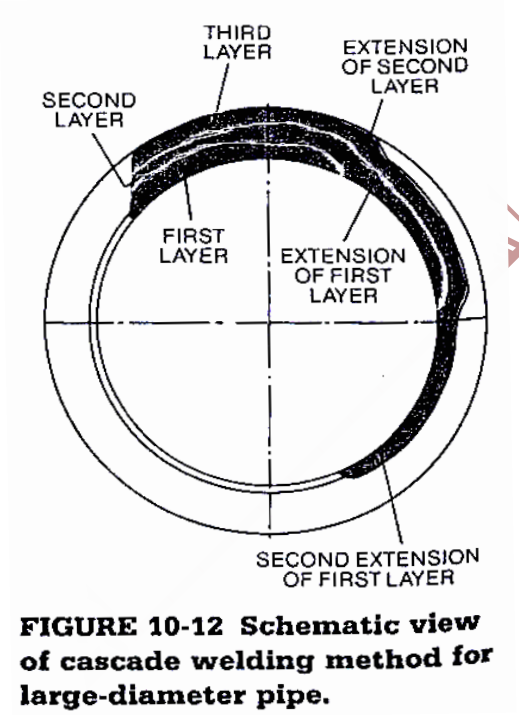


FIGURE 10-12 Schematic view of cascade welding method for large-diameter pipe.

من خلالها نرى أن البداية تكون بدرزة أولى (first layer) يتبعها الدرزة الثانية والثالثة (pass 2 pass 3) على التوالي حتى اكتمال مقطع وصلة اللحام بالكامل مع ملاحظة الكيفية التراكبية لبداية الدرزات الجديدة على القديمة.

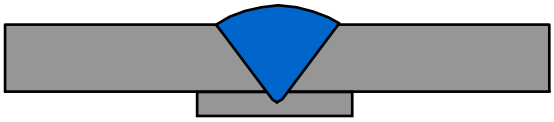
والهدف من هذا التعاقب هي المحافظة على أكبر قدر ممكن من الحرارة في معدن الانصهار (weld metal) ومعدن الأساس (base metal) خلال اللحام مما يعطي العمل سهولة وإنتاجية أعلى مع ضرورة التأكد التام بحدوث انصهارية تامة (Complete fusion) لنقطة البدء ولهذا فان هذه التقنية لا يفضل استخدامها من قبل المبتدئين في اللحام.

Note: - *In multiphase cascade welding, you must get complete fusion of each weld restart point.*

تصنيف اللحام من حيث جهة الاداء

يصنف اللحام من حيث الأداء الى نوعين رئيسيين:-

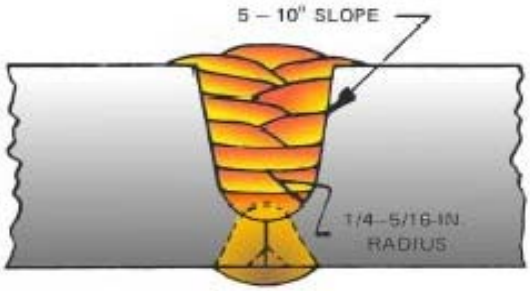
أ- لحام من جهة واحدة: وهذا النوع من اللحام يتطلب مهارة من قبل الفني حيث يجب ان يحقق وصلة كامله التغلغل من خلال تمريره الجذر وذلك لعدم امكانية الوصول الى الطرف الاخر من اللحام كما هو الحال في لحام الانابيب (PIPE WELDING) ويمكن ان يتم اللحام بأحدى الحالتين:



* لحام بدون دعم (WITH OUT BACKING)
* لحام بوجود دعم (WITH BACKING)

ويتم إضافة الدعم للحصول على التخريق بالشكل المطلوب وذلك في الحالات التي لا يعول فيها على كفاءة الفني وفي الحالات التي تسمح فيها المواصفات.

لحام من جهتين : وفي هذه الحالة فان أخطاء الجذر في حالة وجودها يمكن الوصول اليها من الجهة الثانية للحام وتتم إزالتها بواسطة التظفير ومن ثم وضع تمريره تغطية من هذه الجهة.



حالات اللحام

ان إزاحة المصدر الحراري على طول وصلة اللحام يكون ما يسمى بالتمريره أو (إمراره) (PASS).

يمكن ان يكون اللحام ذا تمريره واحدة (SINGLE PASS) او تمريرات عديدة (MULTI PASSES) وفي حالة التمريرة الواحدة وعندما تكون السماكة عالية فان الحرارة المضافة تكون عالية وهذا يؤدي الى تدني في المواصفات الميكانيكية لوصلة اللحام بينما يمكن ان تتحسن هذه المواصفات من خلال التمريرات المتعددة حيث ان كل تمريره تساعد على تلدين التمريرة التي قبلها والتخفيف من الاجهادات الداخلية المتكونة فيها.

كفاءة وصلة اللحام

إذا نظرنا إلى وصلة اللحام بصورة تفصيلية فإننا نجد أنها تتألف من خمس مناطق تشكل سلسلة متصلة وعلى النحو التالي:

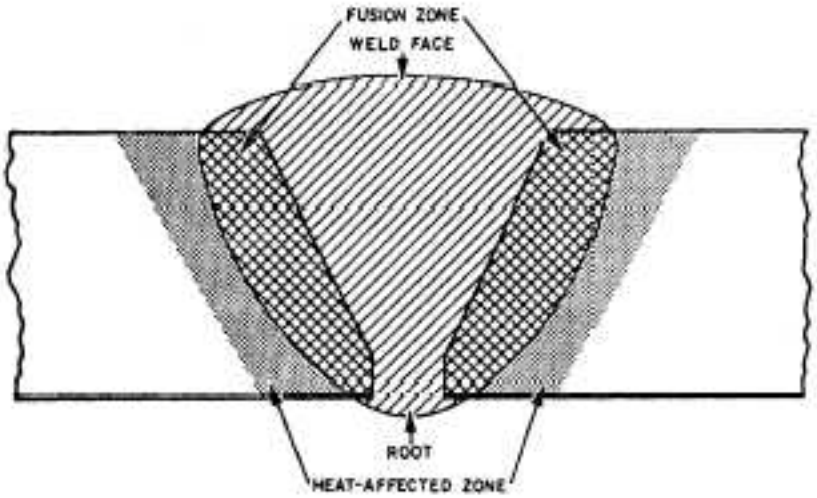
أ - المعدن الأساس (الجانب الأول).

ب - المنطقة المتأثرة حرارياً (HAZ-1) وهي المنطقة المتاخمة لمنطقة اللحام وتتعرض لتغيرات ميتالورجية نتيجة لعملية اللحام.

ت - منطقة اللحام : وهي المنطقة التي تعرضت للصهر وممن ثم التصلب وتتألف من مزيج من المعدن الأساس ومعدن الإضافة.

ث - المنطقة المتأثرة حرارياً (HAZ -2).

ج - المعدن الأساس الجانب الثاني.



إن عملية الحكم على تحمل هذه السلسلة من المناطق للإجهادات الميكانيكية تتحدد من خلال اضعف حلقة في هذه السلسلة.

وعليه فان وصلة اللحام التي نفذت لتعطي استمرارية للمعدن الأساس من حيث تحمله للإجهادات يجب أن تخدم الهدف الذي عملت من أجله ويجب أن تتحمل إجهادات ميكانيكية مساوية أو أكثر لمعدن الأساس لان أي ضعف في منطقة اللحام أو المنطقة المتأثرة حرارياً يعني خسارة في الزيادة التي نضعها في معدن الأساس من حيث السماكة .

أخطاء لحام قوس التنجستون

هناك بعض الأخطاء تحدث في هذا النوع من اللحام وأهمها ما يلي :-

- نقص النفاذية (incomplete penetration).
- نقص في الالتحام (lack of Fusion).
- حرق نافذ (Burn Through).
- احتواء غازات (Gas holes).

احتواء تنجستون ينتج في الغالب عند ملامسة سلك التنجستون بركة اللحام او الاطراف.

