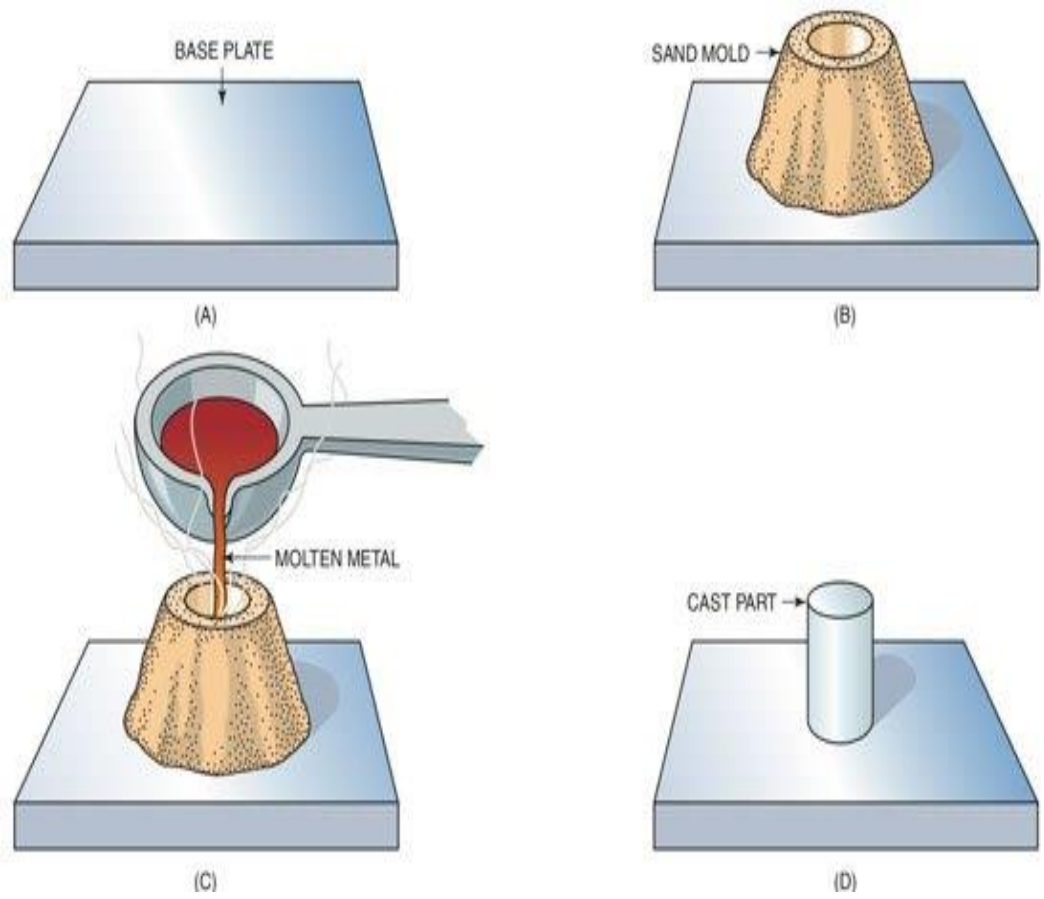
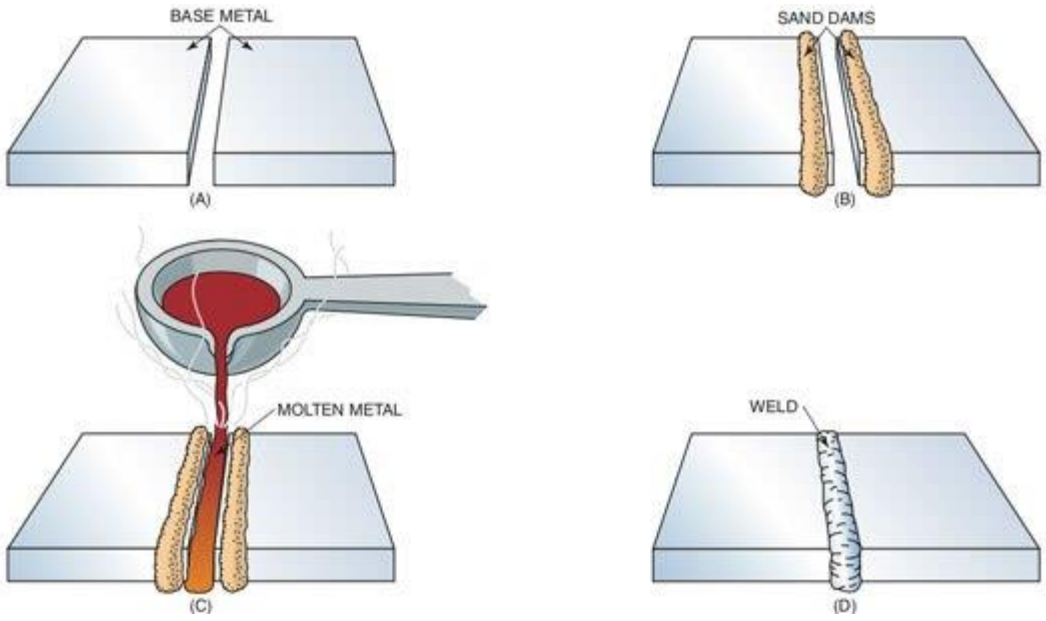
المقدمـــــــة

مع تحسن المعيشة والبيئة ومع تطور الحضارات الانسانية تحسنت المواد والادوات والآلات وتطورت اساليب اندماج المواد عبر العصور الماضية فعندما بدء الربط بين اجزاء ادوات العمل ربط احدهم العصا بالحجر لصنع الرمح او الفأس، واستخدم المصريين القدماء الادوات الحجرية لأنشاء المعابد والاهرامات التي تم تثبيتها مع مواد لاصقة من الطين او الجبس ولاتزال هذه الجدران قائمة حتى الان.

في تلك الفترة الزمنية لطالما حيرت مشكلة اندماج المعادن الكثير من العمال ، حيث بدء العمال والفنيين في حل مشاكل الاندماج في العصور البرونزية والحديدية. وبدأت باستخدام الصب حيث شملت اساليب صب السبائك المعدنية عمليات تشكيل قالب من الرمل فوق قطعة من المعدن ومن ثم القاء المعدن المصهور فوقها بحيث يتم اندماج الجزيئين كما مبينة في الشكلين ادناه .

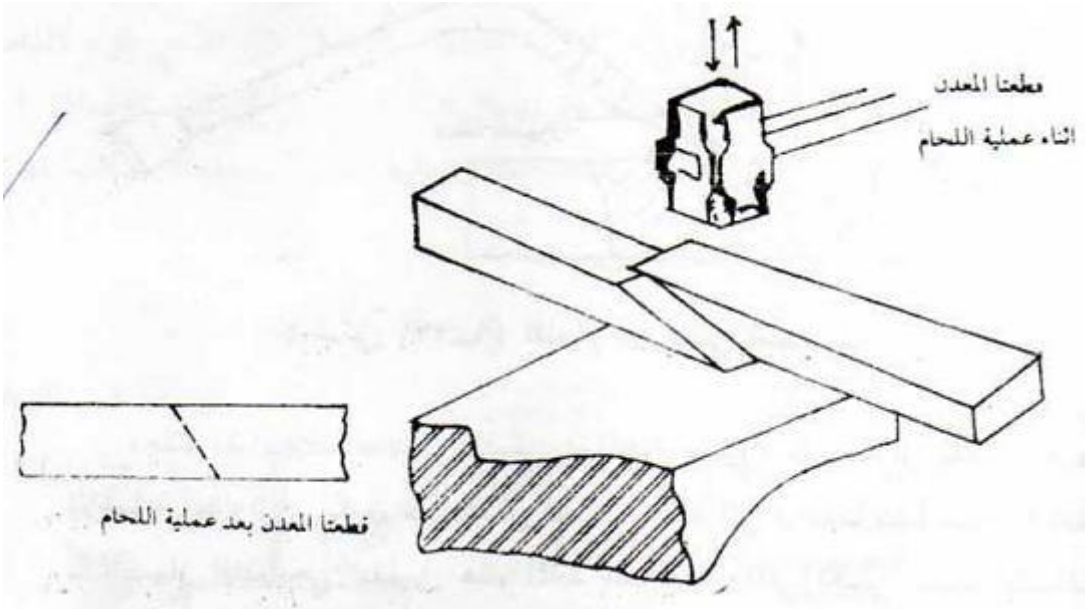


شكل (١)



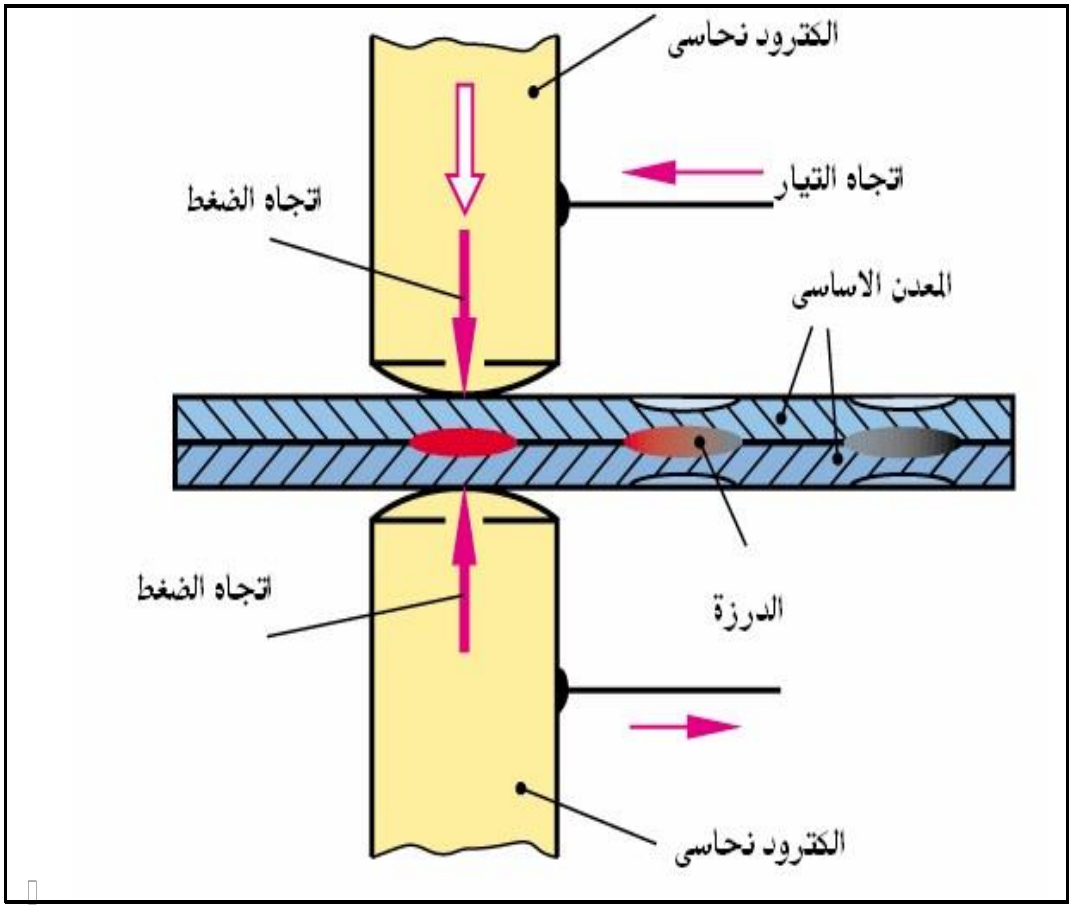
شكل (٢)

- وبعد مرور العديد من السنوات قدمت الثورة الصناعية من عام ١٧٥٠م الى عام ١٨٥٠م طريقة جديدة لربط قطع من الحديد تعرف باسم لحام المطرقة وهي عبارة عن تسخين الحديد لدرجة حرارة التسييح بعد ذلك يتم وضع اطراف الحديد فوق بعضها ويتم الطرق على الاطراف حتى يتم الاندماج وكما مبين في ادناه:



شكل (٣)

وقد استمرت هذه الطريقة الى سنة ١٨٨٦م حيث تم تطويرها عن طريق طومسون الى تقنية لحام المقاومة انظر شكل (٤) والتي كانت الاسرع في الاندماج واكثر موثوقية.
وقد تم تطوير اساليب الاندماج في المعادن بتطور التقنيات المستخدمة في اللحام.



شكل(٤)

تـــمهـــــــيد

سيتم في هذا البحث البدء بدراسة اساسيات اللحام وطرق اللحام المختلفة والمتطورة مثل لحام القوس الكهربائي بأنواعه الثلاث ثم دراسة لحام الاوكسي استلين ثم لحام المقاومة الكهربائية وكذلك سيتم التطرق على قابلية المواد للحام وعيوب اللحام وطرق الفحص الاتلافي وغير الاتلافي . حيث يتضمن تناول هذه المواضيع توفر الاسس والمبادئ العلمية والتقنية التي يجب على الكادر الفني والهندسي في محطات التوليد ان يلم بها الماما تاما حتى يخطو في الميدان بخطى واثقة في مجال العمل دافعا بعجلة التقدم الحضاري والانتاجي لبلدنا الحبيب .

الفصل الاول

(١) أساسيات اللحام : welding fundamentals

(١,١) تعريف

اللحام هو عملية لوصل المعادن مع بعضها البعض باستخدام الحرارة او الضغط او كلاهما معا .

(٢,١) أنواع اللحام : welding types

توجد ثلاثة أنواع رئيسية للحام المعادن وهي:

(١) اللحام الحراري Fusion welding

(٢) اللحام الضغطي pressure welding

(٣) اللحام بالضغط والحرارة

(٣,١)استخدامات اللحام: Application of welding

يستخدم اللحام في كثير من الاعمال مثل :

١-عمليات تصنيعية

٢-عمليات التجميع

٣-عمليات الصيانة الاصلاحية

٤-عمليات القطع

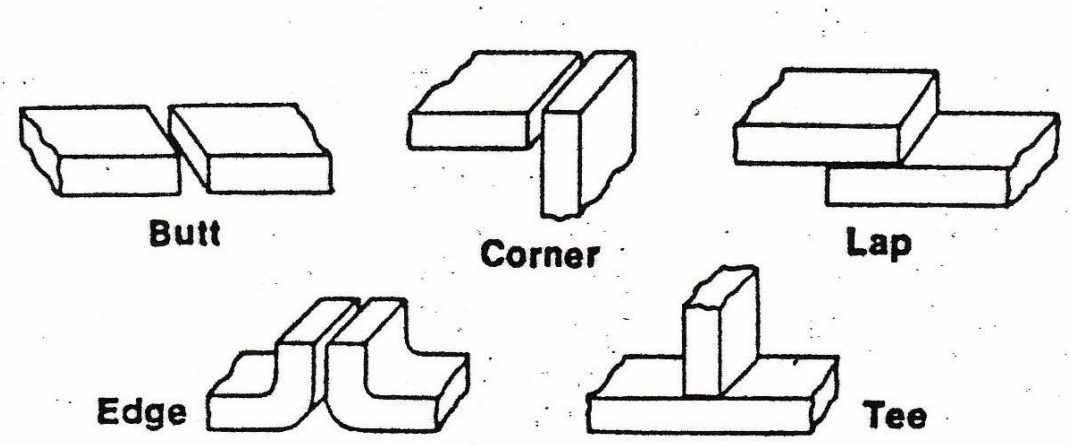
٥-عمليات التسخين

٦-عمليات المعالجة الحرارية

(٤،١)وصلات اللحام Weld joints

يقصد بوصلة اللحام الوضع الذي يتواجد عليه الجزئين المراد لحامهما وتوجد خمسة انواع رئيسية للوصلات تتيح الحصول على الاشكال الهندسية المطلوبة وهي :

-التناكبية BUTT - التراكبية LAP - الركنية CORNER - الطرفي EDGE - وصلة حرف (T) T-JOINT وكما مبين في الشكل ادناه



شكل (٥) انواع وصلات اللحام

(٥،١) تجهيز الوصلات Edge preparation:

يهدف اختيار الوصلة المناسبة الى ضمان توفر التماسك الكافي بين الجزئين المعدنيين المراد لحامهما ,ويعتمد تحديد الوصلة على :

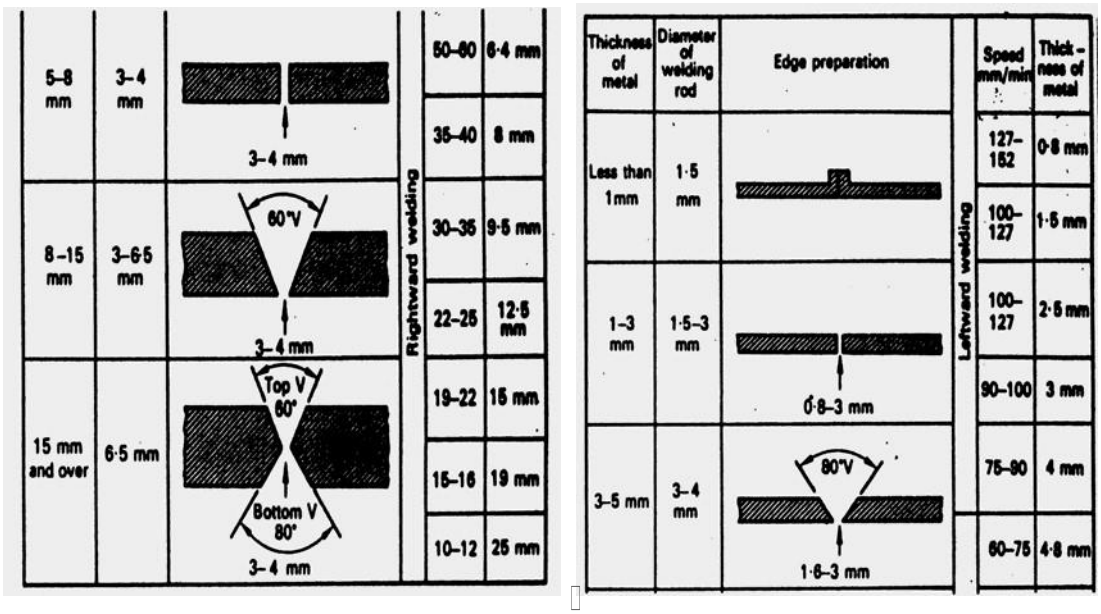
- سمك المعدن الاساسي.

- طريقة اللحام المستخدمة.

- وضع اللحام.

- حيث يتم شظف حواف الوصلة غالبا بطرق تشغيل مختلفة تبعا للمعدن الملحوم.

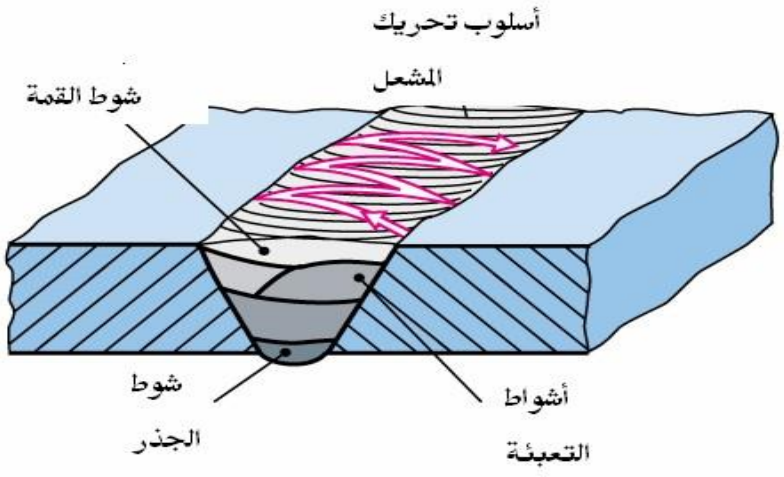
وتستخدم اشكال عديدة للوصلات تبعا لسمك المعدن الاساسي فمثلا حرف V للسمك بين ٤-١٥ مم وحرف X للسمك >١٥ ملم وكما مبين في الشكل(٦) المبين في ادناه.