**Characteristics Defects withTig Welding

DEFECT	CAUSE	DETECTABLE BY
POROSITY	1-Flow of shield gas too low 2- Flow of shield gas too high such that turbulence draws in air. 3- Air drafts blowing shield gas away. 4- Gas supply hose, Fitting or gas passages to torch are blocked. 5- arc wander	1- Welder should notice black oxides forming. 2- Liquid penetrant for porosity open to surface. 3- Radiography for surface. 4- Welder should notice arc wander.
INCOMPLETE FUSION	1- Current too low 2- Travel speed too high 3- Filler material feed rate too high 4- Arc wander	1- Welder should notice arc wander. 2-Radiography or Ultrasonic
TUNGSTEN INCLUSION	1- Striking the arc on the work piece 2- Dipping the electrode into the weld puddle 3- current too high for electrode diameter	1- Welder should notice deterioration of electrode tip 2- Radiography
WELD METAL CRACK	1- Incorrect base metal type 2- Incorrect filler metal type 3- Concave weld bead 4- Crater cracks	1- Liquid penetrate or magnetic particle for crack open to surface 2- Radiography or Ultrasonic for subsurface cracks

التشوه والإجهادات المترسبة (DISTORSION AND RESSIDUAI STRESSES)

عند إجراء عمليات اللحام فإننا نجد أنه لابد من أن يرافقها حدوث تشوه في القطع الملحومة وحدوث إجهادات داخلية والسبب في ذلك يعود إلى أن عملية اللحام تتم من خلال تسخين موضعي لمنطقة اللحام مما يتسبب في حدوث تمدد وتقلص غير متوازن نتيجة لفروق درجات الحرارة بين منطقة والتي تليها فنجد أن درجة الحرارة عند وصلة اللحام تصل إلى درجة انصهار المعدن وفي المنطقة المتاخمة تكون اقل وهكذا حتى نصل إلى منطقة على القطعة تكون فيها درجة الحرارة تعادل درجة حرارة الجو الخارجي. كذلك لو نظرنا إلى الموضوع بطريقة مختلفة حيث نعتبر الفراغ الذي سيتم ملأه باللحام هو قالب فعندما نسكب المعدن المضاف في هذا القالب تكون درجة حرارته تعادل درجة انصهار المعدن ويتم تبريد وصلة اللحام إلى درجات الحرارة العادية فان أبعاد المعدن المسكوب ستتقلص ونتيجة لهذا التقلص يحصل التشوه في وصلة اللحام.

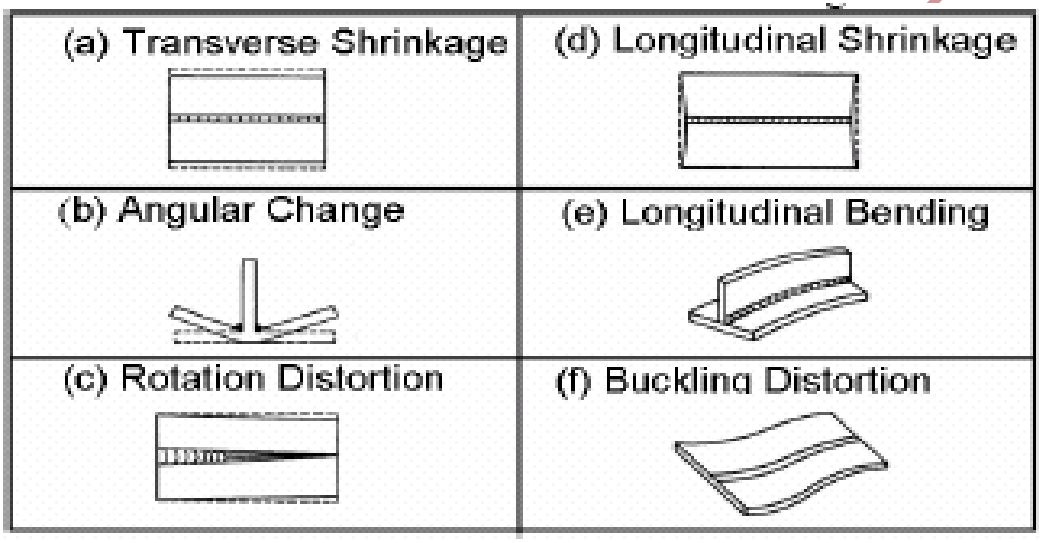


Figure 1 – Basic types of welding distortion. Buckling distortion dominates on thin panels.

أما في الحالات التي يتم فيها تثبيت أطراف المعدن للحد من التشوه فان ذلك يؤدي إلى تولد اجهادات داخلية في المعدن باتجاه محاور اللحام وفي الحالات التي يكون فيها المعدن ذو صلادة عالية ومعامل تمدد محدود يمكن أن تؤدي هذه الإجهادات إلى إحداث شقوق في وصلة اللحام وخاصة إذا كانت سماكة المعدن عالية.

التخلص من الاجهادات في نهاية عملية اللحام (Stress - Relieving ، finished welds

كما نعرف بأن المعدن الملحوم خلال فقدانه للحرارة بمعنى برودته ينكمش. وتقلصه هذا يصاحبه اجهادات كبيرة تتجاوز قوتها أحيانا نقطة الخضوع أو نقطة المرونة للمعدن الأساس. وفي حالة تعريض المعدن لاحمال زائدة خلال الخدمة ستؤدي إلى انهياره.

طرق التخلص من الاجهادات (stress – Relief method)

عادةً الأنابيب ذات الأقطار الصغيرة لا تحتاج إلى إجراء تحرير الاجهادات نظراً لصغر سماكة جدار الوصلة على تكوين وبناء أية اجهادات.
وعليه فان تطبيقات اللحام على وصلات الأنابيب عالية السماكة هي التي تتطلب التحرر من الاجهادات أما باستخدام أفران حرارية كبيرة أو مقاومات حرارية كهربائية.
ومن الطرق المستخدمة أيضاً هي بفرد التسخين (Heating torch) لوصلة اللحام ويلف الأنبوب ويعزل بمادة مناسبة لتبريده ببطيء مع إغلاق فتحتيي نهاية الأنبوب لمنع تدفق التيار الهوائي خلال اللحام.
وهناك العديد من الكودات الدولية المعمول بها لأنواع المعادن المختلفة مع بيان زمن التسخين كما يتضح لاحقاً.

درجة حرارة التخلص من الاجهادات (Stress – Relief Temperature)

للأنابيب المصنوعة من الحديد الكربوني العادي تكون درجة الحرارة المطلوبة للتخلص من الاجهادات ما يقارب (620 cº ± 27 c º) وهذه الحرارة نحددها بواسطة مقياس الازدواج الحراري (Thermocouple) .
أو باستخدام قلم تلوين حراري Temp-indicating crayons الذي يذوب أو يتحول لونه تبعاً لدرجة حرارة محددة كما في الشكل الموضح.

وهناك العديد من قيم درجات الحرارة ودرجات التبريد المطلوبة لعديد من أنواع المعادن المختلفة تندرج ضمن الكود الدولي AISI أو ASME كما هو موضح في الجدول أدناه.

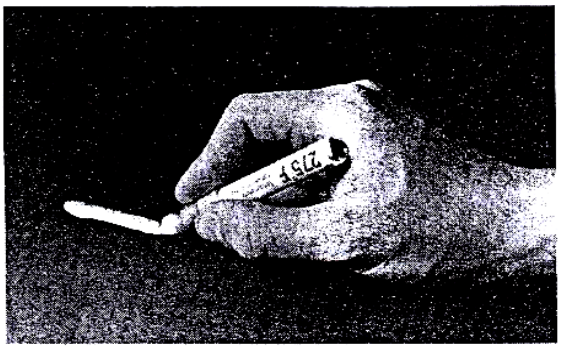


FIGURE 22-36 The Tempil® Division of Big Three Industries, with division headquarters in South Plainfield, New Jersey, is well known to most skilled welders for its temperature-indicating materials. These indicators are marketed through most welding distributors. For example, this Tempstik® crayon is calibrated to melt at 275°F. The operator is applying a mark with the material before heating the work. At the specified temperature, the mark will melt and become glassy-looking. You can buy an entire test kit of these crayons, each calibrated to be within 1 percent of the specified temperature (accuracy traceable to the National Bureau of Standards). The 20 crayons in each kit are systematically spaced between 125°F [52°C] and 800°F [427°C].