شكل (٦) اشكال اطراف الوصلة

(٦،١) حوض اللحام Weld pool:

هو الحيز الذي يجب ملؤه بمادة الحشو . ولضمان ذلك يجب ان تنصهر حواف الحوض لكي يحدث اندماج مع معدن سلك الحشو عند لحام القطع السميكة التي تكون (> ١٠ مم)ويتم ملء الحوض على عدة اشواط وكما مبين في شكل (٧)



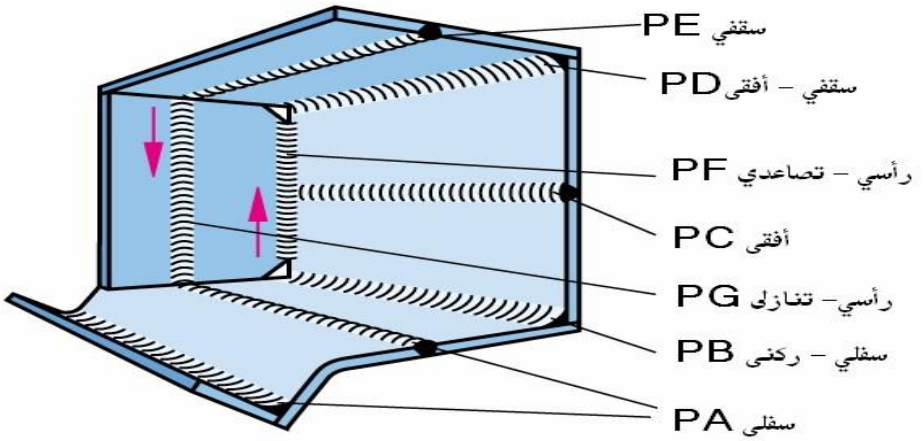
شكل (٧) اشواط تعبئة حوض اللحام

(٧،١) اوضاع اللحام Welding position:

يتم اللحام دائما في اربعة اوضاع رئيسية تتيح تنفيذ كل اعمال اللحام وهي:

- السفلي FLAT
- الافقي HORIZONTAL
- الراسي VERTICAL
- السقفي OVERHEAD

وكما مبين في الشكل (٨)

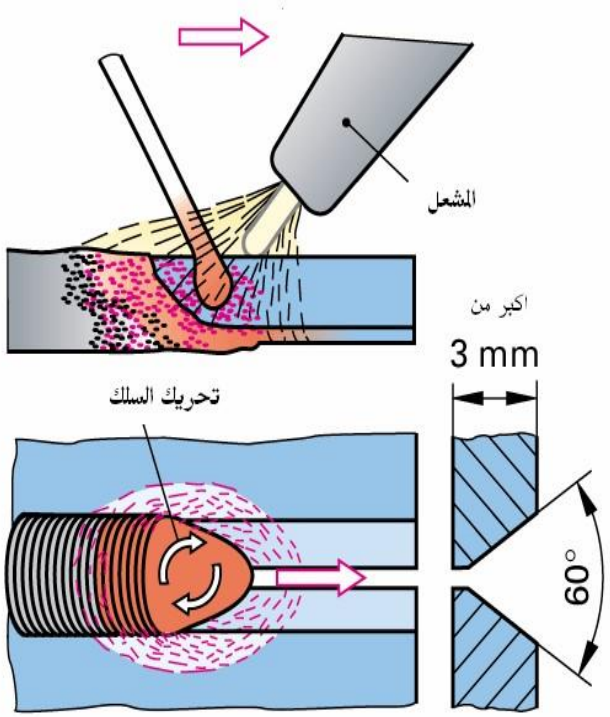


شكل (٨) اوضاع اللحام

(٨،١) حركات اللحام Welding movements:

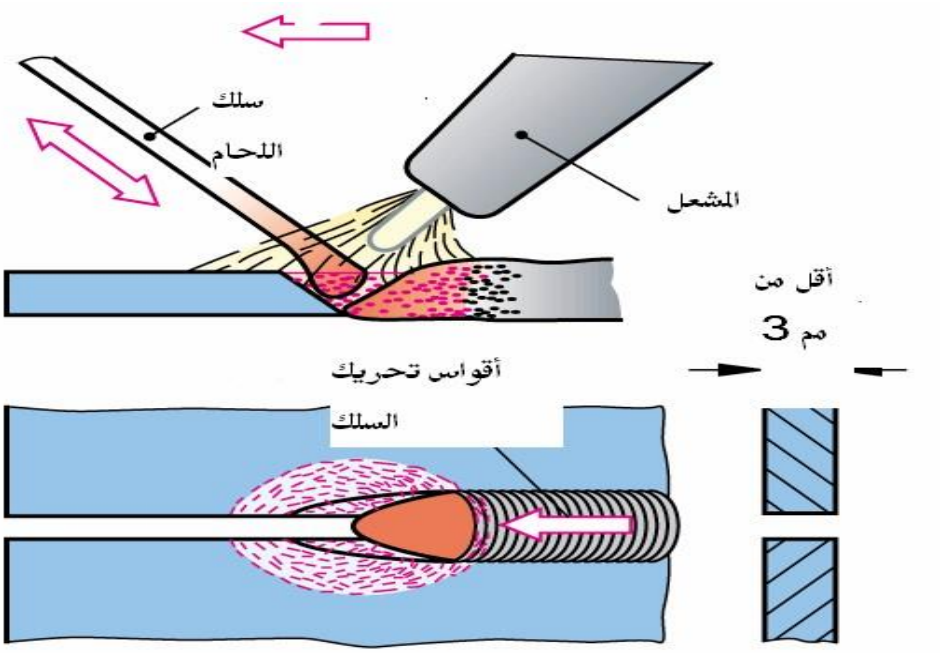
يقصد بها كيفية تحريك المشعل ومادة الحشو (سلك اللحام) وذلك في لحام الاوكسي استلين واللحام القوسي بأنواعه المختلفة لضمان جودة تعبئة حوض اللحام وتسخين الحوض او الدرزة ,ويوجد نوعان لتحريك المشعل في لحام الاوكسي استلين هما التقدمي Forehand والتقهقري Backhand ويتم اثناء تقدم المشعل تحريكه يسرة ويمنة او في حركة دائرية او مقوسة (التمويج Weaving) وذلك لتفادي تركيز اللهب على موضع واحد وضمان صهر منطقة كبيرة من حوض اللحام ..

- وهنالك اساليب متنوعة لتحريك المشعل التي تضمن جودة التنفيذ.وكما مبينة في شكل (٩)



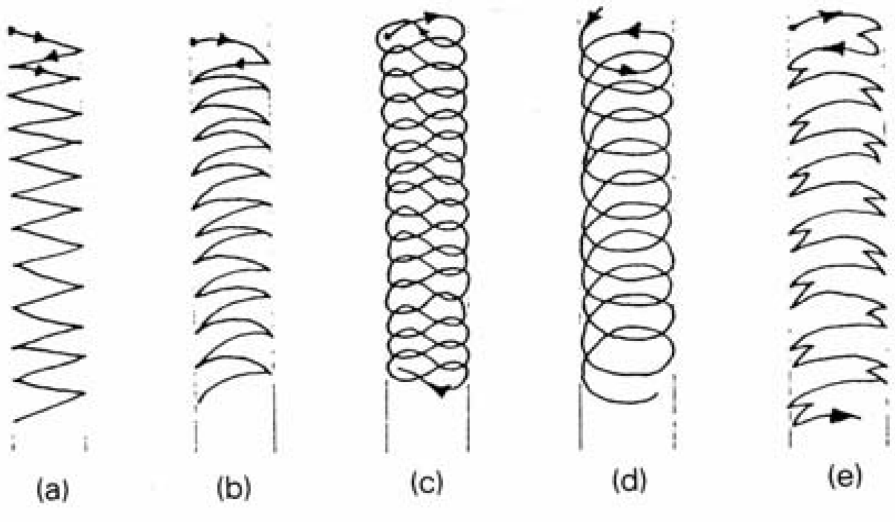
شكل (٩- ا) تقهقري

- تستخدم للحام الصلب لاحتياجه لحرارة اعلى.
- للقطع كبيرة السمك لان الحرارة تسلط لمدة طويلة على الحوض.
- يسلط اللهب مدة طويلة على الحوض مما يضمن بطء تبرد الدرزة ويحقق تماسك جيد.



شكل (٩- ب) تقدمي

- يستخدم للحام المعادن غير الحديدية.
- للقطع صغيرة السمك < ٣مم.
- ينتج درزة ناعمة .
- سرعة الانجاز.



شكل (٩- ج)امثلة لحركة تمويج سلك الحشو

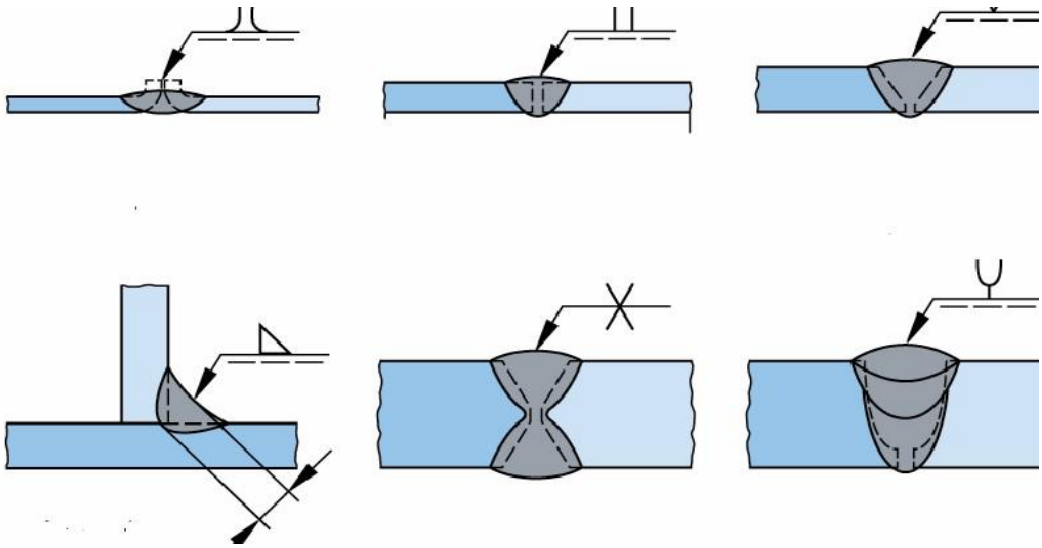
(٩,١) الرموز الاساسية للحام Basic weld symbols

تستخدم رموز عديدة في لحام الاوكسي استيلين واللحام القوسي للاشارة لشكل الوصلة وكما موضحة في الشكل (١٠) في ادناه:

نوع اللحام		شكل الإعداد Square				
حرفي Bead	ركني Fillet	مجرى أو حفرة Slot or Plug	عدل	V	مشطوف Bevel	
الشكل الرمزي						

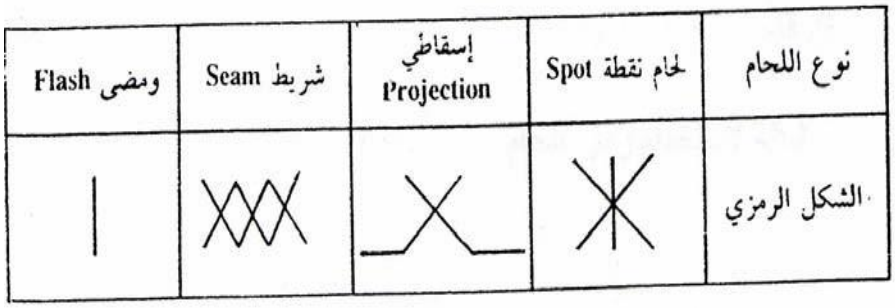
شكل (١٠) رموز الوصلات

- وكذلك تستخدم رموز (حروف لاتينية) لتوضيح شكل الوصلة وكما موضحة في الشكل (١١) في ادناه



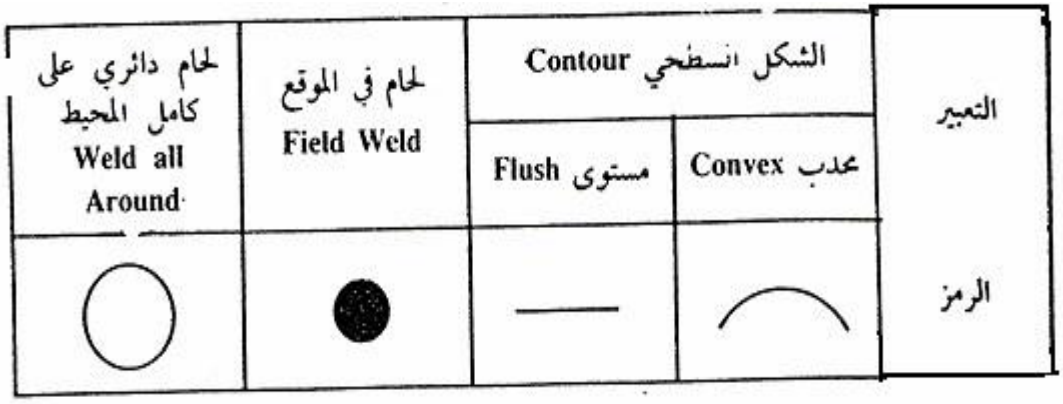
شكل (١١) رموز للوصلات على شكل حروف لاتينية

- وفي لحام المقاومة الكهربائية تستخدم الرموز التالية (انظر الشكل (١٢))



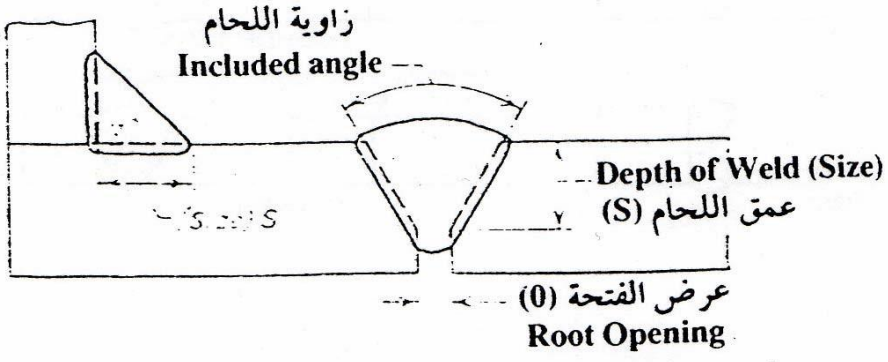
شكل (١٢) رموز للحام المقاومة الكهربائية

- رموز شكل سطح الدرزة ومكان نفيذ اللحام هي كما موضحة في شكل (١٣)



شكل (١٣) رموز سطح الدرزة

- يحتاج لتوضيح حوض اللحام معرفة مقاييس مكوناته المبينة بالشكل (١٤)

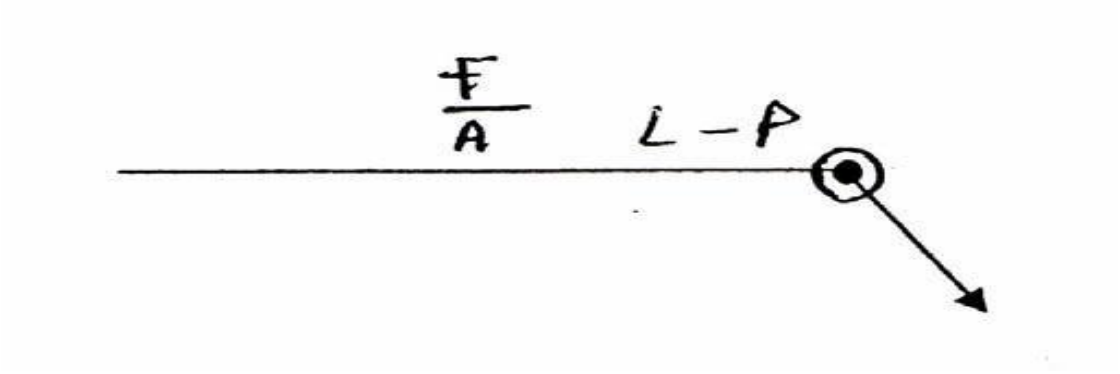


شكل (١٤) مقاييس الوصلة

- **الرمز الكامل للحام:**

يقوم المهندس المسؤول بتنفيذ رسم هندسي للمنتج المطلوب لحامه حيث يتم وضع رموز اللحام المطلوب في المساقط المناسبة لتحديد كل ما يطلب من عامل اللحام القيام به

- يكتب الرمز الكامل للحام كما يلي :



شكل (١٥)

F: تشير لموضع رمز شكل سطح الدرزة

A: تشير لموضع قيمة زاوية اللحام

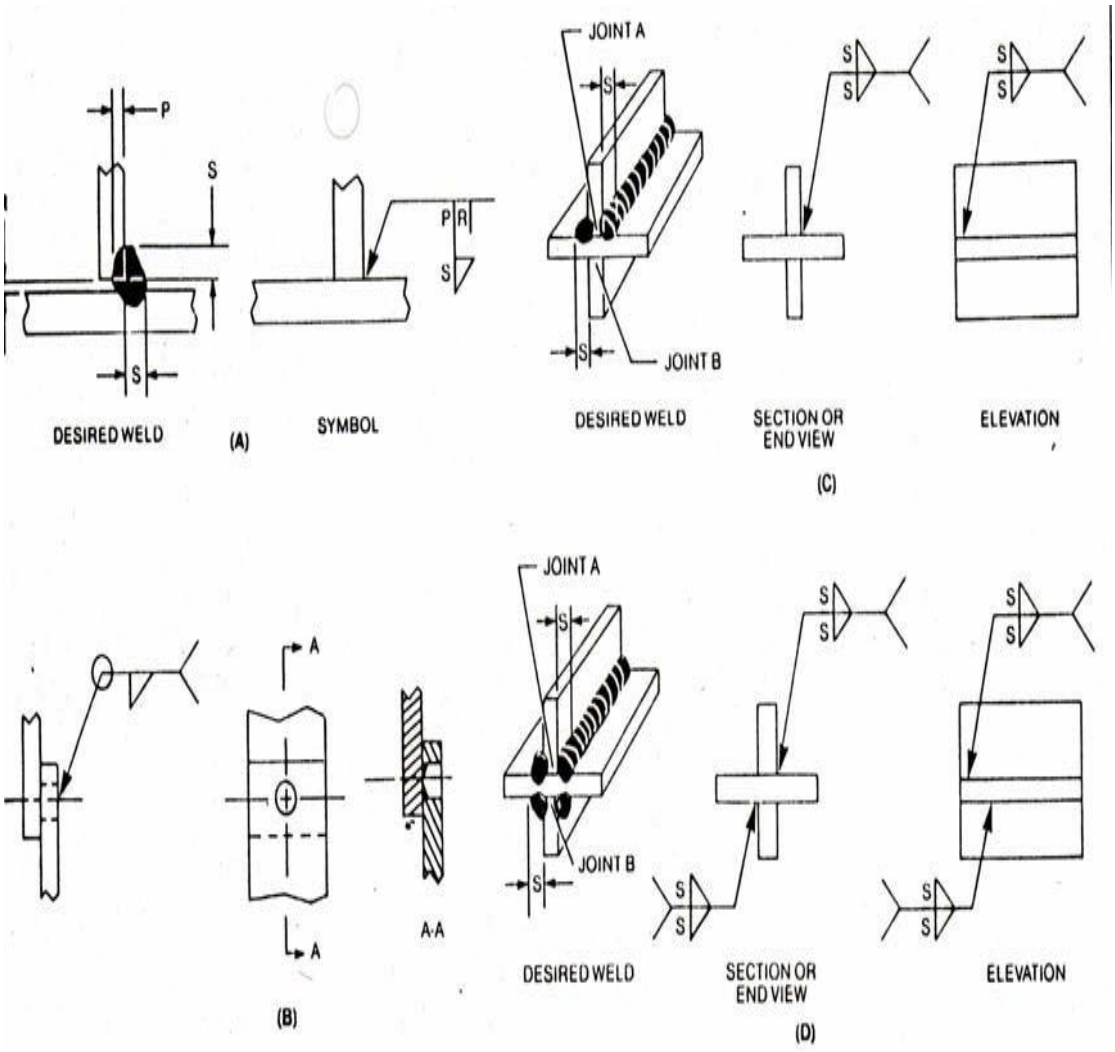
L: تشير لطول الدرزة

P: تشير لمقدار الفواصل في خط اللحام

الدائرة: تشير الى ان اللحام لكامل محيط الجزء

النقطة داخل الدائرة : تشير بان اللحام ينفذ في الموقع

الشكل (١٦) يوضح امثلة لاستخدام رمز اللحام:



(١٠,١) ضوابط السلامة باللحام Safety rules:

(١,١٠,١) احتياطات السلامة في لحام القوس الكهربائي Safety precautions in electric Arc – welding

١- احتياطات عامة

- لا تلمس اي جزء موصل للتيار الكهربائي Hot part .
- البس قفازات غير مثقبة وجافة .
- البس حذاء عمل جاف
- اعزل نفسك بجسم غير موصل وجاف.
- حافظ على ماسك الالكترود ,ماسك الشغلة ,سلك التيار والة اللحام حيث يجب ان تكون في حالة جيدة
- تأكد من سلامة ونظافة كل التوصيلات الكهربائية
- لا تبرد الالكترود في الماء
- الالتزام بضوابط عد السقوط عند اللحام في مكان مرتفع
- تأكد من تأريض المعدن الاساسي وتفادي تكرار التأريض للجسم الواحد
- انزع الالكترود من الماسك عند توقف اللحام
- افصل التيار الكهربائي اذا كان التوقف عن اللحام سيكون لفترة طويلة
- الالتزام بضوابط السلامة للحام في الاماكن الخطرة

٢- التهوية Ventilation

- الاهتمام بالتهوية الجيدة لازالة الابخرة والغازات عن منطقة اللحام
- تفادي استنشاق الابخرة والغازات الصادرة من اللحام
- تفادي اللحام بالقرب من مصدر ابخرة الكلور والهيدروكاربونات لانها تكون غازات عالية السمية.

٣- احتياطات لحماية الجسم

- البس نظارات خاصة لحماية العين من الضوء الوهاج من الاشعة الصادرة ومن الرذاذ الماتطاير
- يجب حماية المرشح filter plate بواسطة غطاء cover plate.
- حماية الجسم بغطاء جلدي وقمصان ثقيلة عند تطاير شرر ورذاذ معدني.
- يجب لبس حذاء عالي وغطاء الراس عند تنفيذ لحام سقفي.
- يجب لبس كمامة عند اللحام في مكان مغلق.

(٢,١٠,١) احتياطات السلامة في لحام الاوكسي استلين Safety precautions in oxy acetylene welding

الاسطوانات:

١- عدم تعريض اسطوانات الغاز لأشعة الشمس.
٢- عدم تعريض اسطوانات الغاز للسقوط .
٣- المسافة بين الاسطوانات والمشعل يجب ان لا تقل عن متر.
٤- المسافة بين الاسطوانات واي مصدر حراري يجب ان لا تقل عن ١٠ امتار.
٥- الاسطوانات تحفظ في غرفة جافة جيدة التهوية.
٦- لا تحفظ اسطوانات الاوكسجين في غرفة واحدة مع اسطوانة الاستيلين او اي غاز قابل للاشتعال.
٧- مراعاة عدم تلوث الاسطوانات بالزيوت والوقود لتفادي انفجارها.
٨- يصبغ صمام التخفيض (Reducing valve) والاسطوانة بلون واحد.
٩- لا تدحرج الاسطوانة ابدا.
١٠- الاسطوانات تنقل وتحفظ وتستخدم وهي فقط في وضع راسي.

التوصيلات :

١- يجب ان لا يقل طول الخرطوم المرن بين المشعل والاسطوانة عن ١٠ امتار.
٢- عدم تعريض الخرطوم للنار.
٣- عدم العمل بخراطيم مهترئة.
٤- التوصيلات بين المشعل والصمام يجب ان تكون محكمة.

الملابس:

١- يجب ارتداء عمل وقفازات من التاريولين
٢- لبس الكمامات الواقية من الغبار والابخرة السامة
٣- يجب ارتداء النظارات الواقية للعيون

الفصل الثاني

٢- اللحام الحراري Thermal welding

توجد انواع كثيرة من اللحام الحراري وذلك تبعا لمصدر الطاقة المستخدم ,فهناك اللحام الغازي والكهربائي والكيميائي والاحتكاكي ويعود هذا التنوع الى الاسباب التالية:

- اختلاف الجودة المطلوبة (مثلا لحام القوس الكهربائي يضمن جودة اعلى.
- اختلاف المعادن المطلوبة (المواد سهلة التاكسد يناسبها القوسي).
- اخلاف سمك المعدن الملحوم(السمك القليل يناسبه اللحام الغازي والمتوسط القوسي والكبير يناسبه لحام الثرميت).
- تنوع كميات القطع الملحومة (كلما زادت يستخدم اللحام القوسي الالي).
- سرعة تنفيذ عملية الصيانة لجزء مكسور (لحام الثرميت).
- ضرورة متانة اللحام ومظهره (اللحام الاحتكاكي).

(١,٢) لحام القوس الكهربائي Electrical arc welding

تنتج الحرارة في لحام القوس الكهربائي من التفريغ الكهربائي (القوس)بين الالكترود والمعدن الاساسي وهو واسع الاستخدام لما يتيح من حرارة عالية ومن امكانية حماية حوض اللحام بالمساحيق او الغازات الخاملة.

(١,١,٢) : نبذة تاريخية :

تم تطبيق فكرة اللحام القوسي في عام ١٨٨١ م بواسطة فرنسي اسمه اوغست دي ميرانتز حيث استخدم الكترود من الكربون الذي يمتاز بمقاومته للحرارة العالية ولكنه يضر اللحام ويجعله صلدا بسبب تجمع كربون زائد بالدرزة .وفي عام ١٩٠٥ م بدأ استخدام الكترود ات معدنية مغطاة بمسحوق هو الاسبتوس تمكن من رفع جودة اللحام, ومنذ ذلك الحين حدث تطور كبير في نوعية المساحيق وكذلك معدات اللحام وتم تطبيق اللحام القوسي بحماية الغازات الخاملة وتم تطوير التنفيذ الالي للحام القوسي.

(٢,١,٢) فكرة اللحام القوسي:

- يتم توصيل القطعة (المعدن الاساسي Base metal) كقطب موجب والالكترود كقطب سالب (قطبية مباشرة او العكس)

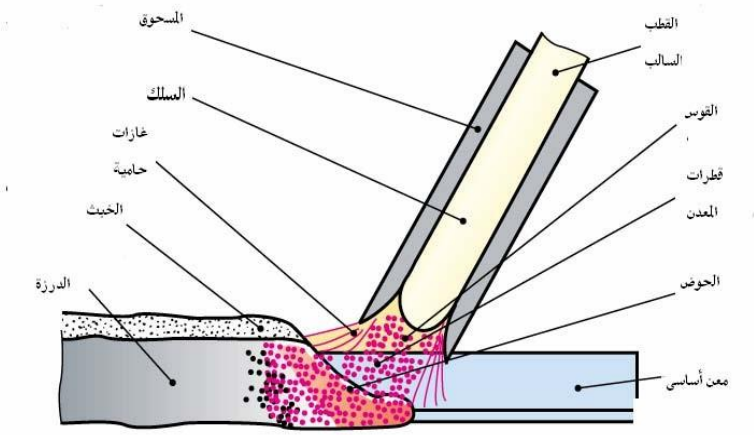
- عند خدش القطعة بالالكترود يحدث اغلاق للدائرة الكهربائية وترتفع درجة حرارة مقدمة الالكترود وتنبعث منها الكترونات تتجه للقطب الموجب (المعدن الاساسي)وتصطدم بذرات الغاز في منطقة جذع القوس وتاينها مما يساعد على اسمرار التفريغ الكهربائي وانتاج حرارة عالية

- عند ابعاد الالكترود قليلا عن القطعة يسمر اغلاق الدائرة الكهربائية عبر حدوث تفريغ كهربائي هو انطلاق للالكترونات من الالكترود واصطدامها بسرعة عالية جدا بالقطعة مما يسبب ارتفاع حرارها حتى تنصهر

- ينتقل المعدن على هيئة ايونات من الالكترود ويمتزج مع مصهور الحوض

- يجب المحافظة على بعد صغير ثابت بين الالكترود والقطعة (٢-٣ مم) والا توقف التفريغ الكهربائي واستمراره يعرف باستقرار القوس

- للمساعدة على استقرار القوس الكهربائي يجب توفر غازات متاينة (اي سالبة او موجبة الشحنة)في منطقة جذع القوس .



شكل(٢٠) فكرة لحام القوس الكهربائي

(٣,١,٢) طرق انتقال المعدن :

ينقل معدن الالكترود المنصهر نتيجة لتواجد قوى مختلفة هي:

أ- الجاذبية الارضية وهي تقوم بجذب قطرات المعدن للاسفل زلذا في اللحام الراسي والسقفي يجب استخدام الكترودات صغيرة القطر.

ب- تمدد الغازات المتولدة ويقوم بدفع القطرات لمعدن الاساسي مما يمكن من استخدام التيار المتردد في اللحام وكذلك التيار المستمر بقطبية عكسية ويمكن من اللحام في الوضع الراسي والسقفي.

ت- القوى الكهرومغناطيسية ناتجة من وجود مجال مغناطيسي متعامد على مرور التيار في الالكترود , تقوم هذه القوة بفصل القطرة من الالكترود قبل ان تفصلها الجاذبية الارضية وهي تساعد على انتقال القطرات في كل اوضاع اللحام.

ث- قوى الدفع الكهربائية الناشئة عن فرق الجهد عبر القوس تؤثر على القطرة وتدفعها في اتجاه المعدن الاساسي ولذل فانها مكن من اللحام في كل الاوضاع.

ج- الشد السطحي وهو يجذب القطرة التي تلامس سطح المصهور في الحوض وذلك في اي وضع من اوضاع اللحام.

ويمكن حصر طرق انتقال المعدن في الطرق الثلاثة التالية:

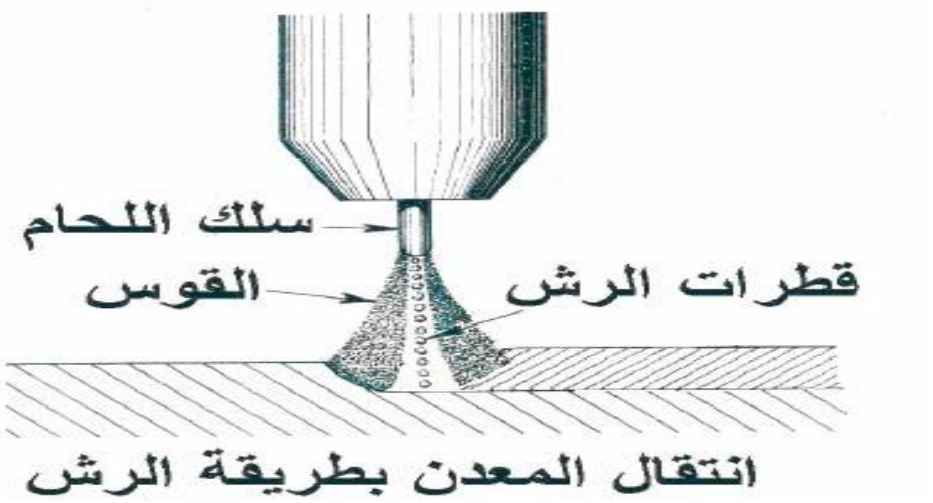
أ- طريقة قصر الدائرة Dip or short circuiting - transfer

يكون فيه تلامس شبه دائم بين الالكترود والقطعة ,عندما يحدث التلامس ترتفع شدة التيار وتنفصل المقدمة المنصهرة ويحدث قوس ثم يتكرر التلامس .تناسب هذه الطريقة لحام السمك الرقيق (هيكل السيارة او انشاءات) انظر الشكل (٢١)

شكل (٢١) طريقة قصر الدائرة

ب- طريقة الرش Spray transfer

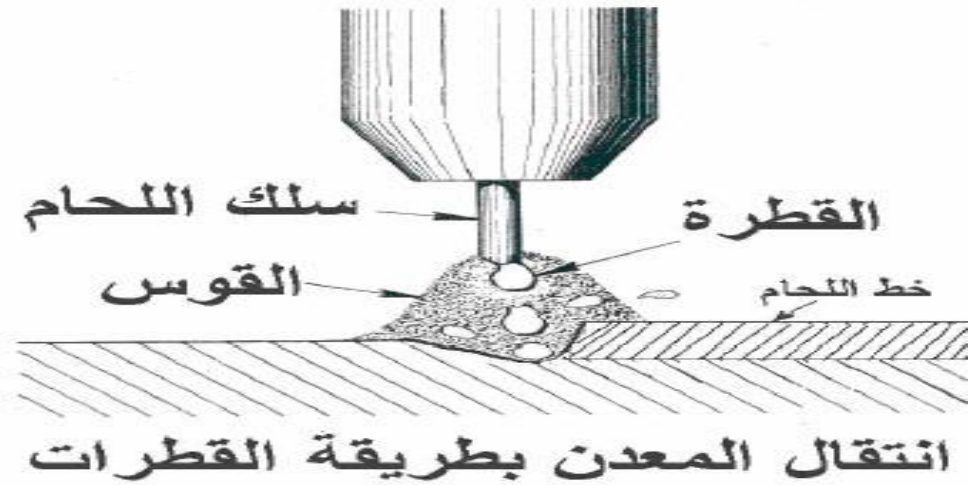
تستخدم للحام الالواح السميكة في الوضع الافقي والسفلي والراسي.ينتقل المعدن في صورة قطرات صغيرة متقاربة . يستخدم فيها شدة تيار وفرق جهد عاليين,يفضل فيها استخدام الارجون او خليط الارجون مع الاوكسجين انظر الشكل (٢٢):



شكل (٢٢) طريقة الرش

ح- طريقة القطرات Pulsed transfer

هي طريقة تجمع بين الطريقتين السابقتين حيث تنصهر مقدمة الالكترود ويتجمع المصهور حيث يصبح قطره اكبر من قطر القطب ثم يسقط كقطرة كبيرة تحدث عند استخدام ثاني اوكسيد الكربون او خليطه مع الارجون كغاز حماية يستخدم فيها تيار نبضي يساهم في استمرار القوس الكهربائي .انظر في الشكل (٢٣)

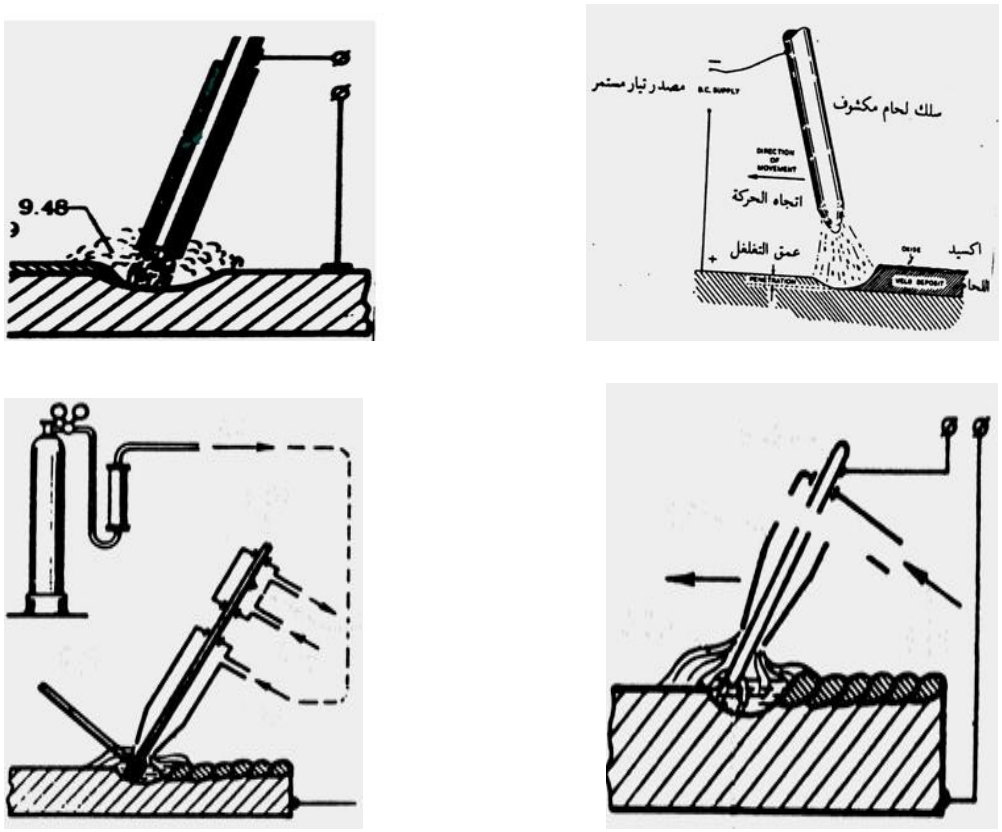


شكل (٢٤) طريقة القطرات

(٤,١,٢) انواع اللحام القوسي Types of arc welding :

الطرق الرئيسية للحام القوس الكهربائي هي:

- اللحام بالكترود عاري Bare electrode ينصهر بدون حماية وقليل الاستخدام.
- اللحام بالكترود تحت حماية المساحيق (يوجد نوعان رئيسان):
  أ- لحام القوس المغلف Shielded arc welding وتنفذ يدويا.
  ب- لحام القوس المغمور Submerged arc welding وتنفذ اليا.
- اللحام بالكترود تحت حماية الغازات الخاملة (يوجد نوعان رئيسيان):
  أ- بالكترود لا ينصهر (يصنع من التنجستن)ويسمى التيج (TIG) وينفذ يدويا واليا.
  ب- بالكترود ينصهر ويسمي لحام القوس المعدني (MIG) وينفذ يدويا واليا.



شكل (٢٥) انواع لحام القوس الكهربائي

(٥,١,٢) مزايا اللحام القوسي : Advantages of arc welding

- لحام كل المعادن الهندسية بسبب توفر حرارة عالية تبلغ ٤٠٠٠ م
- جودة عالية للحام بسبب الحماية بالمساحيق او الغازات الخاملة
- حرارته العالية تمكن من اللحام بسرعة كبيرة مما يضمن انتاجية كبيرة
- عدم الافراط في تسخين موضع اللحام بسبب الحرارة العالية وسرعة اللحام

تقليل مساحة المنطقة المجاورة لحوض اللحام والتي يتعرض معدنها لتغير خصائصه الميكانيكية الى الأسوأ نتيجة الحرارة العالية بسبب تركز القوس

-يمكن تنفيذه اليا بسهولة

- يمكن تعلم مهارته بسرعة

(٦,١,٢) التيار الكهربائي : Electrical current

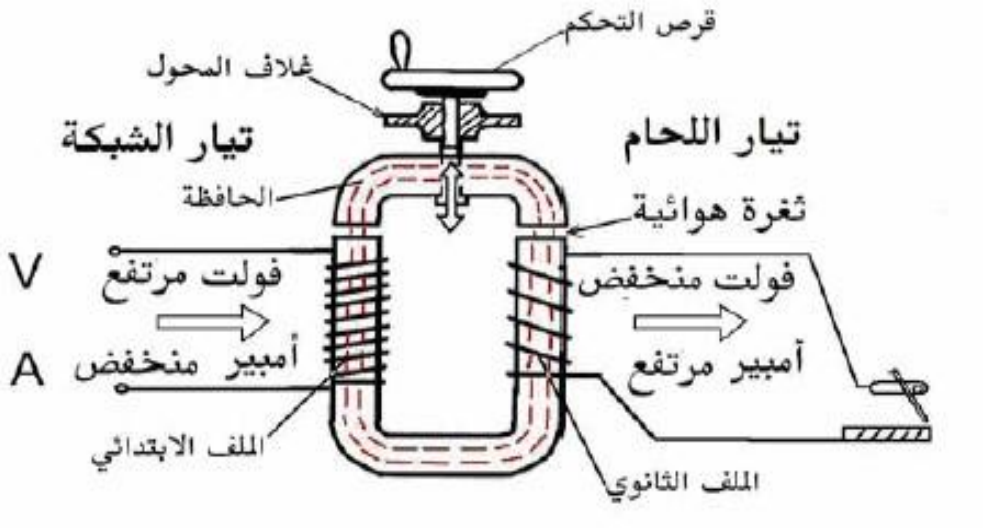
يستخدم في اللحام القوسي التيار المستمر Direct current بقطبية مباشرة او قطبية عكسية.

- يحتاج لطاقة تبلغ ٦٩٠ كيلو جول لايصال الصلب لدرجة انصهاره.
- لحساب كمية الحرارة اللازمة للحام القوسي تستخدم العلاقة التالية

$$\text{Heat input (Kj/s)} = \frac{\text{Current [A]} * \text{ARC Voltage [v]} * ٦٠}{\text{Travel speed [mm/min]} * ١٠٠٠}$$

- للتحكم في كمية الحرارة اللازمة يجب التحكم في شدة التيار,جهد القوس ,سرعة اللحام ,طول القوس ومعدل تغذية الالكترود .

في الشكل (٢٦) يوضح طريقة التحكم في شدة التيار عبر تغيير طول الثغرة الهوائية وتغيير الجهد عبر عدد لفات الملف الثانوي



شكل (٢٦) التحكم في جهد وشدة التيار

(١,٦,١,٢) التيار الكهربائي وقطر الالكترود:

الالكترودات المستخدمة في اللحام اليدوي بحماية المساحيق يكون قطرها ما بين ٢,٥ و ٦,٣ مم . تبعا لقطرها نختار شدة التيار الكهربائي وذلك لضمان انصهارها ولتفادي تفكك المسحوق المغلف
الجدول التالي يوضح ذلك:

قطر الالكترود (مم)	الحد الادنى (امبير)	الحد الاقصى (امبير)
٢,٥	٥٠	٩٠
٣,٢	٦٥	١٣٠
٤	١١٠	١٨٥
٥	١٥٠	٢٥٠
٦	٢٠٠	٣١٥
٦,٣	٢٢٠	٣٥٠

(٢,٦,١,٢) نوعية القطبية Types of Polarity

عند اللحام بتيار مستمر يتم تطبيق طريقتين لتوصيل التيار الكهربائي هما:

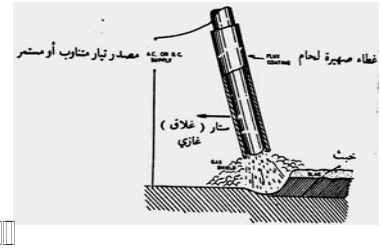
فطبية مباشرة Directpolarity	فطبية عكسية Indirect polarity
- الالكترود يوصل بالسالب(كاثود)	- الالكترود يوصل بالموجب (انود)
- تستخدم للمعادن صعبة الانصهار	- تحقق انتقال هادئ لمصهور الالكترود
- تستخدم للقطع كبيرة السمك	- تضمن انصهار جيد لمسحوق التغليف
- تعطي درزة عميقة وغير عريضة	- تعطي درزة عريضة وغير عميقة
- ثاثي الحرارة مسلط على الالكترود	- ثلث الحرارة مسلط على الالكترود

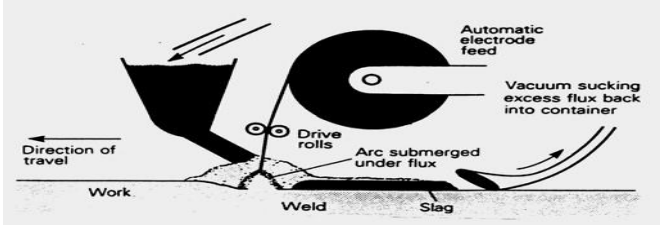
(٢,٢) لحام القوس الكهربائي بحماية المساحيق

(١,٢,٢) مقدمة:

بدا اسخدام المساحيق سنة ١٩١٤ في السويد ثم طبق في بريطانيا وذلك بتغطية سلك اللحام بالاسبتوس والطين ,ثم طور في امريكا وتم استخدام الاسبتوس والقطن والماء الزجاجي (محلول مائي مركز لسليكات الصوديوم او البوتاسيوم .يتيح احتراق القطن توفر غازات مختزلة هي اول اوكسيد الكاربون والهيدروجين .اما سليكات الصوديوم او البوتاسيوم فهي سهلة التاين وبالتالي تعملان على استمرار التفريغ الكهربائي اي استقرار القوس.