Equivalent Carbon (%)	Preheating Required
Up to 0.45	Preheat optional
0.45 to 0.60	Preheat to 200 to 400°F [93 to 205°C]
Over 0.60	Preheat to 400 to 700°F [205 to 370°C]

TABLE 16-19 Suggested temperatures for preheating metals before welding

Material	Alloying Elements, %*						Preheat Temperature °F[°C]
	C	Mn	Ni	Mo	Cr	Cu	
Plain carbon steels	Below 0.20						Up to 200 [93]
	0.20–0.30						200–300 [93–150]
	0.30–0.45						300–500 [150–260]
	0.45–0.80						500–800 [260–425]
Carbon-molybdenum-alloy steels	0.10–0.20			0.50			300–500 [150–260]
	0.20–0.30			0.50			400–600 [205–315]
	0.30–0.35			0.50			500–800 [260–425]
Manganese steels							
Silicon structural	0.35	0.80					300–500 [150–260]
Medium manganese	0.20–0.25	1.0–1.75					300–500 [150–260]
AISI 1330	0.30	1.75					400–600 [205–315]
AISI 1340	0.40	1.75					500–800 [260–425]
AISI 1350	0.50	1.75					600–900 [315–482]
High-manganese wear-resistant steels	1.25	12.0					Not required
High-strength low-alloy steels							
Manganese-molybdenum	0.20	1.65		0.35			300–500 [150–260]
Chromium-copper nickel	0.12 max	0.75	0.75			0.55	200–400 [93–205]
Chromium-manganese	0.40	0.90	0.40				400–600 [205–315]
(There are many exceptions to these treatments for HSLA steels)							
Nickel-alloy steels							
AISI 2015	0.15		0.50				Up to 300 [150]
AISI 2115	0.15		1.50				200–300 [93–150]
AISI 2315	0.15		3.50				200–500 [93–260]
AISI 2320	0.20		3.50				200–500 [93–260]
AISI 2330	0.30		3.50				300–600 [150–315]
AISI 2340	0.40		3.50				400–700 [205–370]
Nickel-chromium-alloy steels							
AISI 3115	0.15		1.25		0.60		200–400 [93–205]
AISI 3125	0.25		1.25		0.60		300–500 [150–260]
AISI 3130	0.30		1.25		0.60		400–700 [205–370]
AISI 3140	0.40		1.25		0.60		500–800 [260–425]
AISI 3150	0.50		1.25		0.60		600–900 [315–482]
AISI 3215	0.15		1.75		1.00		300–500 [150–260]
AISI 3230	0.30		1.75		1.00		500–700 [260–370]
AISI 3240	0.40		1.75		1.00		700–1000 [370–538]
AISI 3250	0.50		1.75		1.00		900–1100 [482–593]
AISI 3315	0.15		3.50		1.50		500–700 [260–370]

* Not all alloying elements are shown. All steels, for example, contain manganese. To keep the table simple, we included only those elements that will help you identify the steel.

AISI = American Iron and Steel Institute.

التطبيق العملي في لحام الأنابيب Pipe – welding procedures

ألان سنتوقف عند قراءة كيفية القيام بلحام الأنبوب بل سنتطرق إلى آلية العمل في المشغل والتي من الضروري أن يصاحبها عدد من التطبيقات الأولية التي تسهم بشكل فعال في رفع كفاءة المتعامل مع نظام لحام الارغون وصولاً إلى وصلات لحام عالية الجودة خالية من العيوب.

مثال (1):

لحام تطابقي لأنبوب (3") Butt welding 3 in. standard pipe

أحد أهم الخطوات الضرورية في عملية التجهيز هي قطع الأنبوب (Pipe cutting) والتي تستخدم فيها اللهب بواسطة مقص Oxy fuel يثبت على محيط الأنبوب المراد قصه ويتم إدارة فرد القص إما يدوياً أو بواسطة محرك كهربائي.

أو تستخدم الطرق اليدوية بالمنشار اليدوي أو صواني القص للسماكات والأقطار المنخفضة وعلى العموم لكافة أقطار الأنابيب التي سماكة جدرانها أكبر من (3mm) تقص بزاوية ميل (37.5º) للنصف الواحد بمعنى (75º) للوصلة الكاملة. ويمكن الوصول إلى هذه الزاوية باستخدام حجر الجلخ لأنابيب سماكتها (4.6 mm) كحد أقصى بسهولة نسبياً ، وقبل الشروع في عملية اللحام يجب التأكد من استقامة محور الوصلة بواسطة زاوية حديدية حاضنة للأنبوب كما في الشكل الموضح أدناه .

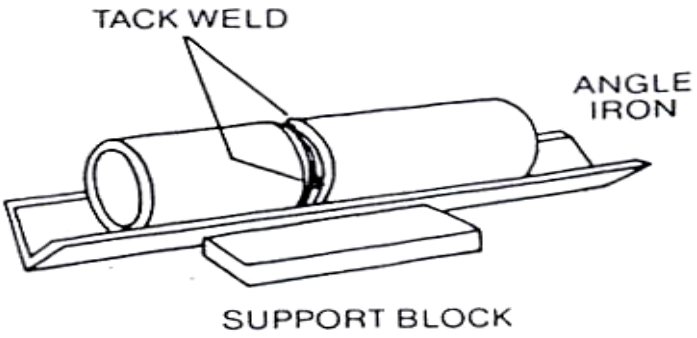


FIGURE 10-13 A simple angle iron with back supports makes a good welding jig for joining a few pipe sections together.

مثال (2)

لحام أنبوب يدور أفقياً بوضعية 1G R Horizontal rolled – pipe (1 G R) welding

في مشاغل اللحام المتخصصة يتم إدارة الأنبوب بواسطة عجال كما هو في الشكل (14 ~ 10).

وصولاً إلى سرعة إنتاج عاليه الكفاءة ، بينما خلال التدرب يتم إدارة الأنبوب بواسطة اليد ابتدأ من النقطة (C) وبإتجاه معاكس لدوران الأنبوب وصولاً إلى النقط (B) في شكل (14 ~ 10) والتي عندها نوقف اللحام وندور الأنبوب بحيث نهبط درزة اللحام للنقطة (A) ومن ثم نبدأ بمتابعة اللحام من (A) إلى (B).

وفي وجود مساعد لحيم أو جهاز تدوير الذي يقوم بإدارة الأنبوب بسرعة بطيئة خلال اللحام مماثلة للحركة من (C) إلى (B) مع التذكير بضرورة النفاذية (التخريق) خاصة للجذر وانصهارية مناطق التكن قبل الشروع في التغذية سلك الإضافة.

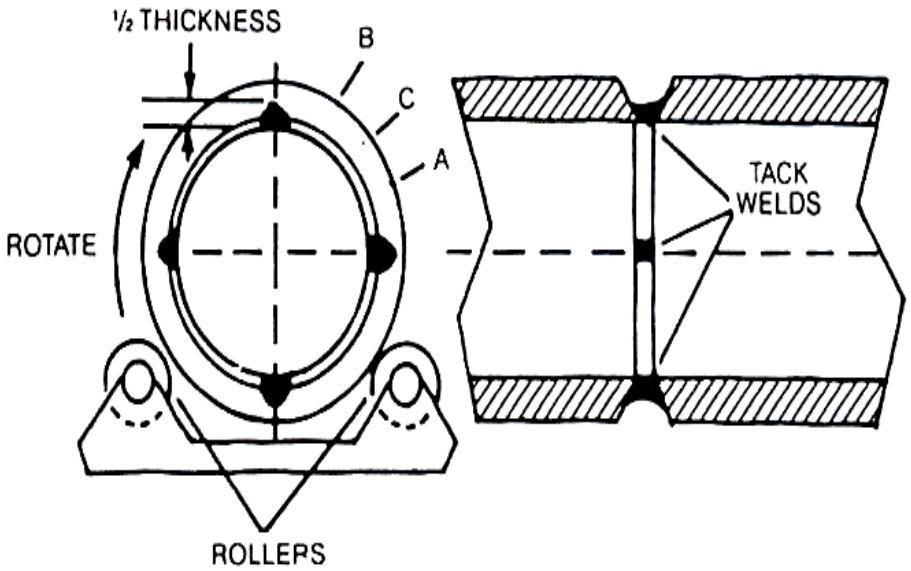


FIGURE 10-14 Welding turning rolls (shown in cross section) are used in production pipe welding.

مثال (3)

لحام الأنبوب أفقيا بوضعية (5G) Horizontal Fixed – pipe (5G) welding

بعد إجراء تثبيتين الأنبوب وتثبيت محورة أفقياً وفي حال البدء باللحام نتذكر بأنه يجب عدم تحريك الأنبوب في أية اتجاه.

فاللحام يبدأ من أسفل النقط (A) كما في الشكل (15 – 10) والتي تتوسط نقطتي ألتكن بحيث يقسم الإجراء إلى مرحلتين فللأولى تبدأ من النقطة A وصعوداً إلى النقطة B ومن ثم العودة إلى الأسفل للجانب الأخر ونصعد مرةً أخرى للنقطة B ومرة أخرى نذكر بضرورة انصهارية نقطة البدء ونقطة التكن خلال اللحام تجنباً لعيوب محتملة قد تحدث.