ما يميز هذه الطريقة هو استخدام المساحيق للحماية مما يحقق سهولة اللحام من خلال ضمان استقرار القوس الكهربائي عبر توفير مواد سهلة التاين . كذلك حماية للدرزة الساخنة من الاحتكاك بالهواء الجوي كذلك حماية حوض اللحام لمنع دخول الاوكسجين والهيدروجين والنتروجين حيث يكون الاوكسجين اكاسيد تعتبر شوائبا في الدرزة ويتسبب الهيدروجين في حدوث تقصف و مسامات ويتسبب النيتروجين في تكون نتريدات يمكن ان نتج تشققات في الدرزة اللحامية



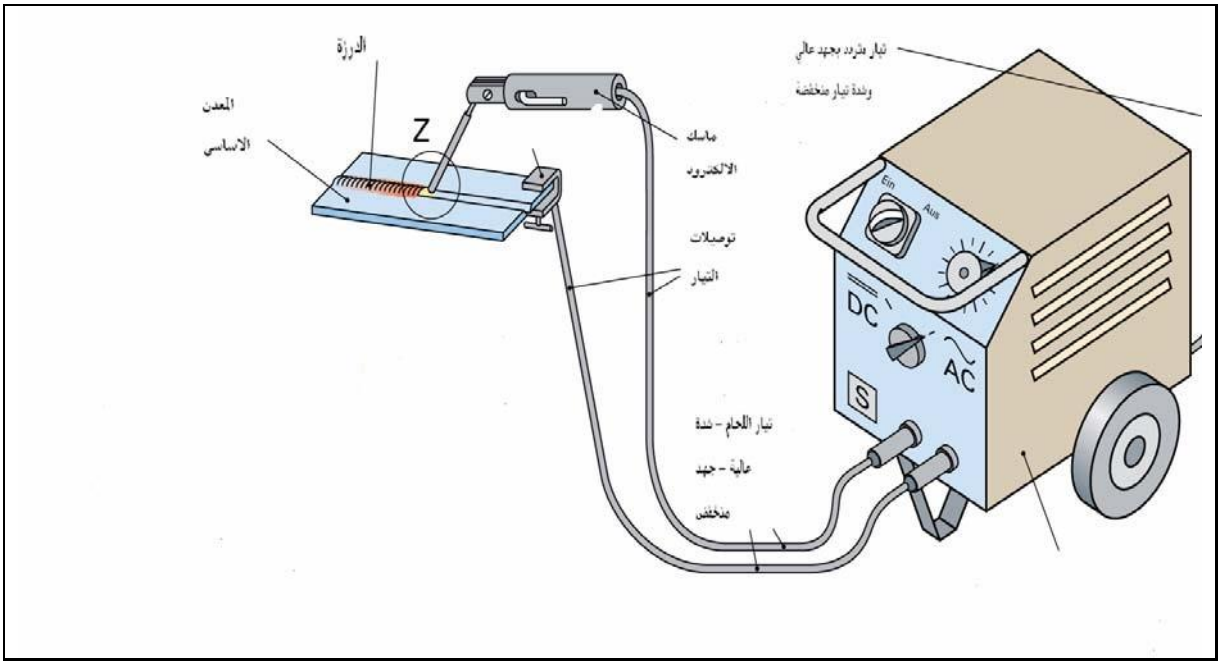


اللحام بالكترود مغلف **اللحام بالالكترود المغمور**

شكل (٢٧) طرق اللحام بحماية المساحيق

(٢,٢,٢) معدات اللحام القوسي بحماية المساحيق:

الشكل (٢٧) يوضح معدات لحام القوس المغلف بحماية المساحيق



F

(٣,٢,٢) مكونات المساحيق الحديثة ومهامها:

تتكون المساحيق من مواد مختلفة لها مهام متنوعة مثل :

- اوكسيد تيتنايوم لضمان استمرار التفريغ الكهربائي على سهولة التاين.
- سيليلوز لتكوين غازات وتمنع وصول الهواء للمصهور
- كاربونات الكالسيوم لتنظيف المصهور من الشوائب والتي تتجمد علي هيئة خبث على السطح مما يمنع وصول الهواء للدرزة
- اوكسيد الحديد لتنظيف المصهور وتحقيق استقرار القوس
- فيرو سيلكون لسحب الاوكسجين من المصهور
- سليكيا لزيادة سيولة الخبث
- فيرو كروم كإضافة سبائكية
- مسحوق حديد لزيادة معدل ترسب الالكترود
- اوكسيد صوديوم كمادة رابطة

- تصنف المساحيق الى اربعة انواع وهي:

- الحامضية Acid coverings وتتكون من اكاسيد وسليكات تعطي لحاما ناعم السطح وخبثا سهل الازالة ولكن اللحام قليل الصلابة .
- السيليلوزية Cellulosic coverings وتتكون من مادة عضوية تحتوي على سليلوز تضمن توفر هيدروجين يضمن حماية اللحام من الاوكسجين ويحقق عمقا كبيرا للحام .يمتاز اللحام بقلة الخبث ولكن تغلغل الهيدروجين في اللحام يقلل من صلابته.
- الروتالية Rutile coverings تكون اساسا من اكاسيد التيتانيوم تضمن توفر قوسا مستقرا وسهل الاستخدام وتضمن كذلك تنظيف الدرزة من الشوائب يعيبها زيادة نسبة الهيدروجين في اللحام .
- القاعدية Basic coverings تتكون اساسا من فلوريد الكالسيوم او كاربونات الكالسيوم وتضمن قلة الهيدروجين ولذلك تستخدم في لحام الصلب عالي الصلابة .

(٤,٢,٢) فوائد مسحوق اللحام :

يضمن وجود مسحوق يغلف الالكترود او يغمر مقدمته توفر الفوائد التالية :
- توليد غازات كناتج للاحتراق تحيط بحوض اللحام وتعزله عن الهواء الجوي مما يمنع تكون الشقوق والمسامات بسبب الهيدروجين والاوكسجين والنتروجين .
- ضمان تاين منطقة جذع القوس مما يضمن استقرار القوس اي استمرار التفريغ.
- تنظيف مصهور حوض اللحام من الشوائب واخراجها الى السطح في صورة خبث.
- وجود الخبث يضمن عزل الدرزة الساخنة عن الهواء الجوي ويوفر تبرد بطيء.

(٥,٢,٢) رمز الالكترود :

لكثرة انواع مكونات المساحيق وتشابه مظهرها الخارجي يتم وضع رموز لهذه الالكترودات تبعا للمواصفات القياسية لمختلف الدول الصناعية .
حسب جمعية اللحام الامريكية American welding society (AWS) يستخدم رمز يتكون من حرف وارقام ,تكتب على غلاف عبوة الاقطاب وكذلك على غلاف كل قطب .هذه الحروف والارقام لها معاني محددة فمثلا الرمز E – ٦٠١٠ المستخدم لوصف الاقطاب المستخدمة في لحام الصلب الكربوني معناه هو :
- E : الكترود يستعمل في اللحام بالقوس الكهربائي
- ٦٠ : مقاومة الشد للدرزة ٦٠٠٠٠ رطل للبوصة المربعة (٤٢٠ N.M)
- ١ : الكترود يصلح لكافة اوضاع اللحام (في حالة ٢ يصلح للوضع السفلي والافقي وفي حالة ٣ يصلح للوضع الافقي فقط)
- ٠: مسحوق غني بالسيليوز ,يستخدم مع تيار مستمر وبقطبية عكسية
- في حالة وجود رقم ١ بدلا عن صفر فهي كسوة غنية بالسيليوز تستخدم مع تيار متردد او مستمر بقطبية عكسية او مباشرة.

- في حالة وجود رقم ٢ فهي كسوة غنية بالتيتانيا (اكسيد التيتانيوم) للتيار مستمر بقطبية مباشرة .
- عند وجود رقم ٥ فهي كسوة منخفضة الهيدروجين للتيار المستمر بقطبية عكسية
- وجود رقم ٦ يعني كسوة منخفضة الهيدروجين للتيار المستمر والمتردد بقطبية عكسية
- في حالة وجود رقم ٧ فهي كسوة تحتوي على مسحوق الحديد لاعطاء ترسيب كبير
- في حالة وجود رقم ٨ فهي كسوة تحتوي على مسحوق الحديد والتيتانيا مع انخفاض الهيدروجين تضمن توفير ترسيب كبير وسهولة ازالة الخبث

اما بالنسبة لاقطاب لحام الصلب السبائكي تستخدم الرموز السابقة مع اضافة حروف مثل A١,B١,B٢,... وتعني هذه الحروف نوعية العناصر السبائكية المضافة بالكسوة

ملاحظة:

ينصح بحفظ الالكترودا المغطاة بمساحيق في جو جاف خال من الرطوبة .وفي حالة تعرضها للرطوبة يجب تجفيفها بهواء جاف متجدد في درجة حرارة تتراوح بين ٢٠٠, ١١٠ درجة مئوية لمدة ١٠الى ٦٠ دقيقة.

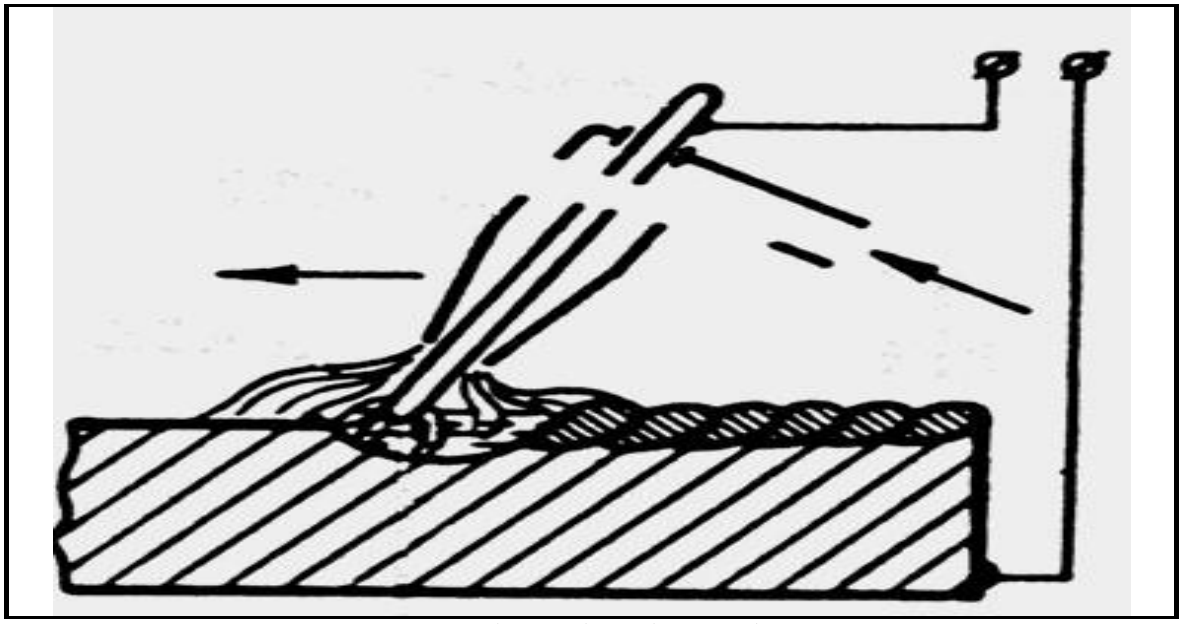
(٣,٢) لحام القوس المعدني بحماية الغازات الخاملة Metal Inert gas arc Welding (MIG)

اخترعت الحماية بالغازات الخاملة مثل الارجون والهيليوم في عام ١٩٢٠ وطورت في عام ١٩٥٠.. تطبق فيها طريقتان :

- الاولى هي طريقة لحام ال MIG والتي يكون فيها الالكترود هو مصدر الحرارة وكذلك كمادة حشو
- والطريقة الثانية هي لحام ال TIG وفيه يستخدم الكترود من مادة التنجستن ذات درجة الانصهار العالية (٢٤٠٠ درجة مئوية) يكون مصدرا للحرارة فقط وبالتالي يجب ان يتوفر سلك حشو مستقل

(١,٣,٢) فكرة لحام القوس المعدني

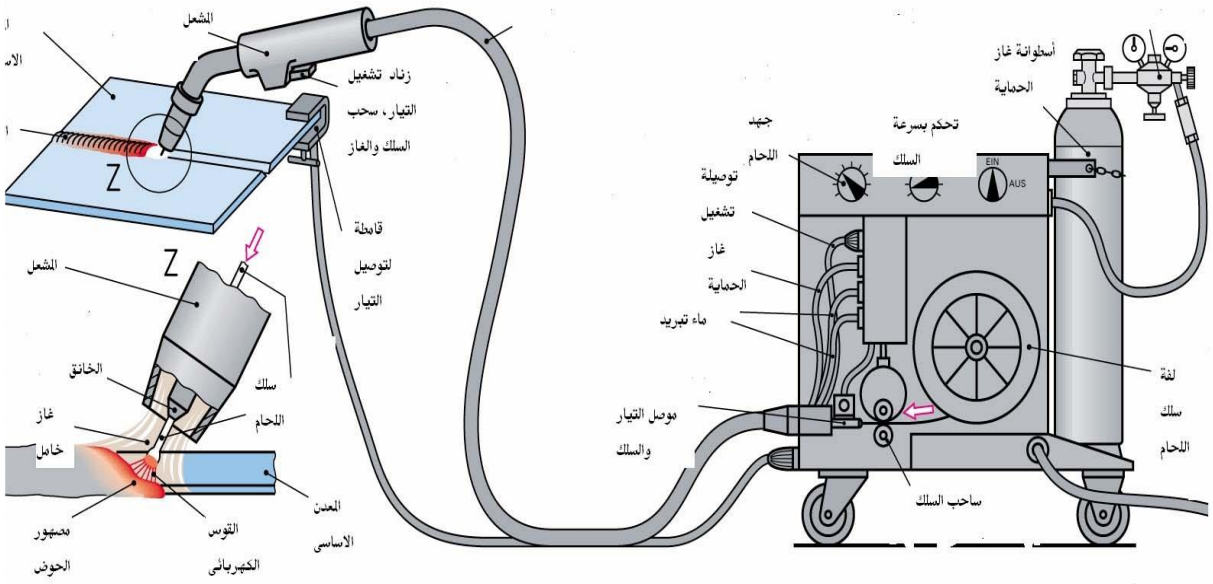
الشكل (٢٨) يوضح طريقة لحام القوس المعدني ال MIG . لا تختلف فكرة هذا النوع عن لحام القوس الكهربائي بحماية المساحيق سوى في ان الحماية هنا تتم بغاز خامل (هليوم او أرجون او خليط منهما) والالكترود عبارة عن سلك عاري ويسحب من لفة كبيرة تتيح تنفيذ اللحام اليا .يحدث القوس الكهربائي بين مقدمة السلك والمعدن الاساسي ويضمن غاز الحماية الخامل استقرار القوس عبر سرعة تاينه كما انه يعزل مصهور حوض اللحام عن الهواء الجوي .... يراعي في هذا اللحام الذي ينفذ اليا تناسق سرعة سحب سلك اللحام عبر جهاز التغذية وبين معدل انصهار مقدمته..في حالة السرعة القليلة يتناقص الالكترود وتزيد مسافة جذع القوس مما يؤدي لانطفاء القوس .وفي حالة السرعة الاكبر من معدل انصهار مقدمة السلك,يحدث تلامس بين السلك والمعدن الاساسي وينطفى القوس كذلك.



شكل (٢٨) لحام القوس المعدني

(٢,٣,٢) معدات لحام القوس المعدني MIG – Equipment

الشكل (٢٩) يوضح المعدات المستخدمة في اللحام القوسي بحماية الغازات الخاملة.



- **ماكينة اللحام:**

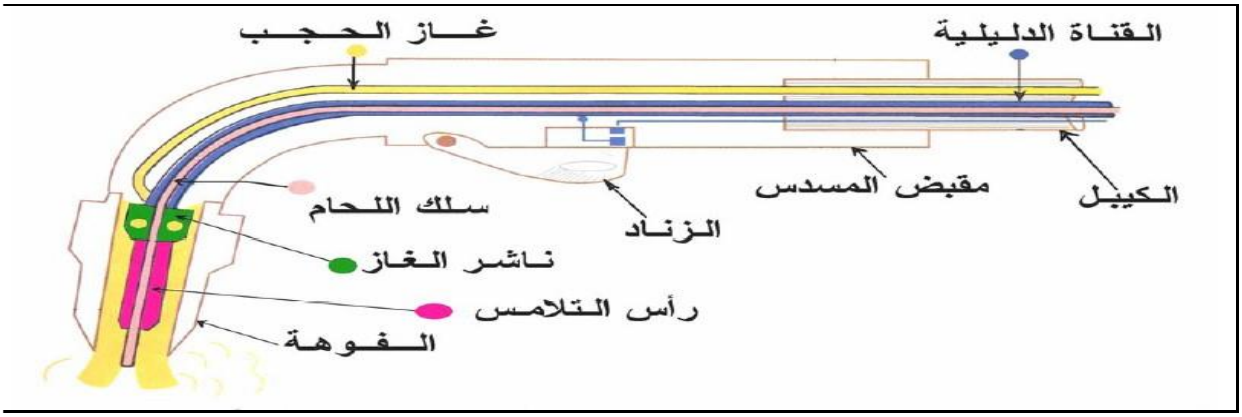
هي ماكينة تعطي تيارا مستمرا ذو جهد ثابت .يحبذ استخدام القطبية العكسية وذلك لتوفيرها ترسيبا عاليا وتنظيفا جيدا للمعدن واستقرارا للقوس .الماكينة عبارة عن محول يغير الجهد وشدة التيار ومقوم للتيار يحوله من متردد الى مستمر.

- **جهاز التغذية :**

جهاز يستخدم لسحب سلك اللحام (الالكترود)بسرعة تناسب معدل انصهار مقدمته .يستخدم الجهاز في تنفيذ اللحام الالي

- **مسدس اللحام :**

الشكل (٣٠) يوضح الأجزاء الذي يتكون منه مسدس اللحام وتشمل موصلات الغاز , التيار, ماء التبريد ,سلك اللحام , الخانق ,ناشر الغاز والفوهة.



- **الفوهة :**

تصنع من النحاس الأحمر لأنه يقاوم التأكسد ومهمتها هي توجيه القوس الكهربائي وغاز الحماية إلى منطقة حوض اللحام ,يجب المحافظة عليها نظيفة دائما.

- **راس التلامس :**

تصنع من النحاس الأحمر ومهمتها توصيل التيار الكهربائي إلى مقدمة سلك اللحام حيث قطرها الداخلي يساوي قطر سلك اللحام.

- **ناشر الغاز:**

يصنع من النحاس ويضمن إحاطة القوس بالغاز الخامل من جميع الجهات بسبب تواجد فتحات متعددة على محيطه .الشكل (٣١) المبين في أدناه يوضح الفوهة ,راس التلامس وناشر الغاز.

- **القناة الدليلية :**

تصنع من البلاستيك وتقوم بتوجيه سلك اللحام من جهاز التغذية الى راس التلامس.

- **المقبض:**

يصنع من البلاستيك لخفة وزنه ولعزله الجيد للكهرباء.

- **الزناد :**

مهمته توصيل وفصل التيار عن سلك اللحام.

- **وحدة الغاز :**

وتتكون من اسطوانة ,منظم بساعتي قراءة لتوضيح ضغط الاسطوانة وضغط التشغيل وخرطوم لتوصيل الغاز لجهاز التغذية ومنه للمسدس.

(٣,٣,٢) الغازات الخاملة Inert gases

- الغاز الخامل هو غاز المدار الخارجي لذرته متشبع فلذا لا يعطي ولا يأخذ إلكترون مما يعني انه لا يتفاعل كيميائيا مع أي عنصر تحت أي ظروف
- يوجد خمسة غازات خاملة وهي الهيليوم ,النيون ,الزينون ,الارجون والكريبتون .يستخدم منها في عمليات اللحام غازي الهليوم والارجون.

- **تتعدد فوائد الحماية بالغاز الخامل وتشمل :**
  - عزل حوض اللحام عن الهواء الجوي
  - تحافظ الغازات الخاملة على استقرار القوس بسبب تاين غازي الهليوم والارجون بسهولة
  - تنظيف سطح حوض اللحام من الاكاسيد بالأخص عند لحام الألمنيوم والمغنيسيوم.