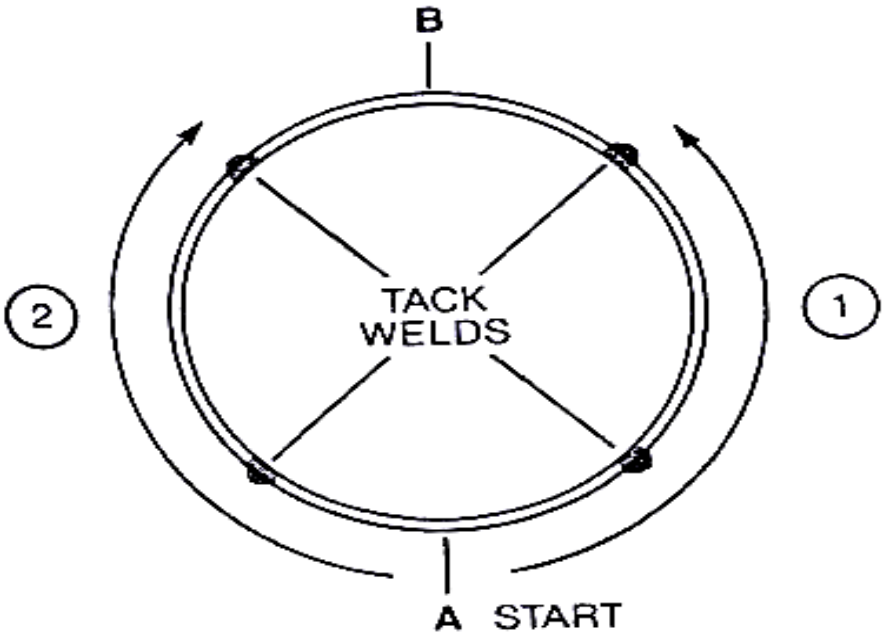


FIGURE 10-15 Welding sequence for vertical-up pipe welding. Two welders often work on opposite sides of pipe, starting at (A) and finishing at (B), when marking large-diameter pipe. This helps balance welding stresses.

مثال رقم (4)

لحام أنبوب ثابت عمودياً بوضعية Vertical Fixed – pipe (2 G) welding

في هذا الوضع يكون محور الأنبوب عامودياً وحركة فرد اللحام تكون أفقية وعادة هذه الوضعية تحتاج إلى مهارة عالية كون سلك التعبئة خلف فرد اللهب بمعنى استخدام تكتيك (B.H) يعطي أفضل النتائج بوجود تجهيز لوصلة اللحام على زاوية (75 º) 0.

ويبدأ عادة اللحام من نقطة التكن ودوراناً حول الأنبوب الثابت كما يتضح من الصورة التوضيحية في شكل السابق (16 – 10) .

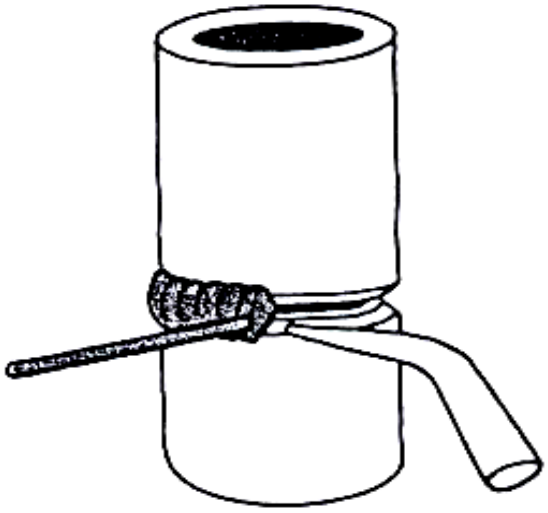


FIGURE 10-16 Backhand welding method used on pipe joint in the 2G position.

مثال (5):

لحام تطابقي لأنبوب (6") Butt welding 6 – in standard pipe

في لحام أنابيب بأقطار (6") تستخدم تكنيك (B.H) كما تعاملنا مع أنبوب قطر (3") فالتعامل مع أقطار كبيرة يحتم عليك معرفة أسلوب اللحام المتبع معها خاصة مع تقدم الخبرة المطلوبة والصناعة في هذا المجال.

فالأنابيب ذات قطر (3 ″) سماكة جدارها 5.5mm بينما أنابيب (6 ″) سماكة جدارها 7mm ≈
ولهذا السبب يختلف كلا الإجراءين المطلوبين في لحام كلتا الوصلتان ، وبالطبع فان طول درزة اللحام لوصلة الأنبوب 6″ تكون ما يقارب ضعفين أنبوب 3″ .

الخبرة المكتسبة توضح بأن تكنيك اللحام المتبع هو (B.H) نظراً لسرعته في اللحام وإعطاءه نوعية لحام جيدة لأنابيب نبدا أقطارها من (4″) فما فوق.

وبهذا التكنيك تجهز وصلة الأنبوب بزاوية (37.5º) وعدد التكنات أربعة ، وعادة تكون المسافة بين الوصلتين ما يعادل نصف سماكة الأنبوب وإجراء اللحام يبدأ من نقطة التك ـن العلوية في حال الوضعية لمحور الأنبوب أفقيا.

مثال رقم (6)

لحام أنبوب يدور أفقياً بوضعية 1G R Horizontal rolled - pipe welding(1 G R)

من الملاحظ في هذه الوضعية كما في الشكل رقم (17 – 10) أننا نبدأ اللحام من أعلى نقطة تكن (A) ثم ندرج باللحام لأسفل للنقطة (B) على زاوية (15~20º) والتي يدور الأنبوب وصولاً لها إما بواسطة مساعد لحيم أو جهاز إدارة (turning rolls).

أما في حال عدم توفر وسيلة إدارة فيفضل الاستمرار في اللحام إلى النقطة (C) وبهذا نعمل أطول قدر ممكن من درزة اللحام قبل التوقف لإدارة الأنبوب.
نذكر هنا بضرورة الاستمرار في إجراء اللحام وعدم التوقف إلا في حالات الحاجة لتبديل السلك التعبئة أو إدارة الأنبوب.
وفي حال الاقتراب من نقطة البدء نذكر أيضا بضرورة التأكد من انصهاريتها قبل إجراء الإضافة عندها حتى لا ينتج عنه عيب محتمل في وصلة الجذر.

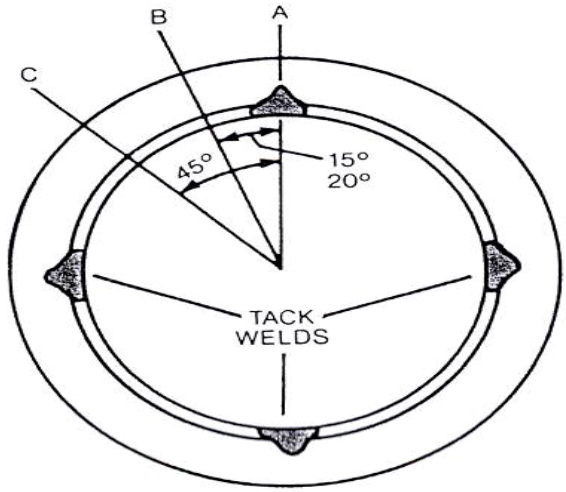


FIGURE 10-17 Procedure for horizontal fixed-position pipe welding.

وإعتماداً على سماكة جدار الأنبوب قد نحتاج إلى درزتين أو أكثر وهذا يتضح في الشكل (19 – 10) فالأنبوب سماكته (1/2" ≈ 12mm) نوصي بدرزتين والأنبوب سماكته (¾" ≈ 20mm) ثلاثة درزات ، ولأنبوب (1" ≈ 25mm) نوصي بأربعة درزات .

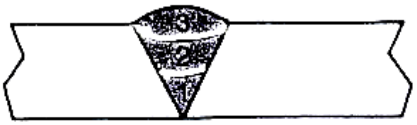
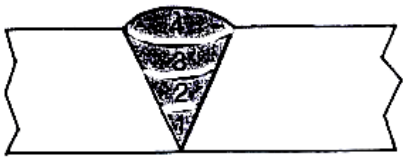
RANGE OF PIPE WALL THICKNESS	NUMBER OF LAYERS	CROSS SECTION OF WELD
3/8 TO 5/8 in.	2	
5/8 TO 7/8 in.	3	
7/8 TO 1 1/8 in.	4	

FIGURE 10-19 Number of weld-metal layers increases with the pipe wall thickness

وبهذا نرى أن اللحام عالي الجودة يحتاج إلى درزة كل (5mm) من سماكته الأنبوب وعلى الرغم من ازدياد عدد الدرزات للسماكات العالية فان لحام متعدد الدرزات (Multilayer welds) يعطي أفضل النتائج من لحام مقطع كامل بدرزة واحدة نظراً لبساطة الإجراء وأيضاً متابعة إجراء اللحام ينتج عنه تسخين حراري للدرزات السابقة وهذا يزيد في نقاوة ونعومة التركيب الجزيئي للبلورات الدرزة السابقة وعليه يزيد من متانتها ويحسن الممطولية (Ductility).

وكما شرحنا سابقاً فان لحام الجذر يكون بتلكنك ال (B.H) بدون حركة تموجية للتغذية (الدرزة) في اللحام المتعدد الدرزات ، وفي الدرزات اللاحقة نلاحظ اتساع جذر الوصلة ومقطعها خاصة إذا كانت مجهزة على شكل حرف V مما يتطلب إضافة مادة انصهار أكبر لتغطية هذا المقطع الواسع نسبياً ولا يتأتى ذلك إلى بحركة سلك التغذية والفرد معاً بحركة تذبذبية بإستخدام تكنيك ال (F.H) والشكل رقم (20 – 10) يوضح هذا المبدأ .

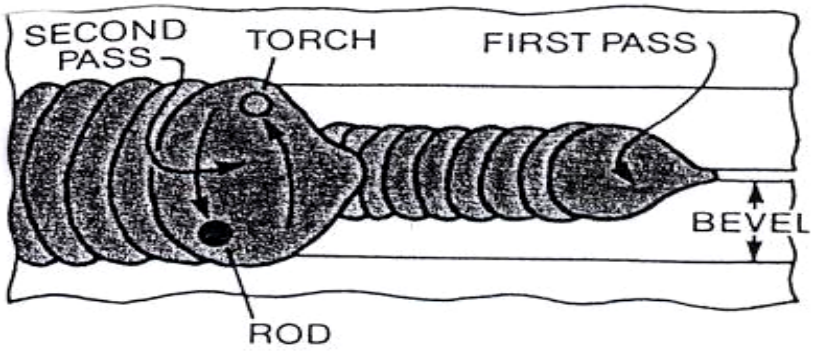


FIGURE 10-20 Torch and rod manipulation for second pass in large-groove pipe joint.

Horizontal fixed - pipe (5G) (5G) لحام أنبوب أفقياً بوضعية welding

يعتمد اللحام في هذا الوضع على تكتيك ال (B.H) ونبدأ الإجراء من نقطة التكن العلوية وهبوطاً بالأسفل على جانب واحد وصولاً إلى النقطة السفلية وبعد ذلك نعيد الخطوة السابقة على الجانب الآخر كما يتضح في الشكل (18 – 10) مع التأكيد على ضرورة التأكد من التحام نقاط التماس (النهاية) في أسفل الأنبوب.

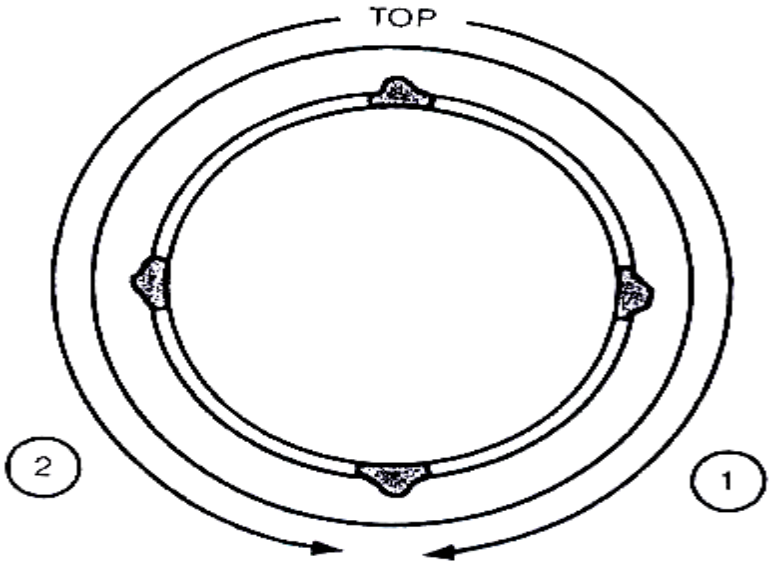


FIGURE 10-18 Multiple-layer welding is required to fill up the wall joint of pipe heavier than ½ in. [13 mm] thick.

لحام أنبوب ثابت عمودياً بوضعية (2 G) Vertical fixed - pipe welding

في هذا الوضع الذي يكون منه محور الأنبوب عمودياً وحركة فرد اللحام أفقية متساوية لآلية اللحام بوضعية ثابتة أفقيا (5G) وبشكل عام الأنابيب عالية السماكة تحتاج إلى أسلاك إضافة كبيرة وتيارات لحام عالية....

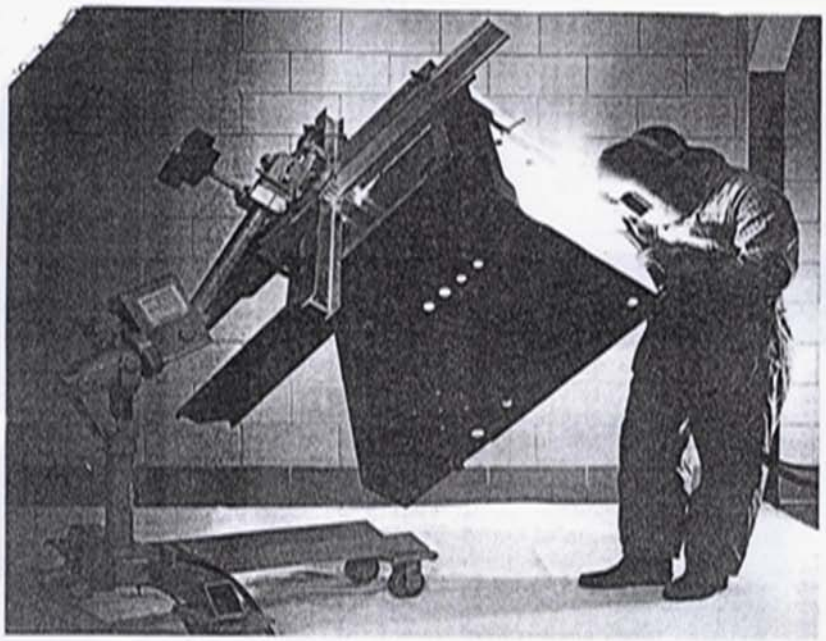
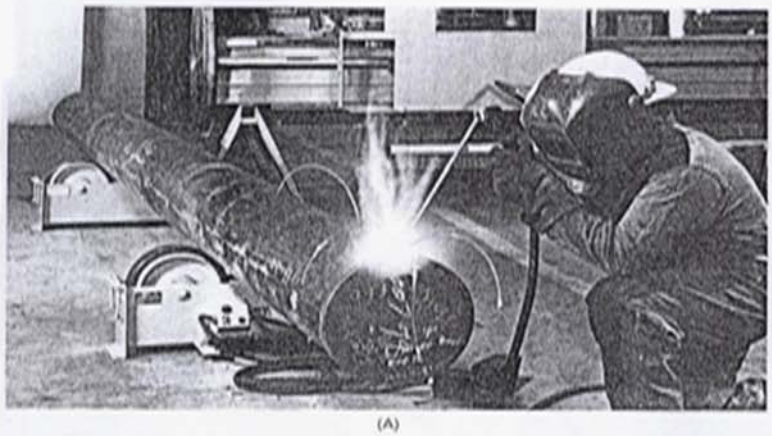


FIGURE 22-1 The Aronson Machine Company's Universal Balance can rotate a workpiece 360° around the positioner's column, and also 360° around two other axes through the part's center of gravity. Only finger-tip pressure is needed to move a workpiece weighing up to 4000 lb [1800 kg] into a new position. You can turn any odd-shaped workpiece that will fit on this machine into any position that will help you weld downhand.

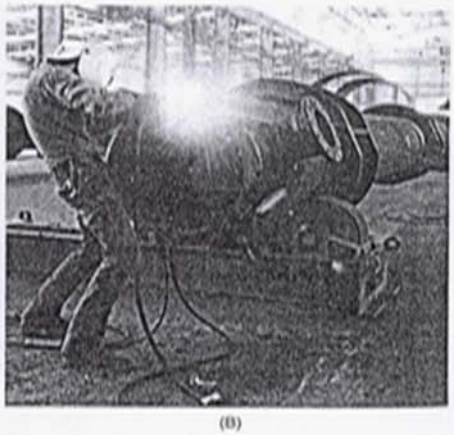
Turning rolls If your workpiece is cylindrical, anything from a piece of pipe to a large pressure vessel (Fig. 22-2), you can use turning rolls to turn your work steadily into the downhand position.

Boilers, pressure vessels, silos, axles, rocket casings, and both small- and large-diameter pipe and tubing are examples of welding applications using turning rolls. Rolls also can be used to manipulate these products during x-ray and sonic testing. The rolls can turn the work while it is being cleaned, painted, or inspected, too. Even some things that aren't round can be rolled on turning rolls. Railroad cars are an example. If the railroad car is mounted in support rings, the car rides in the rings and the rings ride on the rolls.

Turning rolls are simple, low-cost positioners with many productive options (Fig. 22-3).