- **مقارنة بين غاز الارجون وغاز الهيليوم:**

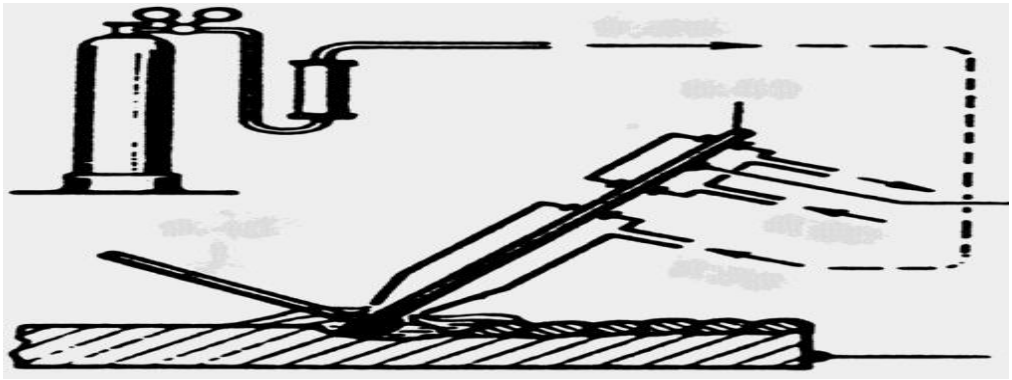
هيليوم	ارجـــــون
سرعة اعلى للحام	سرعة اقل
اختراق اكبر	درزة اعرض
يصعب معه بداية القوس	يسهل بداية القوس
تنظيف اقل لسطح المعدن	- تنظيف أفضل
اقل تحقيقا لاستقرار القوس	استقرار أفضل للقوس
مخروط القوس مشتت	مخروط القوس اقل تشتتا
يحتاج لجهد اعلى	يحتاج لجهد اقل
يحتاج لمعدل تدفق اكبر	معدل تدفق اقل
تكلفته اعلى	تكلفته اقل

- يمكن استخدام خليط من الغازين للحصول على مزايا كلا منهما .كما يمكن إضافة أوكسجين في حدود ٥٪ لخليطهما لتنظيف الدرزة من الشوائب.

(٤,٢) لحام القوس الكهربائى بقطب تنجستن Tungsten inert gas arc welding

(١,٤,٢) فكرة اللحام

الشكل (٣٢) يوضح هذه الطريقة من اللحام القوسي حيث يستخدم قطب من مادة التنجستن ذات درجة الانصهار العالية (٣٤٠٠ درجة مئوية)ليكون مصدرا للحرارة فقط ولذا يجب توفر مادة حشو.ينصهر سلك الحشو تحت تأثير الحرارة العالية للقوس المتكون بين قطب التنجستن والمعدن الاساسي.

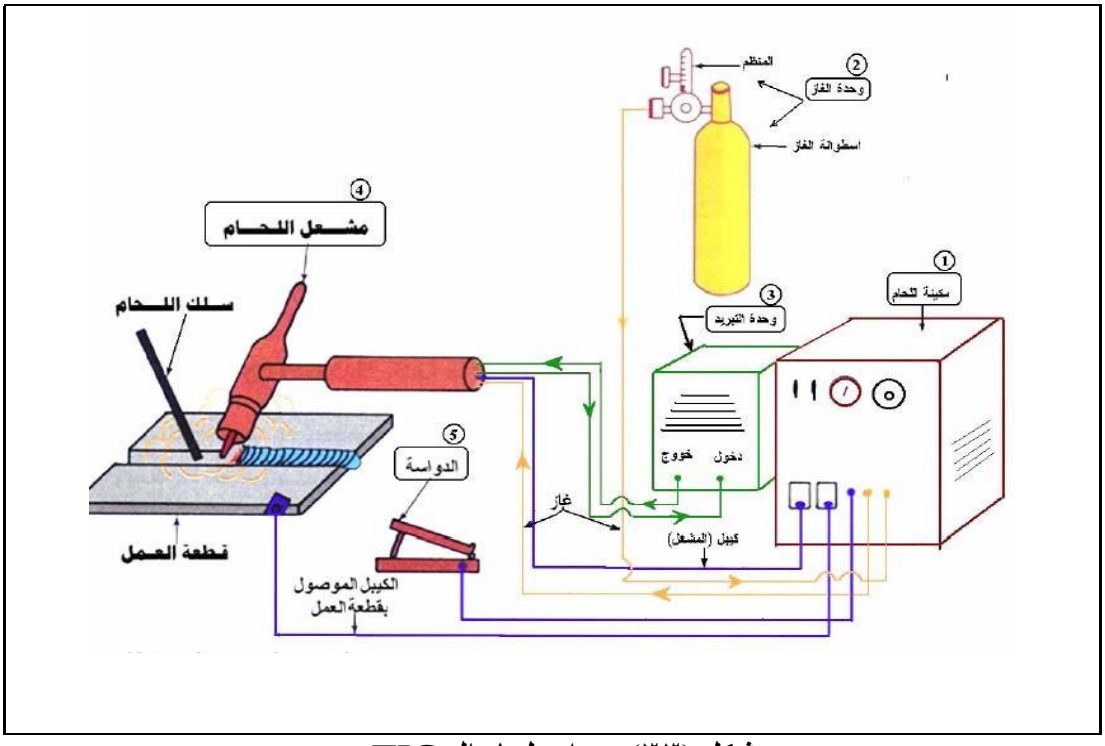


الشكل (٣٢) اللحام القوسي بقطب تنجستن

- يراعي في لحام ال TIG استخدام قطبية مباشرة (الكترود سالب) وذلك لضمان تسليط حرارة اكبر على حوض اللحام وتقليلها على الالكترود حماية للتنجستن من اي تفتت وكذلك يراعي في حالة استخدام تيار كهربائي عالي (اعلى من تفتت وكذلك يراعي في حالة استخدام تيار كهربائي عالي (اعلى من ٢٠٠امبير)حماية الالكترود عبر التبريد بالماء .
- لضمان استقرار القوس تمكن ماكنات اللحام بتيار متردد من العمل بتردد مرتفع (High frequency)

(٢,٤,٢) معدات لحام ال TIG

تستخدم في هذه الطريقة معدات شبيهة بالمعدات المستخدمة في لحام ال MIG مع اختلاف بسيط وهو عدم الحاجة لجهاز تغذية للسلك في حالة اللحام اليدوي .الشكل (٣٣) يوضح المعدات المستخدمة في هذا النوع من اللحام.



شكل (٣٣) معدات لحام ال TIG

- وحدة التبريد هي مبرد كهربائي للماء المرسل والراجع من المشعل .يخرج الماء المبرد منها ويمر بماكينة اللحام لكي يتم التحكم في مرور الماء وإيقافه من المشعل وكذلك لتبريد السلك الحامل للتيار الكهربائي من الماكينة للمشعل.

(٣,٤,٢) طرق تنفيذ لحام ال TIG

يتم تنفيذ لحام التنجستن بثلاث طرق تتناسب مع كمية اللحام المطلوبة وهي :

(أ) اللحام اليدوي

ويستخدم في حالة أعمال الإصلاح والقطع المطلوبة بأعداد قليلة وفيه يحرك العامل المشعل وسلك اللحام . الشكل (٣٤) يوضح هذه الطريقة.

الشكل (٣٤) لحام TIG يدوي

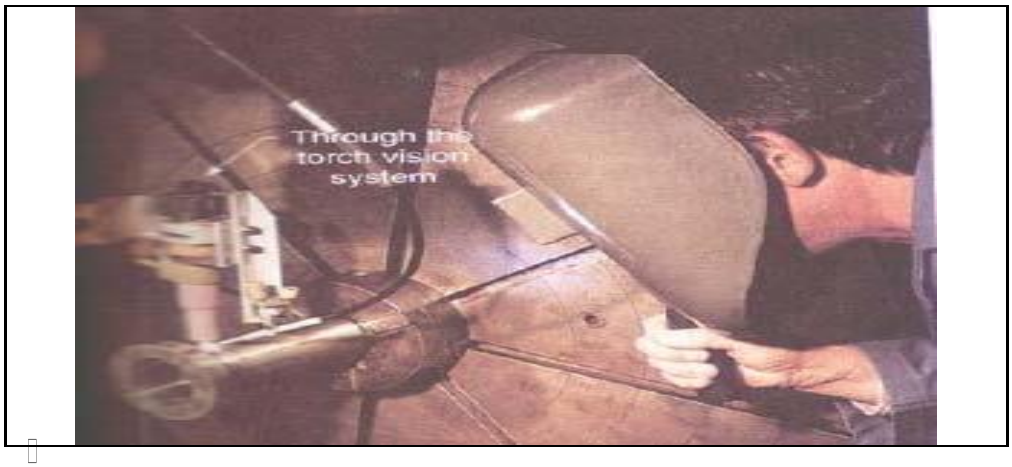
(ب) اللحام شبه الآلي

وفيه يحرك العامل المشعل والذي يحمل جهاز تغذية صغير لسلك اللحام .تمكن هذه الطريقة من تنفيذ لحام قطع مطلوبة بدفع صغيرة ومتوسطة .الشكل (٣٥) يوضح هذه الطريقة.

شكل (٣٥) لحام TIG شبه الي

(ج) لحام TIG الي

فيه يقوم العامل فقط بمراقبة العملية حيث يتم تحريك المشعل وتغذية سلك اللحام اليا .تستخدم هذه الطريقة في الإنتاج بأعداد كبيرة.الشكل (٣٦) يوضح الطريقة



شكل (٣٦) لحام TIG ألي

(٤,٤,٢) الكترودات التنجستن:

تتراوح اقطار الكترودات التنجستن بين ١,٥- ٤,٥ مم وتصنع من التنجستن النقي او سبيكة من التنجستن والثوريوم ١-٢ % او الزركونيوم بنسب ضئيلة .تتعدد مهام العناصر السبائكية ويمكن حصرها فيما يلي :

- تحمل القطب للتيار العالي.
- ضمان انبعاث الكتروني جيد.
- حفظ الفوهة باردة .
- تقليل انحراف القوس لطرف الالكترود.
- تسهيل بداية القوس.
- تقليل انتقال التنجستن الى المعدن عند لمسه.

- تستخدم أقطاب سبيكة الثوريوم في اللحام بتيار مستمر بقطبية مستقيمة للحام الصلب المقاوم للصدأ , الصلب المقاوم للحرارة , الصلب منخفض السبائك ,النحاس,النيكل والتيتانيوم. بينما تحبذ سبيكة الزركونيوم للحام بتيار متردد للحام الألمنيوم وسبائكه لأنها تحسن من خصائص القوس الكهربائي .

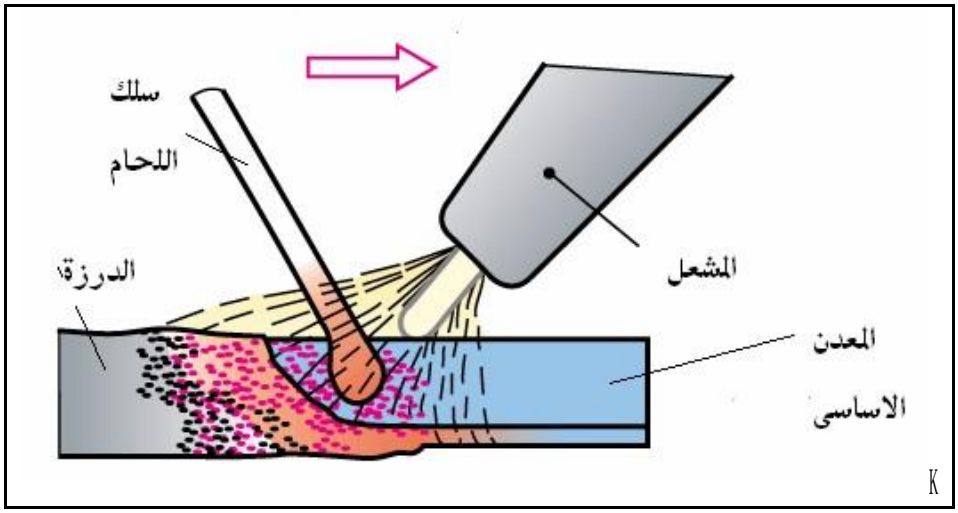
يتم تجليخ مقدمة القطب لتركيز القوس عبر خلق مقدمة مخروطية حادة الطرف.

الفصل الثالث

(٣) اللحام الغازي Gas Welding

(١,٣)فكرة اللحام الغازي

مصدر الحرارة بهذا اللحام هو احتراق خليط مكون من غاز و أوكسجين .يسلط اللهب على حوض اللحام (weld pool) وسلك اللحام (filler) مما يؤدي لانصهار حواف الحوض ومقدمة السلك.عند إبعاد اللهب يمتزج المصهوران وتتكون الدرزة (Bead) عند التجمد.
الشكل (٣٧) يوضح فكرة اللحام الغازي (الاوكسي استيلين)



شكل (٣٧) اللحام الغازي (الأوكسي استيلين)

(٢,٣) الغازات المستخدمة

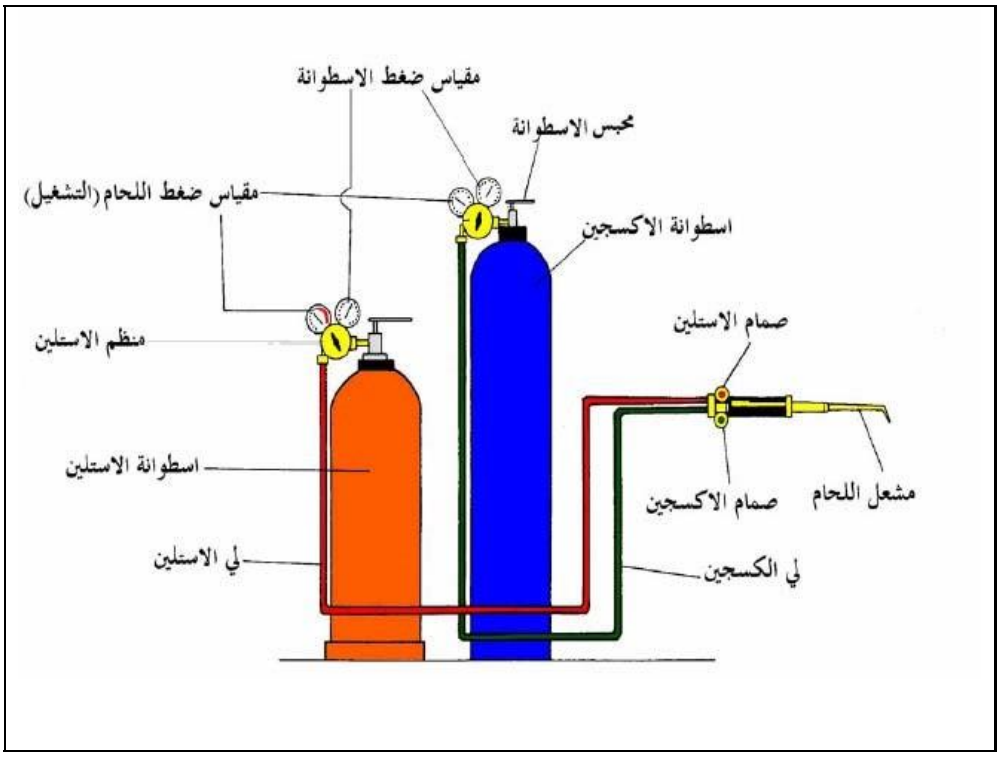
تستخدم مع الاوكسجين غازات عديدة للحام مثل :

الغاز	درجة الحرارة د.م	الغاز	درجة الحرارة د.م
الميثان CH_4	٢٥٣٨	البروبان C_3H_8	٢٥٢٦
البروبلين C_3H_4	٢٩٠٠	هيدروجين H_2I	٢٦٥٠
ايثيلين C_2H_4	٢٩٢٧	الاستيلين C_2H_2	٣٠٨٧

- يتضح من القائمة ان الاستيلين يعطي عند احتراقه مع الاوكسجين اعلى درجة حرارة ولذا فهو الاكثر استخداما .اكتشف عام ١٨١٥م من قبل العالم سير همفري وتم استخدامه تجاريا في عام ١٨٩٢م .ينتج الاسيتيلين عبر اضافة الماء لكاربيد الكالسيوم او العكس في مولدات خاصة.

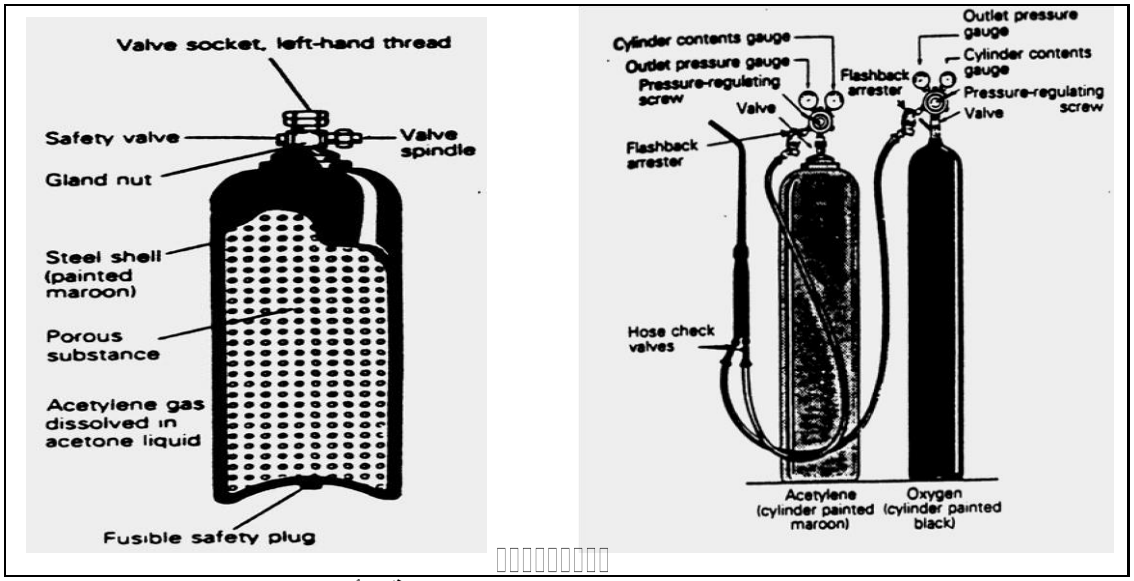
(٣,٣) معدات الحام الغازي Gas Welding Equipment

الشكل (٣٨) يوضح معدات لحام الاوكسي اسيتيلين والتي تشمل اسطوانة الاوكسجين واسطوانة الاسيتسلين وخراطيم ومنظمات الضغط والمشعل.



شكل (٣٨) معدات لحام الاوكسي اسيتيلين

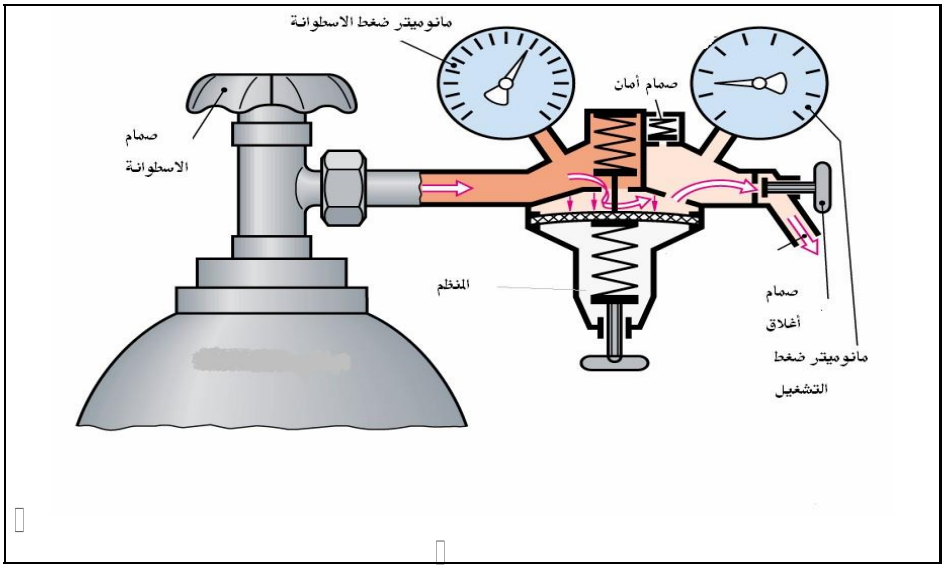
(١,٣,٣) الاسطوانات Cylinders:



شكل (٣٩) الاسطوانات وتفاصيل اسطوانة الأسيتيلين

(٢,٣,٣) مقاييس الضغط pressure gauge:

يوجد على قمة المنظم مقياسين للضغط ,احدهما يوضح الضغط بالاسطوانة والاخر يوضح ضغط التشغيل .انظر الشكل (٤٠)



شكل (٤٠) مقاييس الضغط والمنظم

(٣,٣,٣) المنظم Regulator:

مهمته تخفيض الضغط من ضغط الاسطوانة لضغط التشغيل .