(A)



(B)

FIGURE 22-2 Turning rolls come in dozens of shapes and sizes. They can turn anything from a small pipe (A) to a huge pressure vessel (B) if you have the right model. Turning rolls with several roll sets will have driven rolls that rotate the workpiece (operated by electric motors) and idler rolls that turn with the workpiece and simply provide support. The object in all cases is to be able to weld downhand while the workpiece turns round and round.

XD350
XD350

Panasonic

Mr. Ali

Panasonic

BP 300
Panasonic

الفصل الثالث

اختبارات اللحام

شعبة البحوث & الدراسات

Welding Tests

Welding Tests

اختبارات اللحام

Testing of Welds

المقدمـــة :

تتضمن دراسة متالورجيا اللحام ملاحظة التأثيرات الكيمياوية والفيزياوية التي تحصل لدى صهر المعدن لبركة اللحام او التغييرات التي تحصل في المعادن لدى التسخين في منطقة اللحام (ربطة اللحام) .

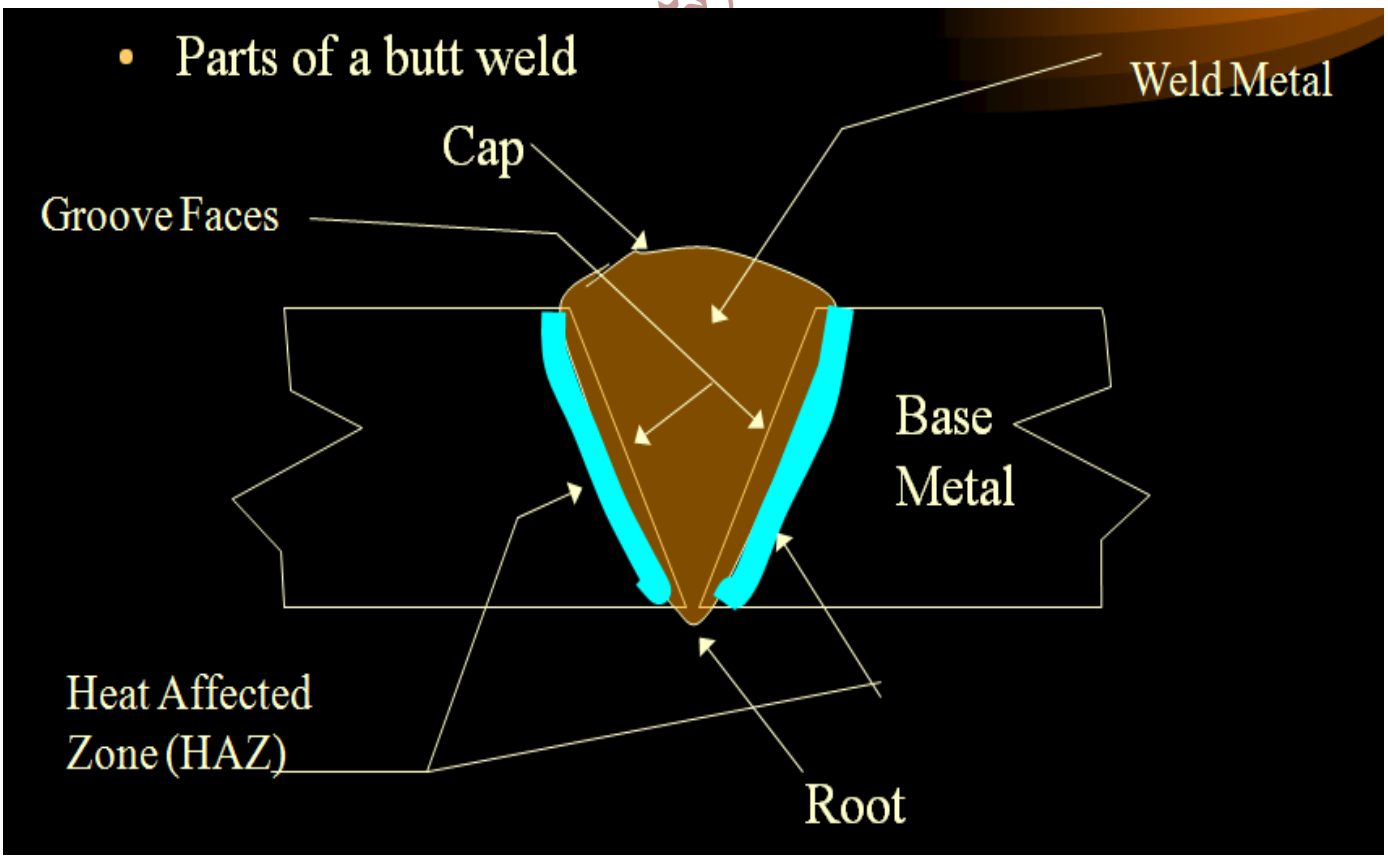
لذا يمكن التركيز على ما يلي خلال عمليات اللحام التي تجري بالصهر (Fusion Welding)

أ ـ ان معدن اللحام سوف ينصهر ويجمد تحت ظروف مشابهة لأنصهار وانجماد المسبوكات .

ب ـ يتعرض معدن الأساس (Base Metal) لمعاملة حرارية معقدة تتمثل من التسخين الى درجة حرارة الانصهار مصحوباً بالتبريد نتيجة التماس مع بقية المعدن الذي يحيط به .

جـ ـ التغيرات الحاصلة من درجات الحرارة والاطوار تحدث تغيرات من الحجم من المناطق المحيطة بمنطقة اللحام ، والتي تسبب بدورها انسياباً لدناً وجهوداً متبقية او حتى التشققات (Cracking) .

ولعل ملاحظة مقطع عرض لمنطقة لحام توضح الكثير من هذه التغيرات او التأثيرات في الشكل التالي



فنلاحظ مثلاً ان معدن اللحام من مركز ربطة اللحام يمثل المعدن المنصهر الذي انتج بأسلوب مشابه لأسلوب انتاج المعادن من افران الصهر المعروفة . كما أن انجماد معدن اللحام المنصهر يماثل انجماد مسبوك من عملية السباكة . وكذلك فأن تبريد المعدن بعد الأنتهاء من عملية اللحام يسبب تغييرات شبيهة بالتي تحدث لدى تشكيل المعادن بعمليات التشكيل المختلفة . المناطق الداكنة والمجاورة لمنطقة اللحام مباشرة تؤشر حدود المناطق المتأثرة بالتسخين والتبريد من المعدن الأساس .

عملية التسخين والتبريد هذه سوف تؤثر على خواص المعدن الأساس بدرجة تعتمد على نوع المعدن المراد لحامه .

أن التأثيرات الحرارية لعملية اللحام على معدن الأساس ذات اهمية بالغة ولا بد من دراستها بدته .

ويمكن تلخيص هذه التأثيرات كما يلي :-

أ ـ التدرج الحراري خلال عملية اللحام :

الشكل رقم (2.6) يبين التغييرات الحرارية التي تحدث خلال اللحام الأنصهاري علماً بأن هذا التدرج يعتمد على كثير من العوامل ، على سبيل المثال عملية اللحام المعنية والتوصيل الحراري لمعدن الأساس

ب - الظروف المحيطة بمنطقة اللحام :

ان التركيب الكيمياوي لربط اللحام قد يكون مشابهاً لتركيب معدن الأساس كما هي الحال من منطقة عمليات لحام المقاومة (Resistance Welding) ، او انه يتكون من خليط من المعدن الأساس ومعدن الحشو (Filler Metal) . كما ان معدلات التبريد قد تختلف من عملية الى عملية اخرى ، ففي حالة اللحام بالقوس الكهربائي (Arc Welding) تكون درجات الحرارة عالية جداً . ايضاً تصميم او شكل منطقة اللحام يكون ذو تأثير بالغ لدى انصهار او انجماد المعدن .

جـ - البنية المجهرية : Microstructure

يكون انتقال الحرارة من منطقة اللحام اتجاهياً وبأتجاه معدن الأساس البارد لذا تتكون من منطقة اللحام بلورات شجيرية طولية (Columnar Grains) ، بزاوية قائمة على خط اللحام ، كما يتضح من الشكل رقم (1.6) .

د - الانعزال : Segregation

نظراً لأن التبريد اللاحق لعملية اللحام يكون عادة بسرعة عالية نسبياً لذا يتوقع حصول اختلاف في التركيب الكيمياوي للبلورات المتكونة من المناطق المختلفة من منطقة اللحام ، حيث أن هذه السرعة لا تساعد على حصول الأنتشار (Diffusion) ، الذي يؤدي بالنتيجة الى مجانسة هذا التركيب ، أي

حصول الانعزال .
مكونات الأنعزال في الفولاذ تتكون عادة من الكربون ، الفسفور ، الكبريت والمنجنيز ، ولعل اهمها هو الكربون . علماً بأنه بالأمكان التخلص من هذا الانعزال و (خاصة الكربون) بمعاملة حرارية لاحقة . الا انه من الصعوبة بمكان ازالة انعزال الكبريت والفسفور . كما ان ارتفاع نسبة الشوائب في معدن اللحام يشجع على حدوث الانعزال .

هـ - الغازات الممتصة ومسامية اللحام : Dissolved Gases and Weld Porosity

يمتلك المعدن المنصهر قابلية عالية على امتصاص الغازات التي يتمس معها الاوكسجين ، النتروجين والهيدروجين على سبيل المثال . لدى انجماد المعدن تنخفض هذه القابلية الا ان جزءاً من هذه الغازات تبقى محصورة داخل المعدن مسببة ما يسمى بالجيوب او المسامية الغازية .

و - التغييرات في الاطوار : Phase changes

كما سبق ان ذكرنا فأن المناطق القريبة من منطقة اللحام في المعدن الأساس متقرصة الى دورات تسخين وتبريد مما يؤدي الى حصول تغييرات في الاطوار الموجودة ، كما هي الحال في الفولاذ .

ز - التغيرات في الحجم : Size Changes

كما ذكرنا سابقاً فأن التغييرات الحاصلة من منطقة اللحام المعدن الأساس لدى عمليات التسخين والتبريد تسبب تشوهات وجهوداً متبقية او حتى التشقق نتيجة التمدد والتقلص الحراري ، اضافة الى التغير الحاصل نتيجة تغير الاطوار .

اختبارات اللحام : Testing of Welds

اختبارات اللحام الغازي واللحام بالقوس الكهربائي :

انواع العيوب التي قد تتواجد في هذه الانواع من اللحام هي : -
أ - العيوب في الابعاد : على سبيل المثال الألتواء (Warpage) ، الاعداد غير الصحيح للربط ، الحجم غير الصحيح للربط .
ب - عدم الاستمرارية في البنية ، على سبيل المثال المساحيق الغازية ، الشوائب غير المعدنية ، الانصهار غير الكامل ، التشقق ، العيوب السطحية .
جـ - عيوب الخواص الميكانيكية ، على سبيل المثال مقاومة الشد الواطئة ، نقطة الخضوع الواطئة ، المطيلية المنخفضة .
د - عيوب اخرى مثل التركيب الكيمياوي غير الدقيق ومقاومة التأكل الرديئة .

الاختبارات الاتلافية : Destructive Tests

تتضمن هذه الاختبارات الاتلاف الكامل للملحومات بصورة كاملة لغرض الفحص والاختبار ، او اختبار عينة نموذجية من ملحومة اختبرت كنموذج .

اختبارات الشد : Tensile Tests

اعداد النموذج لفرص اجراء اختبار الشد لربط لحام معينة ، يتضمن اعداد نماذج مقطوعة في خط اللحام ونموذج واحد من المعدن الاساس . النومذج الاخير يعطى مقاومة الشد للمعدن الاساس . تشغل النماذج او تبرد بحيث تكون جميع حافاتها مربعة الشكل ، وتترك لسطح منطق اللحام كما هي تسطح . لغرض اختبارات المطيلية تسطح اسطح منطقة اللحام وتؤشر نقطتان على النموذج على جانبي منطقة اللحام وعلى بعد يساوي (50) ملم لكل منها . **وهذه الفحوصات غير متوفرة بالمحطة .**

اختبار الانحناء : Bending Test

في هذا الاختبار يتم تحميل نموذج ذو مواصفات معينة بتثبيته من نهايته وتحميله من مركزه او وسط كما في الشكل رقم (6.6) ويستعمل هذا الاختبار عادة لهدفين اساسيين ، اولهما قياس المطيلية ، كما في اختبار الانحناء الحر ، ثانيهما لأختبار مدى الاستحكام في ربطة اللحام (الخلو من العيوب او الاستمرارية) .

اختبار الصدمة : Impact Test

يعتبر اختبار الصدمة بطريقة ايزود (Izod Test) اكثر الاختبارات استعمالاً لأختبار مقاومة الصدمة في ربطة اللحام من الملحومات . ويجرى الأختبار بأعداد نموذج اسطواني الشكل لقطر يساوي 10 ملم من القطعة الملحومة ويقطع طرفي ربطة اللحام ، ويثبت في جهاز (ايزود) ويتم احتساب مقاومة الصدمة (كغم ـ م) بأحتساب الطاقة الممتصة من قبل ربطة اللحام وذلك بقياس ارتفاع مطرقة الصدمة بعد كسر النموذج .

اختبار قابلية اللحام : Weldability Test

يستعمل هذا الاختبار لقياس قابلية المعادن المختلفة للحام ويسمى ايضاً بأختبار انحناء حرف **T** ويضاف في هذا الاختبار الى معاينة انواع الكسور التي تحدث نتيجة الاختبار في الملحومات على شكل **T** ويتم الاختبار تاشير التأثيرات المشتركة للتركيب الكيمياوي ، عمليات التشكيل السابقة والعيوب الموجودة في النموذج .

اختبارات متفرقة :

من الاختبارات الاتلافية التي تجرى عادة على الملحومات ، والتي لا تختلف في شئ عن الاختبارات الاتلافية للمعادن والسبائك بصورة عامة ، هي اختبارات الصلادة بأنواعها اختبار الكلال . ونظراً لتعرض الملحومات في كثير من الاحيان الى اجواء تساعد على التأكل ، يكون اجراء بعض الاختبارات الخاصة بمقاومة التأكل ضرورية . ولعل اكثرها استعمالاً هو اختبار الرش بالسائل الملحي واختبار التأكل الجهدي . لقد تم تفصيل هذه الاختبارات في الباب الخاص باختبارات التأكل من هذا الكتاب .
كما يجرى الكثير من الاختبارات المجهرية على الملحومات . والاهداف الاساسية منها هي :-

١ -ملاحظة توزيع او انتشار الشوائب غير المعدنية .
٢ -لأحتساب عدد مشاوير اللحام .
٣ -لملاحظة البنية المجهرية في ربطة اللحام والمنطقة المصهورة .
٤ -لتحديد مدى وبنية المنطقة المتأثرة بالحرارة في المعدن الاساس .

وتشمل هذه الاختبارات عادة ما يلي : -

١ - الفحص البصري البسيط لنماذج معدة خاصة للفحص تحت المجهري (انظر الباب الخاص بالفحوصات المجهرية) لمعاينة البنية تحت المجهرية .
٢ - الفحص المجهري الدقيق لنماذج معدة خاصة للفحص المجهري لمعاينة البنية المجهرية ، الانعزال البلوري ، الفقاعات الغازية وما شابه .

الجدول يبين اساليب اختبار عيوب اللحام والمعدن الأساس .

العيوب	اساليب الأختبار
-عيوب الابعاد	
الالتواء	الاختبار البصري بأستعمال معدات قياس مناسبة .
الاعداد غير الصحيح للربطة	الاختبار البصري بأستعمال معدات قياس مناسبة .
الحجم غير الصحيح للربطة	الاختبار البصري بأستعمال معدات قياس خاصة باللحام .
-عدم الاستمرارية في البنية	
المسامية الغازية	الاشعة السينية ، اختبارات الفشل ، الفحص المجهري وتحت المجهري .
الشوائب غير المعدنية	

الانصهار غير الكامل	الاشعة السينية ، اختبارات الفشل ، الفحص المجهري وتحت المجهري .
التشقق	الاشعة السينية ، اختبارات الفشل ، الفحص المجهري وتحت المجهري .
العيوب السطحية	الاختبار البصري ، اختبار الانحناء ، الاشعة السينية ، الفحص المجهري والمرئي ، الاختبار الجسيمات المغناطيسية ، الاختبار بسائل الاختراق (زيت الأختراق)
-عيوب الخواص الميكانيكية	
مقاومة الشد الواطئة	الاختبار البصري .
مقاومة الخضوع الواطئة	اختبار الشد، اختبار الشد المستعرضة ، اختبار القص لمعدن الحشو اختبار الشد لمعدن الاساس .
المطيلية المنخفضة	اختبار الشد ، اختبار الشد المستعرضة ، اختبار الشد لمعدن الاساس . اختبار الشد ، اختبار الانحناء الحر ـ اختبار الانحناء الموجه ، اختبار الشد لمعدن الاساس .
الصلادة غير الملائمة	اختبارات الصلادة .
مقاومة الصدمة	اختبارات الصدمة .
التركيب الكيمياوي	التحليلات الكيمياوية .
مقاومة التأكل	اختبارات التأكل .