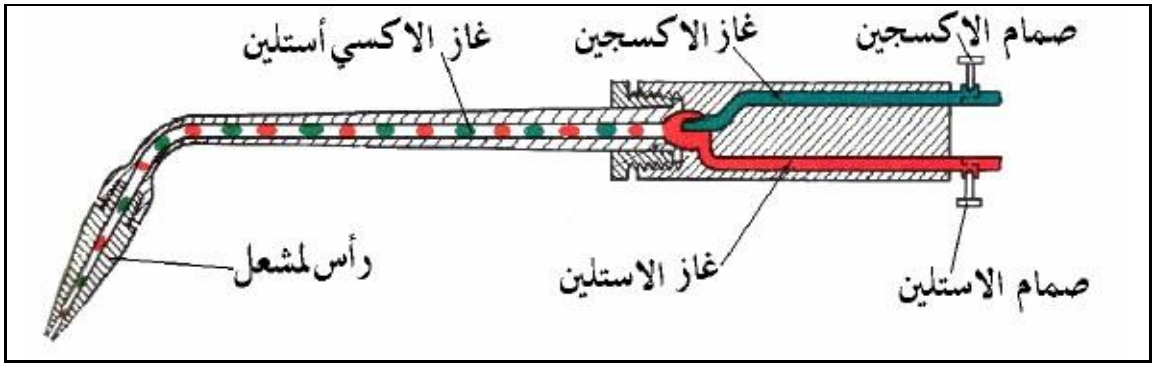
(٤,٣,٣) صمام الامان Safety Valve:

ومهمته هو ضمان خروج الغاز عند اندلاع حريق مثلا ,لتفادي انفجار الاسطوانة وذلك لان درجة انصهاره اقل من درجة انصهار مادة الاسطوانة وتبلغ ١٥٠ درجة مئوية.

(٥,٣,٣) المشعل Torch:

يصنع من النحاس لمقاومته للتآكل ومهمته هي توفير اللهب المناسب من خلال غرفة بداخله يختلط فيها الغازان.ويشكل مقبضا لتوجيه اللهب .توجد مشاعل بمقاسات مختلفة تبعا لسمك المعدن الاساسي (base metal) المراد لحامه من (٠,٢- ٣٠ مم) .يمكن تغيير مقدمة المشعل (الفوهة) المثبتة بلولب .

الشكل (٤١) يوضح تفاصيل المشعل

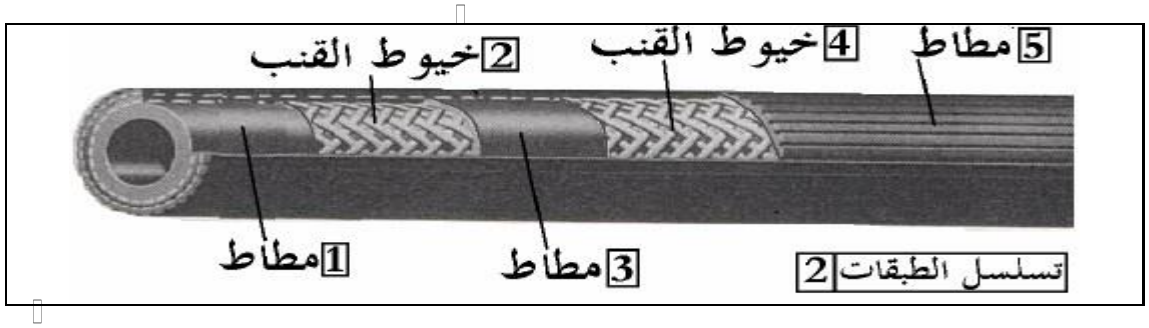


F F

شكل (٤١) المشعل

(٦,٣,٣) الخراطيم Hoses:

تصنع من المطاط المقوى بخيوط القنب.ومهمتها توصيل الغاز من الاسطوانة للمشعل .يميز خرطوم الاوكسجين باللون الاخضر او الازرق وخرطوم الأسيتيلين باللون الاحمر .ويشترط ان تكون اطول من ٥ امتار .يجب العامل الحذر مع الخراطيم لمنع تلفها والتأكد دائما من عدم وجود تسريب منها وذلك باستخدام رغوة صابون . الشكل (٤٢) يوضح الخرطوم

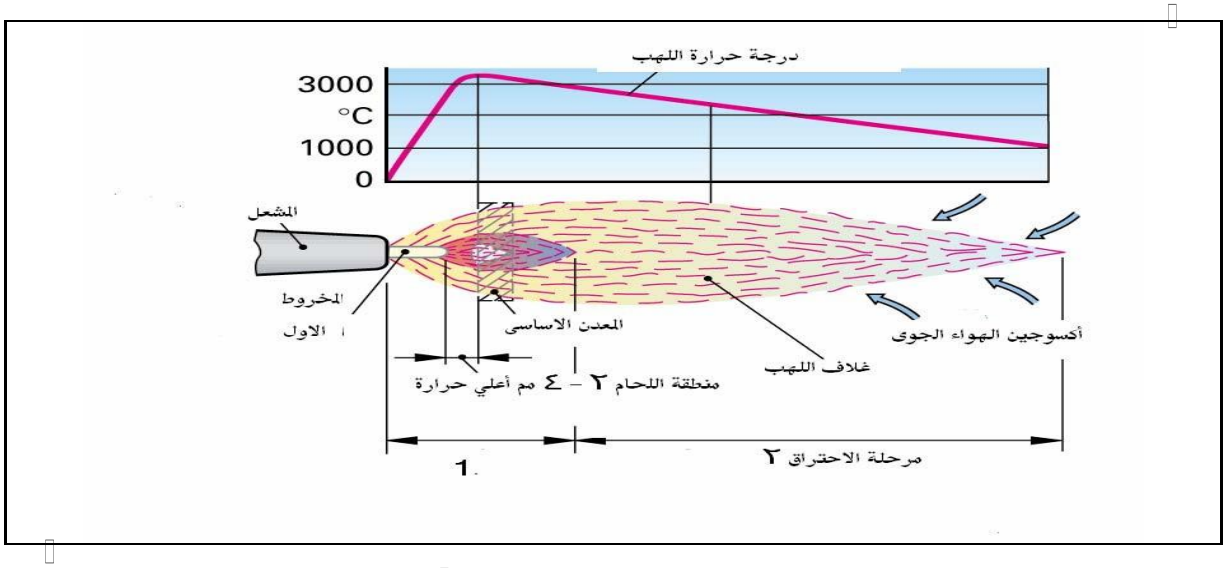


W E F

شكل (٤٢) الخرطوم وجزء التركيب

(٤،٣) انواع اللهب Flame types:

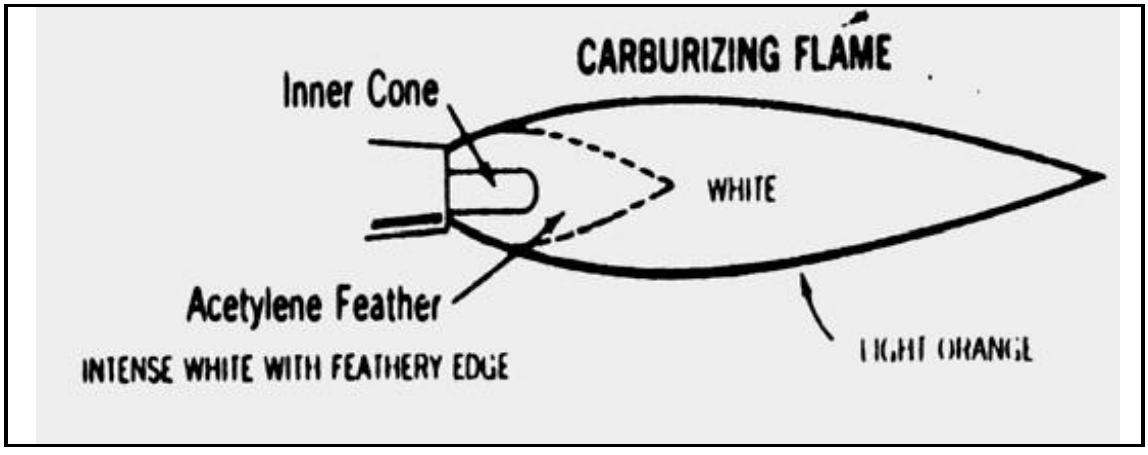
يتكون اللهب من مخروطين او ثلاثة تبعا لنسبة خلط الغازين .تبلغ درجة الحرارة في المخروط الاول ١٠٠٠ درجة مئوية وعند بداية المخروط الثاني ٣٠٠٠ درجة مئوية وعند نهايته ٢٥٠٠ درجة مئوية وفي مركز اللهب الامامي ١٨٠٠ درجة مئوية . يحبذ تسليط المنطقة ذات الحرارة القصوى على سلك اللحام وعلى حوض اللحام لضمان سرعة الصهر.الشكل (٤٣) يوضح لهب اللحام.



شكل (٤٣) لهب اللحام

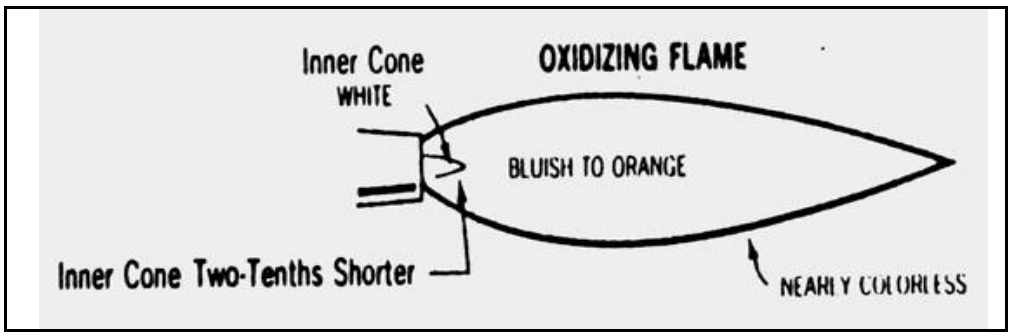
تتغير نسبة الأسيتيلين للأوكسجين وذلك تبعا لنوع المعدن المراد لحامه.توجد ثلاثة انواع من اللهب وهي

- **المكربن Carburizing flame**: وفيه نسبة الأسيتيلين هي الاكبر ويستخدم للحام المعادن سهلة التأكسد.



شكل (٤٤) اللهب المكربن

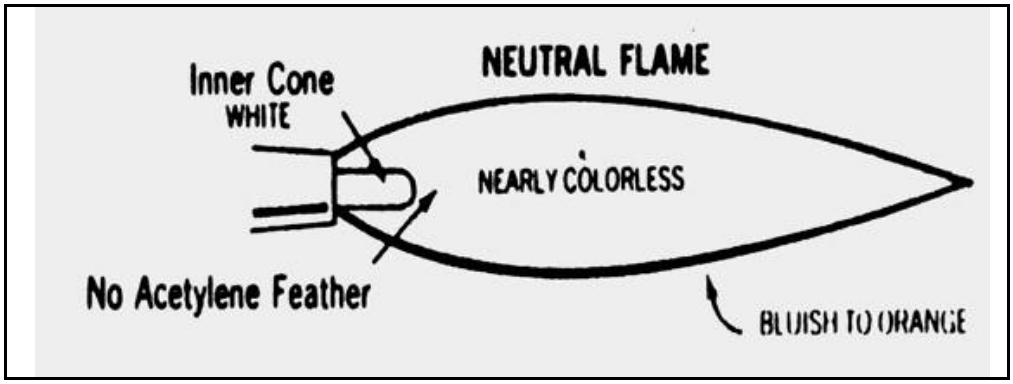
- **المؤكسد Oxidizing flame :** وفيه نسبة الاوكسجين هي الاكبر ويوفر حرارة اعلى ويستخدم للحام المواد التي تتطلب حرارة عالية.



WE F

شكل (٤٥) اللهب المؤكسد

- **المتعادل Neutral flame :** وفيه تتساوى نسبة الاوكسجين والأسيتيلين ويحبذ استخدامه في اللحام.



F

شكل (٤٦) اللهب المتعادل

الفصل الرابع

(٤) طرق لحام اخرى

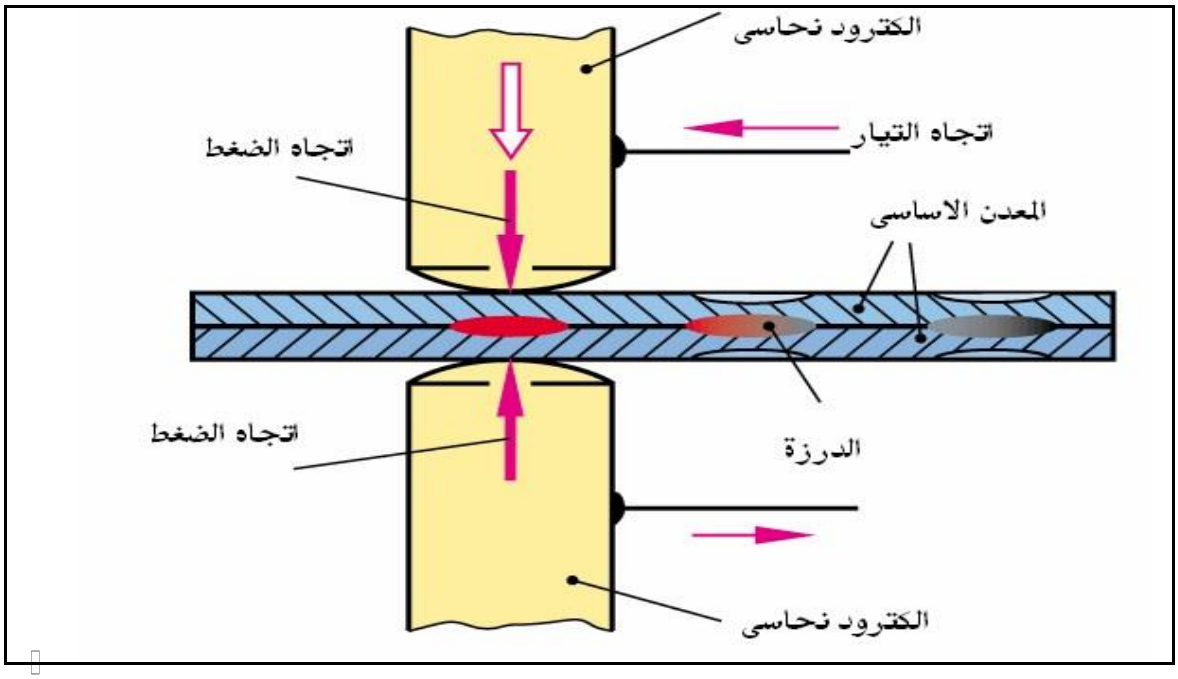
(١,٤) لحام المقاومة الكهربائية Resistance Welding

تنتج الحرارة فيها عبر المقاومة الكهربائية للثغرة بين الجزئين المتلامسين في منطقة التلاحم .يستخدم فيه جهد من ٤ الى ٢٥ فولت وشدة تيار عالية من ١٠٠ الى ٦٥٠٠٠ امبير والتي تستخدم في اللحام الومضي ,احد انواع لحام المقاومة الكهربائية.

يستخدم في لحام هياكل من الصفيح ولحام الصفائح الرقيقة جدا ولحام القطع الدائرية او مربعة المقطع تناكبيا.

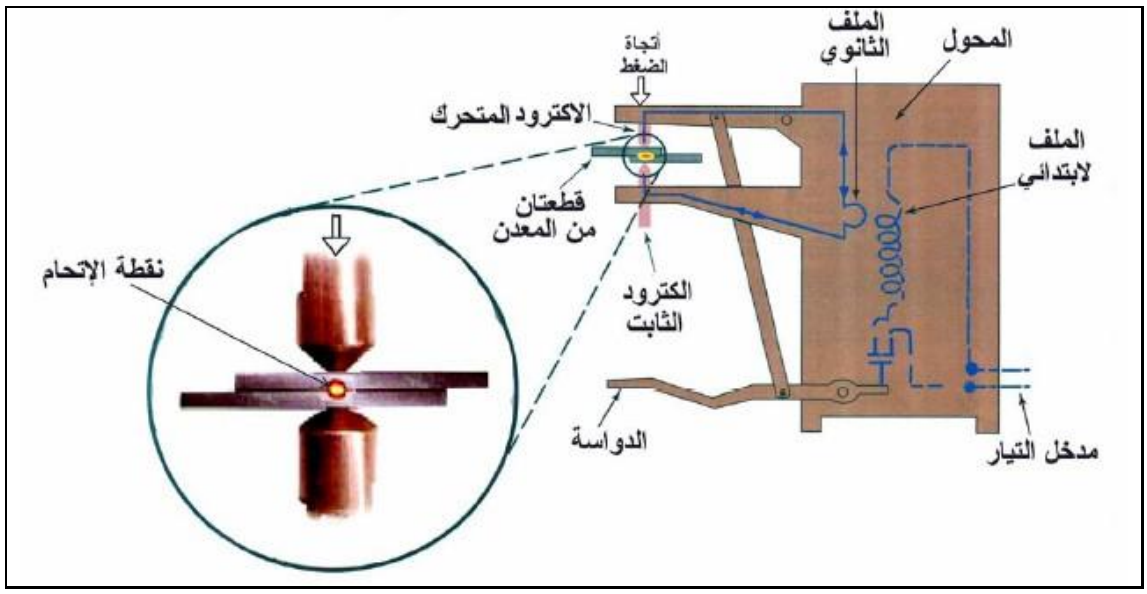
(١,١,٤) فكرة اللحام:

عند ضغط القطعتين المراد لحامهما بالاكترودين النحاسيين ,يمر التيار الكهربائي المستمر خلال المعدن الاساسي ويلاقي اكبر مقاومة من الهواء الموجود عند الحد الفاصل بين القطعتين والناتج من عدم التصاقهما تماما وينتج عن ذلك تولد حرارة عالية تؤدي لتعجن المعدن .يتم يتم الان فصل التيار الكهربائي ثم يضغط بالالكترودين في اتجاهين متضادين مما يؤدي لحدوث تلاحم في المنطقة المتعجنة. الشكل (٤٧) يوضح فكرة لحام المقاومة الكهربائية



شكل (٤٧) فكرة لحام المقاومة الكهربائية

- المعدات المستخدمة في لحام المقاومة الكهربائية يوضحها الشكل (٤٨) .حيث يتيح المحول تغيير الجهد وشدة التيار والدواسة تتيح توفير الضغط المناسب للتلاحم.يجب تبريد الكترودات اللحام النحاسية بالماء.

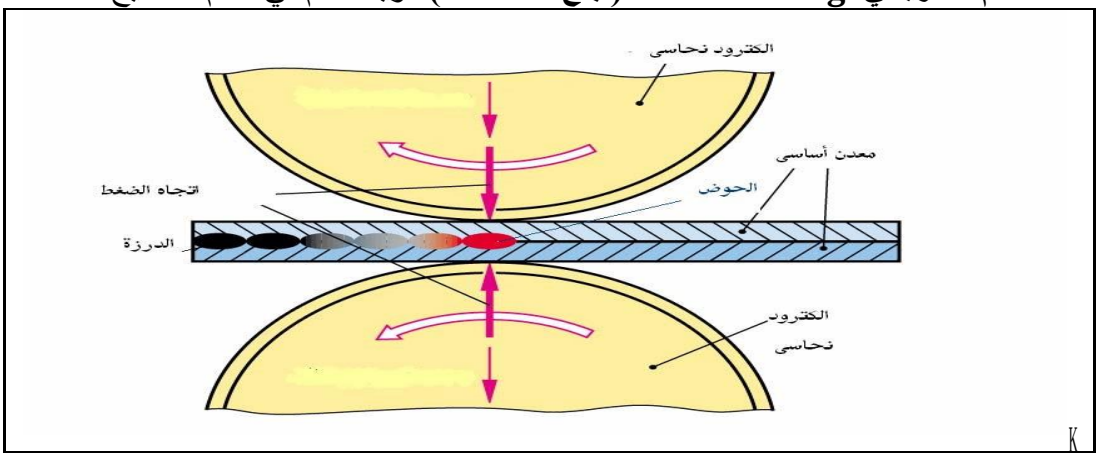


شكل (٤٨) معدات لحام المقاومة الكهربائية

(٢,١,٤) انواع لحام المقاومة الكهربائية:

اضافة للحام البقعة توجد ثلاثة انواع اخرى توضحها الاشكال (٤٩) و(٥٠) و (٥١)وهي :

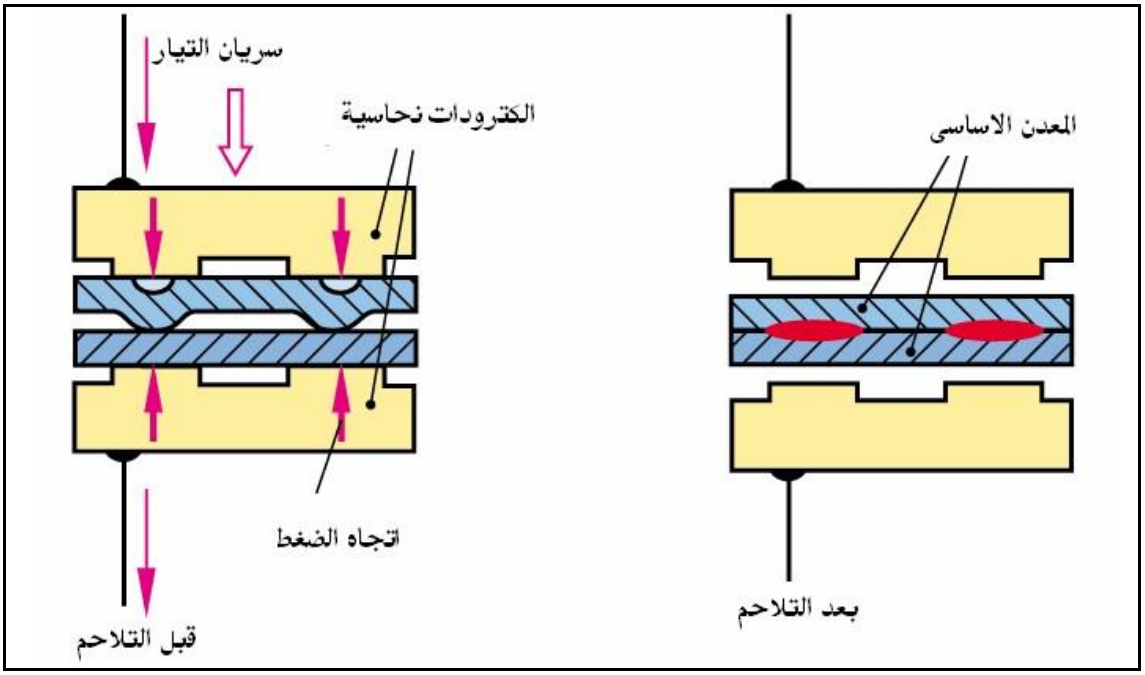
- **اللحام الشريطي Seam welding(بقع متلاصقة) :**ويستخدم في لحام الصفيح.