البحوث & الدراسات

الاختبارات اللاتلافية : Non Destructive Tests

تشمل هذه الاختبارات ما يلي : -

أ - الفحص البصري . Visual Test .

ب - الفحص بالجسيمات المغناطيسية . Magnetic Particle Test .

جـ - سوائل الاختراق المضيئة . Flouresent Penetrant Test .

د - الفحص بالاشعة . Radiograpgy .

هـ - اختبارات الاستحكام (الخلو من العيوب) . Tightness Test .

و - الفحص بالموجات فوق الصوتية . Ultrasonic Test .

ز - الفحص المسماعي . Stethoscopic Test .

ح - الفحص بأعادة التسخين . Reheating Test .

الفحص البصري : Visual Test

يعتبر الفحص البصري من اكثر الاختبارات شيوعاً لفحص الملحومات ، وتبرز اهميته من بساطة وانخفاض كلفة ، وسرعة انجازه . ويستعمل الفحص البصري لتحديد كفاءة الملحومات للأستخدام بعيد المدى ، وهو يتطلب خبرة واسعة لمن يقوم به . ولفرصة توفير المعلومات الكافية والدقيقة عن الملحومات لابد من اجراء هذا الفحص قبل اللحام واثناء اللحام وبعد اللحام .

ويشمل الفحص قبل اللحام ملاحظة ما يلي : -

1 - نظافة منطقة اللحام وخلو من الزيوت ، الاكاسيد ، والاصباغ والشحوم التي قد تؤثر على جودة اللحام .

2- التأكد من التصميم الصحيح للملحومات وضبط الابعاد .

3- التأكد من جودة ونوعية مساعد اللحام المستعمل ودقة استعماله اذا كان هذا الاستعمال ضرورياً .

بينما يشمل الفحص اثناء اللحام ما يلي : -

1- اختبار معدن الحشو الملائم .

2- نوع التيار الكهربائي المستعمل .

3- ملاحظة الاستعمال الصحيح للشعلة المستعملة .

4- فحص سطوح مشاوير اللحام المختلفة قبل الاستمرار في لحام مشوار جديد للتأكد من خلوها من شوائب الخبث ، الانصهار الملائم والخلو من التشققات .

ويساعد الفحص بعد اللحام ما يلي : -

1- المظهر الصحيح لمنطقة اللحام ، انظر الشكل ( ) ، لاحظ الانتظام و نعومة السطوح .

2- التأكد من خلو ربط اللحام من التشققات ، المسامية الغازية وفراغات الانكماش .
3- دقة الابعاد في ربطة اللحام .

الفحص بالجسيمات المغناطيسية : Magnetic Particle Test

يساعد هذا الفحص على تحديد مواضع جميع انواع عدم الاستمرارية (المناطق المعيوبة) والعيوب الاخرى التي تقع على سطح ربطة اللحام او داخل الربطة وبالقرب من السطح .
يجرى الاختبار بتكوين حقل مغناطيسي في القطعة الملحومة بواسطة تيار كهربائي ، بحيث ان العيوب الموجودة تتقاطع مع هذا الحقل .

ولدى تغطية سطح القطعة المراد فحصها بطبقة من جسيمات مغناطيسية ، فأن هذه الجسيمات سوف تتراكم حول العيب الموجود على سطح او تحت هذا السطح مباشرة مؤشرة موضعه . (هنالك تفاصيل اكثر حول هذا الاختبار في الباب الخاص بالاختبارات اللااتلافية) . ولزيادة ايضاح مواضع هذه العيوب بالامكان استعمال جسيمات ذات الوان بارزة تساعد على سهولة الفحص ، كما بالامكان استعمال مساحيق مضيئة زيادة في الابراز .

الفحص بسوائل الاختراق المضيئة : Flourescent Penetrent Test

يستعمل هذا الفحص للكشف عن العيوب الداخلية او المفتوحة بأتجاه السطح . ويكثر استعماله في المواد اللامغناطيسية واللاحديدية مثل الفولاذ العديم الصدأ ، المغنسيوم ، الالمنيوم ، البراص والكربيدات .
يجرى الاختبار بغمر القطعة المراد فحصها في السائل او صبغ السطح او رشه بهذا السائل . ويترك السائل لمدة اكثر من خمسة دقائق لغرض النفاذ الى أي شق او ثقب في السطح بتأثير الشعرية . يزال السائل الفائض من على السطح بالمسح ويترك السطح ليجف بتأثير الهواء الخارجي او بتأثير تيار هوائي ساخن . ثم يستعمل مثبت لتكوين قشرة رقيقة من المسحوق الجاف على السطح الذي يقوم بعمل شبيه بعمل ورق النشاف ، حيث تنطبع عليه اثار سائل الاختراق الذي يترشح من العيوب السطحية ، وبذلك يمكن الكشف عن هذا العيوب ومواضعها . واكثر العيوب التي يمكن الكشف عنها بهذه الطريقة هي تشققات الانكماش ، التشققات الشعرية ، الفجوات المفتوحة او اية عيوب نافذة الى سطح الملحومة .

اختبارات الاستحكام (الخلو من العيوب) : Tightness Test

تستعمل هذه الاختبارات بشكل خاص للتأكد من استحكام الملحومات الكبيرة مثل خزانات المياه والسوائل ، والمراجل البخارية وخطوط انابيب المياه والنفط . يجرى الاختبار بأستعمال الضغط الداخلي للماء ، الزيت ، الهواء او الغازات . ويكشف عن العيوب لدى وجودها بملاحظة التسرب او انخفاض الضغط داخل الملحومات وتتكون المعدات الضرورية لهذا الاختبار من مضخة ، مقياس للضغط وانابيب التوصيل . ويجرى الاختبار على سبيل المثال بملأ المرجل البخاري بكامله الماء والسماح بخروج الهواء والفقاعات الهوائية ، ثم بعد ذلك تعمل المضخة على رفع الضغط داخل المرجل بعد غلق جميع المنافذ فيه الى حين بلوغ الضغط المرغوب ويجرى اضافة الى ذلك وبالنسبة للمراجل البخارية بصورة

خاصة اختبار المطرقة ، حيث يصار الى الطرق على جانبي خط اللحام في المراجل وهو تحت الضغط العالي من الداخل .

بعد الانتهاء من الطرق على طول خط اللحام من الجانبين يصار الى رفع الضغط الى ضعف ضغط الاستخدام المقرر ، حيث يعاد فحص خط اللحام مرة اخرى لعرض التأكد من خلوه من العيوب .

في حالة اختبار خطوط انابيب المياه او النفط يفضل الاختبار بضغط الهواء الى داخلها ويحكم اغلاقها بعد بلوغ الضغط المرغوب . بعد ذلك يتم طلاء جميع خطوط اللحام وعلى طول الانابيب بسائل صابوني ويتم الفحص البصري . للكشف عن فقاعات الصابون التي تدل على وجود العيوب او عدم الاستحكام .

الفحص المسماعي : Stethoscopic Test

يعتمد هذا الفحص على الصوت الناجم عن الملحومة لدى طرقها بمطرقة للحكم على خلوها من العيوب او عكس ذلك . الملحومة الجيدة الاستحكام الخالية من العيوب تعطى صدى رناناً بينما الملحومة المعيوبة تعطي صدى مكتوماً . وتستعمل عادة سماعة فيزياوية للتوضيح الاكثر والاستماع الجيد لهذا الصدى . لقد تم بنجاح استعمال هذا الاختبار لفحص المراجل البخارية والملحومات الانشائية الكبيرة ، ويحتاج الى خبرة جيدة .

تمت بعونه تعالى

المهندس زاهد عباس علاوي

قسم التدريب & التطوير

المراجـــــع

REFRENCES

1 - تكنولوجيا اللحام ، تأليف :-

الدكتور عبدالرزاق اسماعيل خضر _ قسم هندسة الانتاج والمعادن .

المدرس السيد أحمد علي أكبر _ قسم هندسة الانتاج والمعادن .

الدكتور نوفل محمد حسين _ قسم هندسة المكائن والمعدات .

الجامعة التكنولوجية

2 -المواد الهندسية واختباراتها ، تأليف :-

الدكتور قحطان خلف الخزرجي & الدكتور عادل محمود حسن

عبد الجواد محمد الشريف _ جامعة بغداد .

3 -دورة اللحام بالقوس الكهربائي لقطب التنكستون وغاز الأرغون المقامة في مركز تدريب الكهرباء في الاردن _ المهندس حازم سلامة .

4 -مناهج تدريب اللحام _ المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني _ المملكة العربية السعودية .

5 -السلامة في لحام الأرغون . _ مركز تدريب الكهرباء في الاردن .

6 -اجراءات السلامة في عمليات اللحام .