F

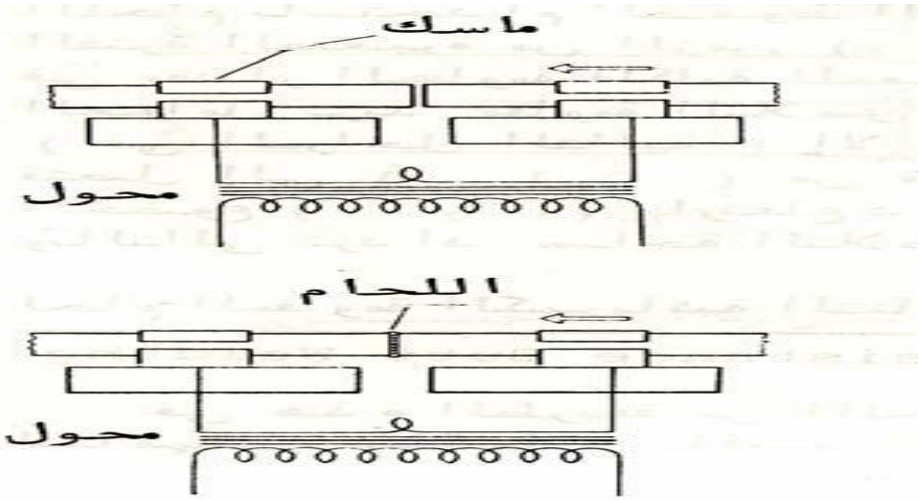
شكل (٤٩) اللحام الشريطي

- **لحام المقاومة الاسقاطي Projection resistance welding :** حيث يتلائم شكل الالكترود مع شكل الجزء المراد لحامه



شكل (٥٠) لحام مقاومة اسقاطي

- **اللحام الومضي Flash welding :** حيث تستخدم شدة تيار عالية (٦٥٠٠٠ امبير) عند تلامس الجزئين تنتج حرارة عالية تؤدي لتعجن كامل لسطح التلامس.عند الضغط المتعاكس يحدث التلاحم لكامل السطحين المتقابلين.



شكل (٥١) اللحام الومضي

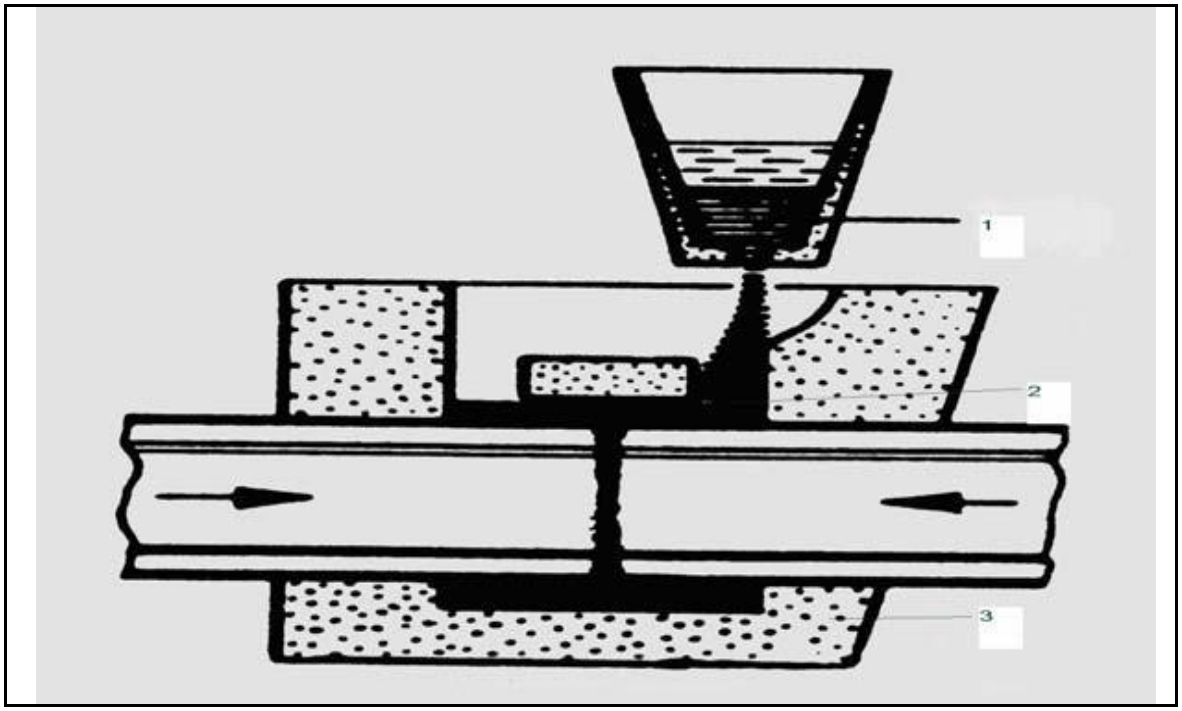
(٣,١,٤) مزايا لحام المقاومة الكهربائية:

- زمن قليل لتنفيذه.
- المظهر الجيد للجزء الملحوم نتيجة لتوازي الدرزة.
- إمكانية تنفيذه آليا بسهولة بواسطة الإنسان الآلي.
- إمكانية لحام الصفائح الرقيقة جدا (٠,٠٠٤ in) .
- قلة التشوه لصغر منطقة التأثر الحراري.

(٢,٤) لحام الثرميت Thermal Welding

(١,٢,٤)فكرة لحام الثرميت

يتم خلط اكسيد الحديد مع المنيوم وفيرو سيلكون و ٢٪ جير لتحسين لزوجة اكسيد الالمنيوم وضمان سرعة صعوده كخبث في ماعون مخصوص (١) ثم يتم تسخين الخليط بواسطة بوركسيد الباريوم والذي يشعل بشريط ماغنيسيوم حتى حدوث الفاعل الكيميائي وهو سحب الالمنيوم للاوكسجين من اكسيد الحديد ,تتولد حرارة عالية تؤدي لانصهار الحديد.يطفو اكسيد الالمنيوم كخبث على السطح ويتم تفريغ المصهور من الاسفل مباشرة في حوض اللحام (٢) الذي يحيط به قالب من الرمل او الفخار (٣) .تستخدم هذه الطريقة في لحام الاجزاء السميكة بالاخص حيث لا وفر كهرباء مثلا في خطوط السكك الحديدية او لحام قضيب الاوناش السقفية في المصانع.



شكل (٥٢) لحام الثرميت

(٢,٢,٤) مزايا لحام الثرميت:

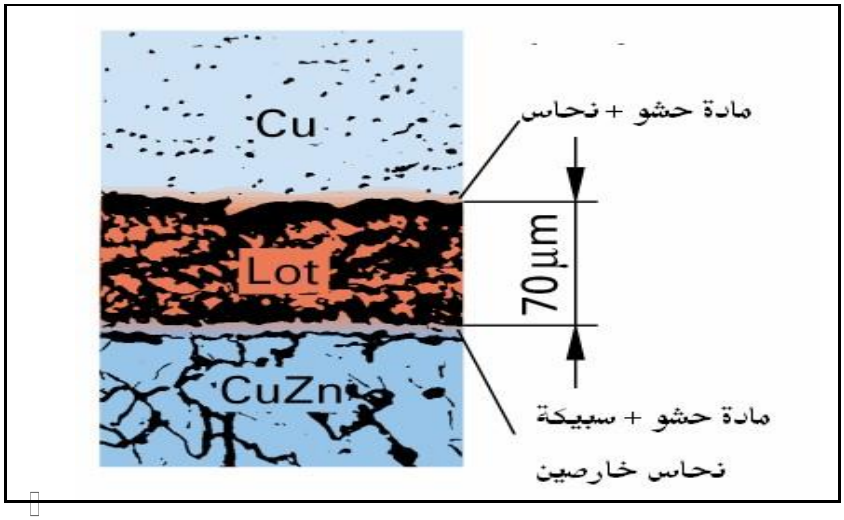
- توفر معدن منصهر بكمية كبيرة .
- يمكن استخدامه في مناطق نائية.
- خلو المعدن من الشوائب والغازات.
- سرعة تنفيذ اعمال الصيانة بالمصانع.

(٣,٤) لحام المونة والسمكرة Soldering and brazing:

يستخدم لحام السمكرة في وصل اجزاء الاجهزة الكهربائية وذلك باستخدام لامادة حشو هي القصدير وسبائكه .اما لحام المونة فيستخدم في لحام مختلف القطع وخصوصا من الزهر الرمادي الذي يصعب لحامه وذلك باسخدام النحاس او سبائكه كمادة حشو.

(١,٣,٤) فكرة اللحام

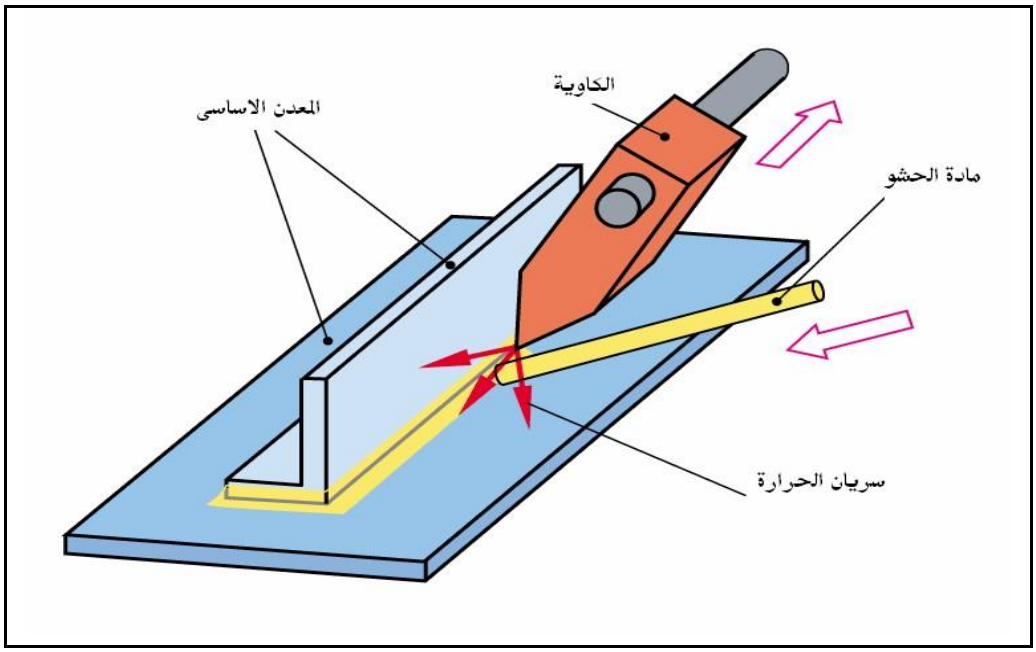
لا يتم في هذين النوعين من اللحام صهر المعدن الاساسي (القطعة الملحومة) بل يصهر فقط سلك اللحام وبذلك يتم لصق القطعتين معا عبر وسيط هو مادة الحشو بسمك ٠,٠٠٧ مم كما موضح في الشكل ادناه



F

شكل (٥٣) كيفية التلاحم

- مصدر الحرارة هو كاوية مسخنة باي لهب او بالكهرباء .الشكل (٥٤) يوضح فكرة لحام المونة والسمكرة.



شكل (٥٤) لحام المونة والسمكرة

- يجب تنظيف منطقة التلاحم عند تنفيذ لحام المونة والسمكرة من الاكاسيد والزيوت بمادة البوراكس وهو مركب من الصوديوم وحمض البوريك.

(٢,٣,٤) مادة الحشو Filler rod

تتكون سبيكة لحام السمكرة من القصدير والرصاص .بعضها يحتوي اضافات مثل الانتيمون ,الكادميوم ,البزموث والفضة وذلك لكي تناسب المتانة المطلوبة.

(الجدول المبين في ادناه يوضح امثلة لبعض مواد الحشو المسخدمة في لحام السمكرة)

التركيب الكيميائي			درجة الانصهار	مجال الاستخدام
قصدير %	انتيمون %	رصاص %	د.م	
٩٥	٠,٥	٤,٥	١٨٣-٢٢٠	الاجهزة الكهربائية
٤٠	--	٦٠	١٨٣-٢٣٦	علب الصفيح
٥٠	٠,٥	٤٩,٥	١٨٣-٢١٤	اغراض عامة

- تتكون مادة الحشو في لحام المونة من النحاس او سبائكه والي تضم قصدير ,نيكل ,فسفور,فضة, وخارصين ,وتسخدم في وصل الصلب ,الزهر ,النحاس والبراص والبرونز .تمتاز وصلته بالمتانة الجيدة ومقاومة التاكل الكيميائي وتتحمل درجات الحرارة العالية .

(الجدول المبين في ادناه يوضح امثلة لبعض مواد الحشو المسخدمة في لحام المونة)

التركيب الكيميائي			درجة الانصهار
النحاس %	الخارصين %	عناصر اخرى %	د.م
٥٠	٥٠	٠,٨٥شوائب	١٨٣-٢٢٠
٥٤	٤٥	٠,٨٥ قصدير	١٨٣-٢٣٦
٥٠	٤٠	١٠ نيكل	١٨٣-٢١٤
٧٩	--	١٤فضة و ٧فسفور	٧٠٥-٨٠٠

(٣,٣,٤)مزايا لحام المونة والسمكرة:

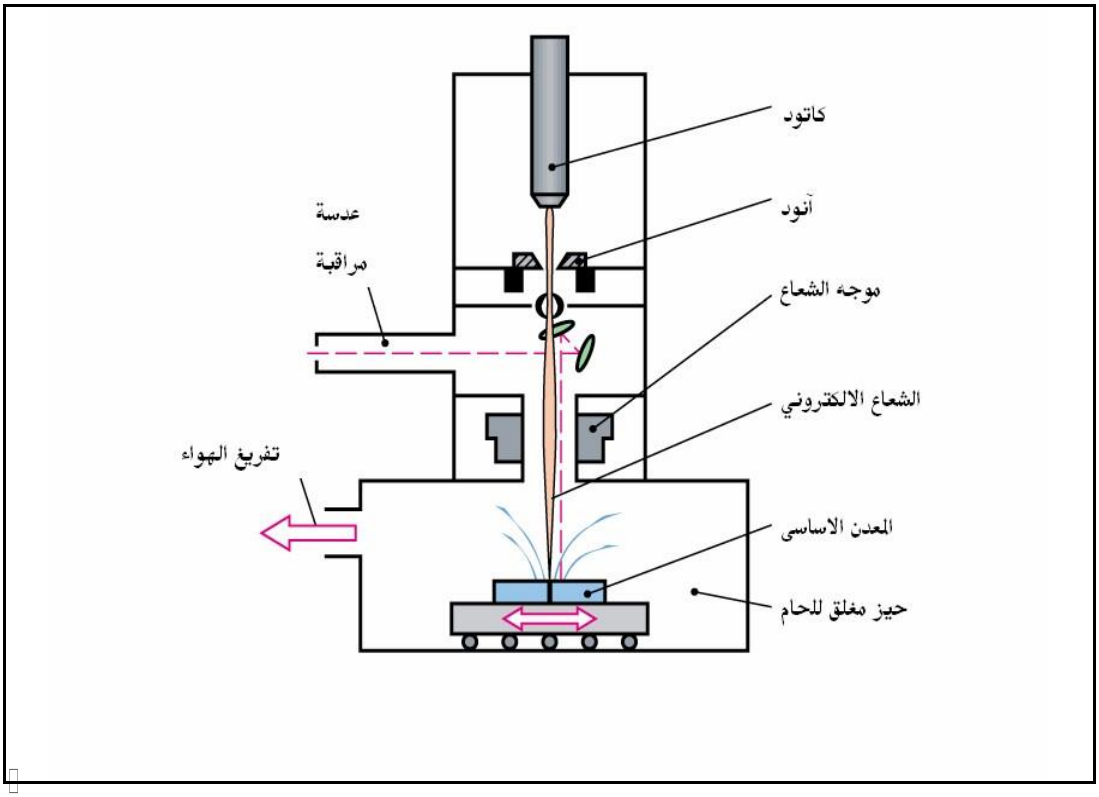
- لحام مواد لها قابلية قليلة للحام مثل الزهر.
- لحام القطع صغيرة الحجم في الاجهزة الالكترونية والكهربائية.
- قلة التشوه لعدم انصهار المعدن الاساسي.

(٤,٤) طرق لحام متطورة Advanced welding processes

(١,٤,٤) اللحام بالشعاع الالكتروني Electron beam welding

(١,١,٤,٤) فكرة اللحام :

يحصل على الشعاع الالكتروني في جهاز يسمى جهاز التخلية (البندقية او المدفع الالكتروني) عبر قوس كهربائي يؤدي لانفصال الكترونات من الكاثود يتم تركيزها في شعاع وتوجيهها بمجالات مغناطيسية لتصطدم بالمعدن الاساسي (الانود) تؤدي الى تولد حرارة عالية تكفي لانصهار المعدن الاساسي وحدوث التلاحم .تبلغ سرعة الالكترونات ٢٢٤٠٠٠ كم /ث عندما يكون الجهد المسرع ١٥٠٠٠ فولت .تبلغ الحرارة المتولدة Q=٠,٢١٢ . E (V). I(A) وهي اكبر بعشرات المرات عن حرارة القوس الكهربائي.تتيح المجالات المغناطيسية تركيز الشعاع على مسافة نصف مم وكذلك توجيهه لمسافة تبلغ ٩٠٠ مم.يستخدم هذا اللحام في لحام القطع المهمة التي يشترط خلوها من العيوب والمعادن عالية النشاط مثل التيتانيوم والزيركون ويورانيوم والمعادن عالية درجة الانصهار مثل التنجستن والمولبدينيوم وتنتاليوم.
الشكل(٥٤) يوضح لفكرة اللحام



WE F

شكل (٥٤) لحام الشعاع الالكتروني

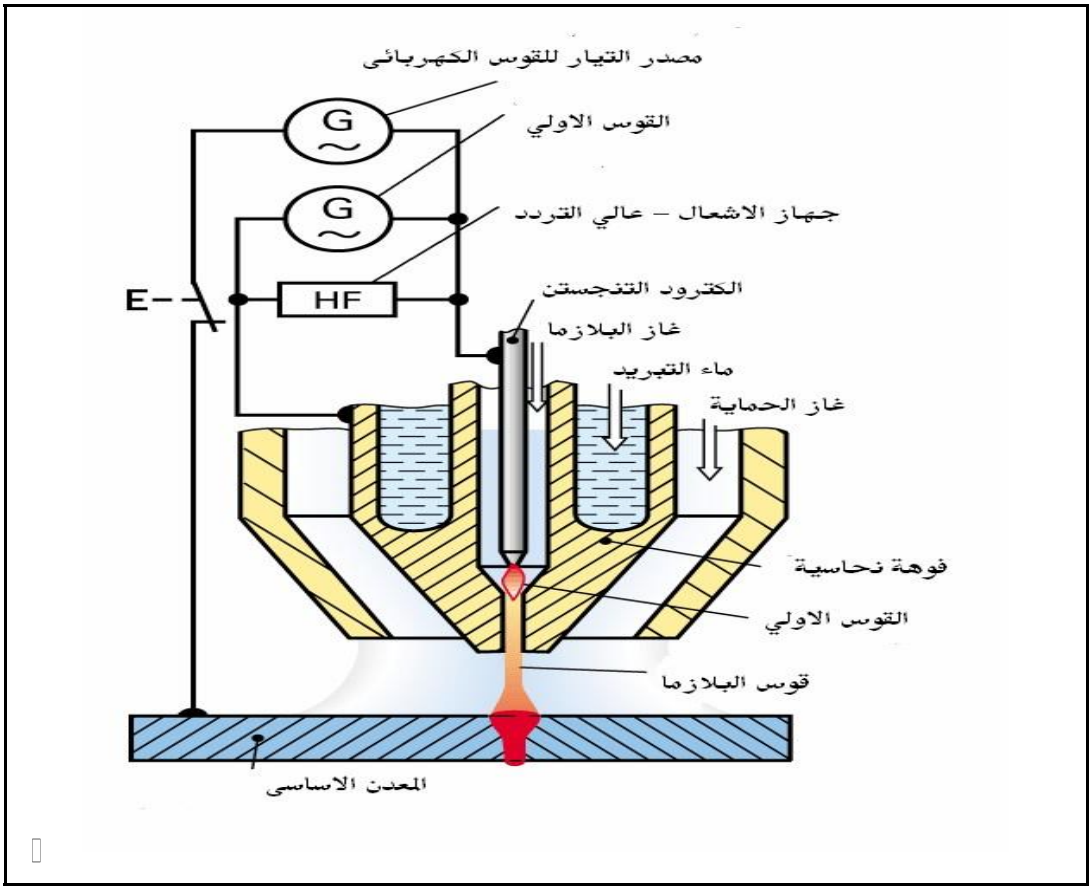
(٢,١,٤,٤) مزايا لحام الشعاع الالكتروني:

- درز عميقة وغير عريضة.
- صغر منطقة التاثر الحراري مما يقلل التشوه.
- لحام مواضع بالقطع يصعب الوصول اليها.
- امكانية اللحام في جو مفرغ من الهواء الجوي (Vacuum) مما يضمن جودة عالية.
- سرعة كبيرة للحام نتيجة للحرارة العالية (١٢٠٠< درجة مئوية).
- لحام معادن عالية درجة الانصهار.

(٢,٤,٤) لحام البلازما Arc- plasma welding

(١,٢,٤,٤) فكرة اللحام:

ينشأ قوس كهربائي اولي بين الكترود التنجستن وحافة المشعل.عند مرور غاز البلازما بالقوس يحدث تأين لذراته ثم يرجع الغاز لكوين ذرات (يلتقط الالكترون الشارد). عند مرور الغاز بالقوس الثاني المتكون بين الالكترود والمعدن الاساسي ترتفع حرارته حتى تبلغ ١١٠٠٠ درجة مئوية .يمكن تسليط الحرارة على mm ٢-١ مما يقلل من التشوه. انظر الشكل (٥٥)



WE F

شكل (٥٥) لحام البلازما

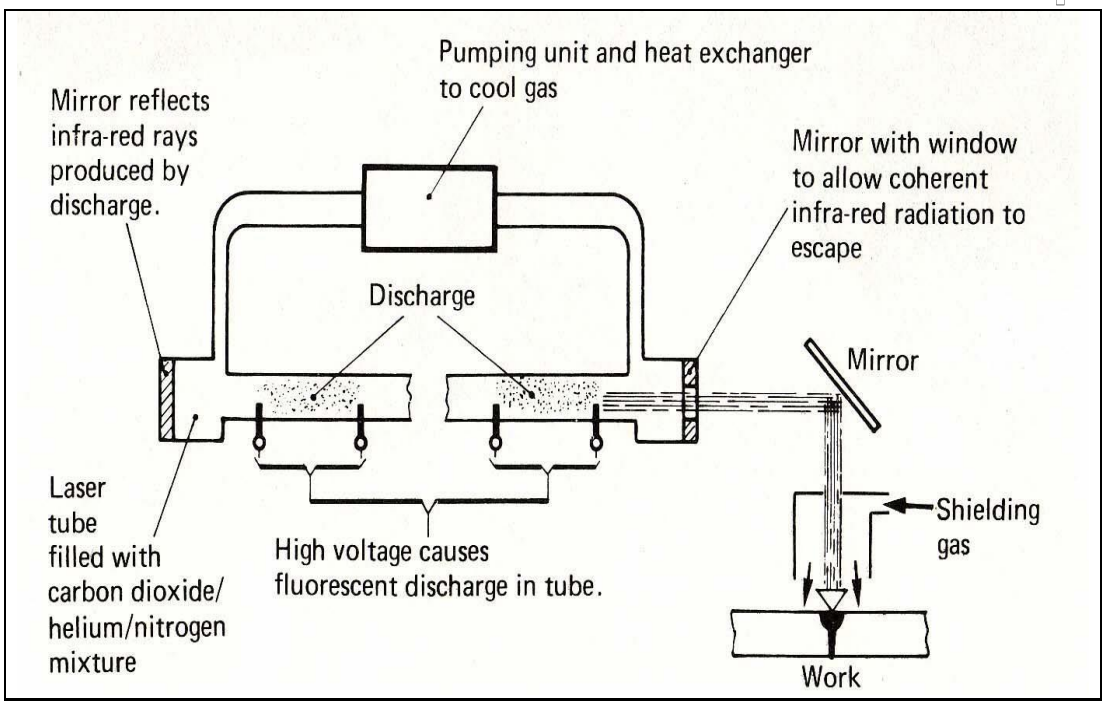
(٢,٢,٤,٤) مزايا لحام البلازما:

- نتيجة لحرارته العالية يمكن لحام مواد درجة انصهارها عالية.
- الحرارة العالية المركزة تمكن من اللحام بسرعة كبيرة وتقلل التشوه.
- يمكن لحام قطع سمكها من ٣ الى ١٥ مم في مشوار واحد .
- يمكن قص المنيوم بسمك ١٥٠ مم.
- يمكن لحام صفائح رقيقة سمكها ٠,١ مم.

(٣,٤,٤) لحام الليزر Laser beam welding

(١,٣,٤,٤) فكرة اللحام:

عبر مكثف كهربائي يحدث وميض الكتروني في وسط من غاز الكريبون الخامل.يحدث الوميض اثارة لذرات الكروم الموجودة في بلورة واحدة من العقيق الاصطناعي او (اوكسيد الالمنيوم البلوري فيه ٠,٠٥٪ كروم) تنقلها لمستوى طاقة اعلى وعند رجوعها لمستواها الطبيعي تبعث شعاعا ضوئيا مكثفا ذو ةطول موجي واحد.يحدث نتيجة لذلك رنين ضوئي ينتج شعاع ضوئي ذو شدة عالية يمكن تركيزه ليعطي حرارة تبلغ اكثر من ٤٠٠٠ درجة مئوية يمكن توجيهه لموضع اللحام مما يحقق مزايا شبيهة بلحام الشعاع الالكتروني والبلازما.الشكل (٥٦) يوضح فكرة اللحام .



شكل (٥٦) لحام الليزر

الفصل الخامس

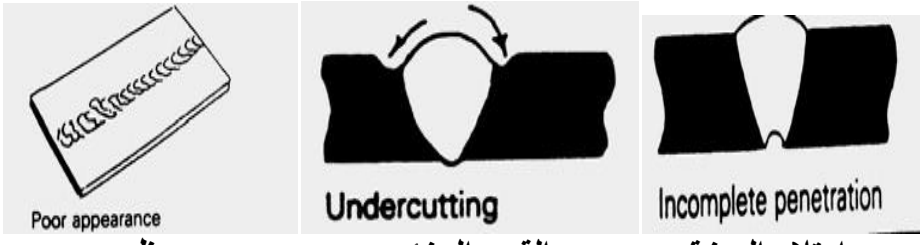
(٥) عيوب اللحام Welding defects:

تؤثر عيوب اللحام في مدى امان الانشاءات والمعدات , في زيادة التكلفة وفي تقليل الانتاجية .لذا يجب تفادي حدوثها عبر تدريب كافي للعمال وتوفير المعرفة الضرورية للفنيين والمهندسين .مما يمكنهم من تطبيق احتياطات تفادي العيوب.

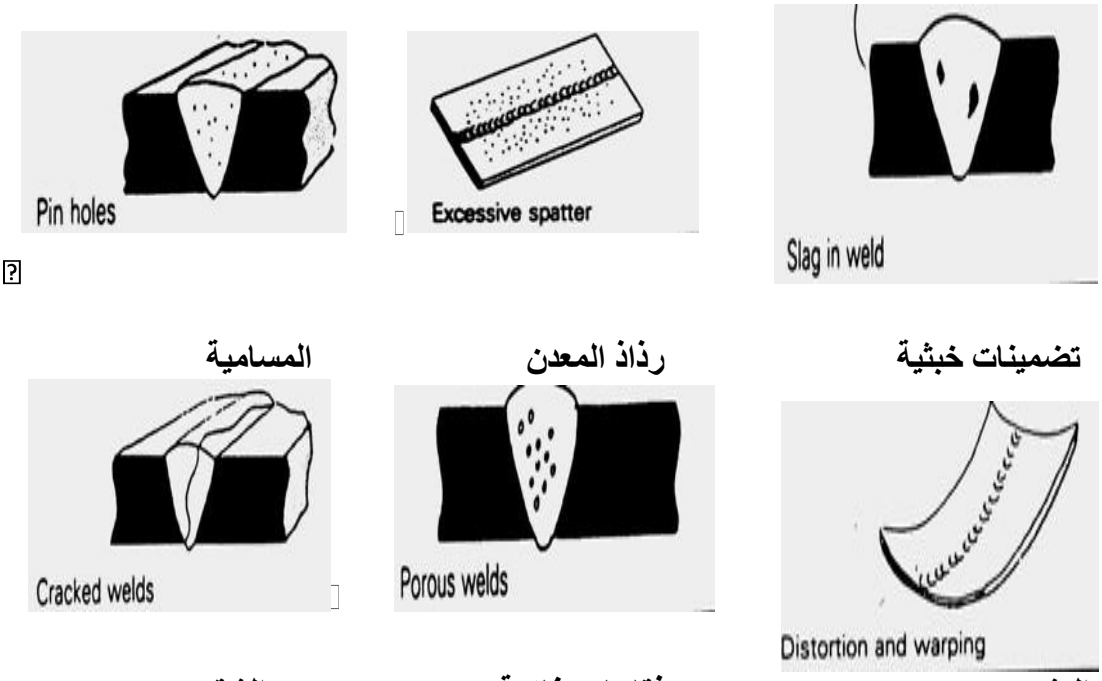
(١,٥) انواع العيوب:

- ينتج التشقق عن اجهادات الانكماش عند عدم امكانية التشوه.
- تنتج المسامية عن حبس غازات بمصهور الحوض.
- ينتج التشوه عن اجهادات الانكماش.
- ينتج عدم امتلاء حوض اللحام من عدم مهارة العامل او تسرعه.
- ينتج القطع الجزئي عن تسليط اللهب او الحرارة لمدة طويلة .
- ينتج تطاير المعدن حول الدرزة عن عدم مهارة العامل او الافراط في التسخين
- ينتج فقدان الصلابة والصلادة عن كبر منطقة التاثر الحراري ما فوق ٥٠٠ م
- تضمينات خبثية من حبس اكاسيد او اجزاء من مسحوق الحماية بالحوض.

- الشكل (٥٧) امثلة عن عيوب لحام



مظهر سيء **القص الجزئي** **عدم امتلاء الدرزة**



المسامية **رذاذ المعدن** **تضمينات خبثية**

الشقوق **فقاعات غازية** **التشوه**

شكل (٥٧) أمثلة لعيوب اللحام

(٢,٥) مسببات العيوب

يمكن حصر المسببات الرئيسية لعيوب اللحام في :

(أ) تغلل غازات الهواء الجوي.
(ب) تواجد الشوائب بالمعدن.
(ت) الافراط في التسخين.
(ث) عدم مهارة العامل وعدم تقيده بضوابط اللحام.

(١,٢,٥)تغلغل الغازات

- **النتروجين**

- مصادره: الهواء الجوي- المساحيق الرطبة – مادة الحشو او المعدن الاساسي
- التأثير: يضعف متانة الدرزة عبر وجود مسامات ووجوده يقلل المتانة ضد التعب

- المكافحة: حماية حوض اللحام بالغازات الخاملة او مساحيق التغليف او الغمر. اضافة Ti,Zr,Al لكون نتريدات تطفو او تبقى لكن نسبة لدرجة انصهارها العالية لا تسبب التشقق.

- **الهيدروجين:**

- مصادره: الهواء الجوي ,المساحيق الرطبة,وصدا حواف الوصلة
- تاثيره: مسامات مجهرية ,شقوق في حالة تجمعه في جزيئات يرتفع ضغطها .وكذلك اذا كون مع الاوكسجين بخار ماء.
- مكافحته: الحماية بالغازات الخاملة و المساحيق- ازالة الصدأ من حواف الوصلة وازالة الشحوم والزيوت- تجفيف الالكترودات المغلفة بالمسحوق – اضافة فلور الى حوض اللحام يكون من الهيدروجين HF والذي يتطاير الى خارج الدرزة.

- **الاوكسجين**

- مصادره : الهواء الجوي او لهب مؤكسد
- تاثيره: يؤكسد الحديد ويتجمع الناتج $Fe^{3}O^{3}$ على صورة كريات خبثية مما يقلل من المتانة ويؤدي الى التقصف.
- مكافحته: اضافة مكونات خبث تضمن ابعاد اوكسيد الحديد الى الخبث

$FeO + (SiO^{2})$-------$(SiO^{2}.FeO)$

وكذلك بحجب حوض اللحام بغاز خامل او بمسحوق.

(٢,٢,٥) تواجد الشوائب:

- **الكبريت S**

اذا زاد الكبريت بالدرزة عن ٠,٠٠١٪ تقل المتانة ويظهر التشقق على الساخن,نظرا لترسبه على هيئة كبريتيد الحديد (FeS) والذي درجة انصهاره ١١٩٠ درجة مئوية. عندما يتجمد معدن الحوض مثلا عند ١٤٥٠-١٥٠٠ يستمر كبريتيد الحديد منصهرا وتحت تاثير تقلصات الانكماش تحدث الشقوق .يتم مكافحته عبر اضافة الحجر الفلوري CaF^{2} والروتيل TiO^{2} او اضافة Al او Mn لتكون كربيدات تطفو كخبث او بقى بالدرزة ولكنها صعبة الانصهار .وكذلك . وكذلك باضافة O^{2}بنسبة ٥٪ الى غاز الحماية لتكوين SiO^{2} والذي يتطاير.

- **الفسفور P**

يسعى لتقليل نسبة تواجده الى ٠,٠٢٪وذلك في قطع اللحام المهمة.

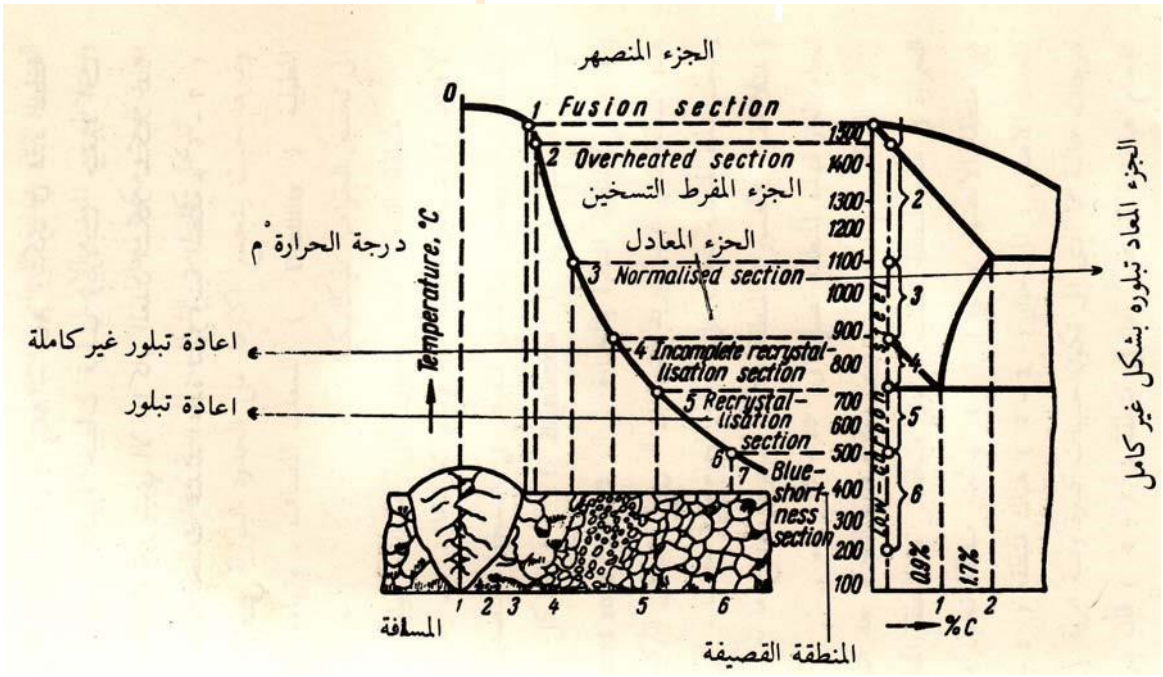
يتجمع الفسفور في صورة فوسفيد حديد Fe_3P وهو ينصهر في ١١٧٠ درجة مئوية وبالتالي حيث يسبب القصافة على الساخن وعلى البارد والتشقق.يسحب الفسفور من الدرزة والتي يتواجد فيها صورة انهدريد الفسفور P_2O_5 باضافة اكسيد كالسيوم والذي يكون خبث فوسفات الكالسيوم.

(٣,٢,٥) الافراط في التسخين

تسبب الحرارة وبالاخص عند الافراط فيها لاسباب مثل :بطء اللحام ,تبعثر اللهب وعدم تنفيذ حركة تمويج اضافة الى العيوب التالية:

(أ) تقليل متانة المعدن الاساسي

تتكون منطقة اللحام من ثلاث اجزاء هي الدرزة ومنطقة الاندماج ومنطقة الثر الحراري.



شكل (٥٨) اجزاء منطقة اللحام

- تقل متانة الدرزة بسبب تواجد غازات او شوائب بها وكذلك لاحتمال تكون حبيبات كبيرة بها او لاحتراق بعض العناصر المكونة لها او تاكسد الكربون.
- تقل متانة الاندماج لحدوث تشققات بها بسبب عدم التجانس الكيميائي
- تقل المتانة بمنطقة التاثر الحراري والتي تبلغ في اللحام القوسي تقل المتانة بمنطقة التاثر الحراري والتي تبلغ في اللحام القوسي ٦-٢ مم ولحام الاوكسي استيلين ٢٥ مم تبعا للقرب او البعد عن جزء الدرزة

(ب) التصلد وتكون الشقوق:

يحدث التصلد للصلب الانشائي في منطقة التاثر الحراري .يعتمد مقداره على التركيب الكيميائي للصلب وعلى سرعة التبريد.في الصلب السبائكي يستخدم المكافيء الكربوني لقياس تاثير العناصر السبائكية على التصلد.

(ج) التشوه Distortion

يقصد به حدوث انحناء او تقوس او عدم استقامة الجزء الملحوم.يحدث التشوه بسبب تولد اجهادات داخلية نتيجة لزيادة او نقصان الحجم لمعدن الدرزة او معدن منطقة التاثر الحراري بسبب التحول من نسق بلوري لنسق بلوري اخر.وكذلك لعدم استطاعة المناطق عالية الحرارة عن التمدد بحرية لوجود مناطق باردة.

(٤,٢,٥) عدم مهارة العامل.

تولد عيوب مختلفة مثل:

- حدوث التشوه بسبب الافراط في التسخين.
- عدم الاتصال او رذاذ المعدن بسبب الاختيار الخاطيء للهلب او شدة التيار.
- وجود تضمينات خبثية بسبب عدم تنظيف حوض اللحام.
- حدوث قص جزئي او نفاذ الجذر بسبب عدم المهارة في تحريك المشعل.

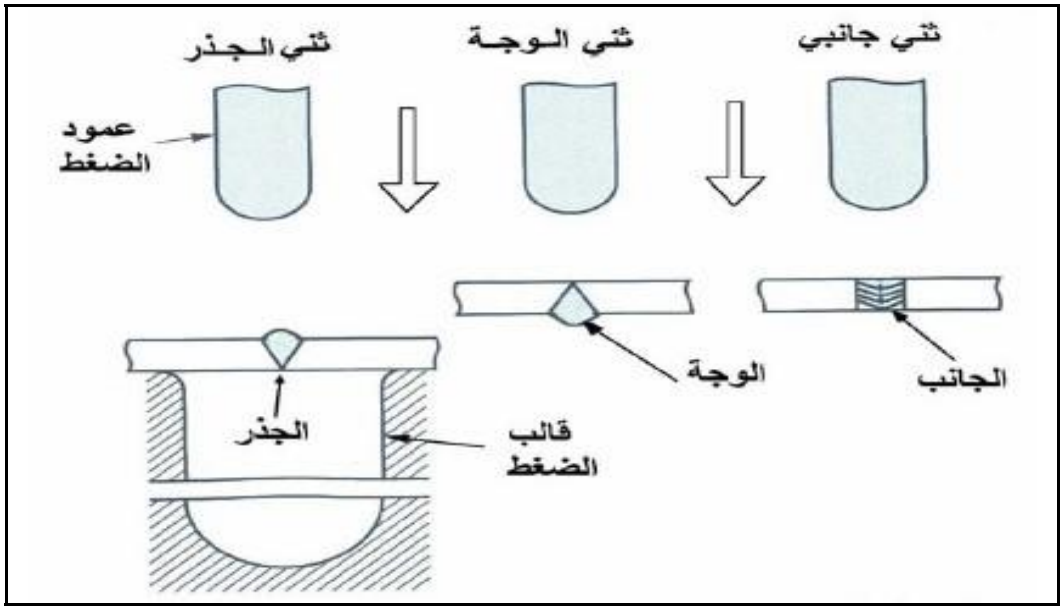
(٣,٥) طرق فحص اللحام Weldments inspection methods

(١,٣,٥) طرق الفحص الاتلافية Destructive testing methods

تتم لمعرفة الخصائص الميكانيكية للوصلة الملحومة . تستخدم لذلك عينات تقطع من الجزء الملحوم او تنتج باللحام في ظروف تشابه ظروف اللحام الفعلي .تتناول المواصفة البريطانية BS٢٦٣٣ والأمريكية ASME ٩ عينات وطرق الفحص الشد ,الصدمة ,الحني ,الصلادة.

(أ) اختبار مقاومة الحني

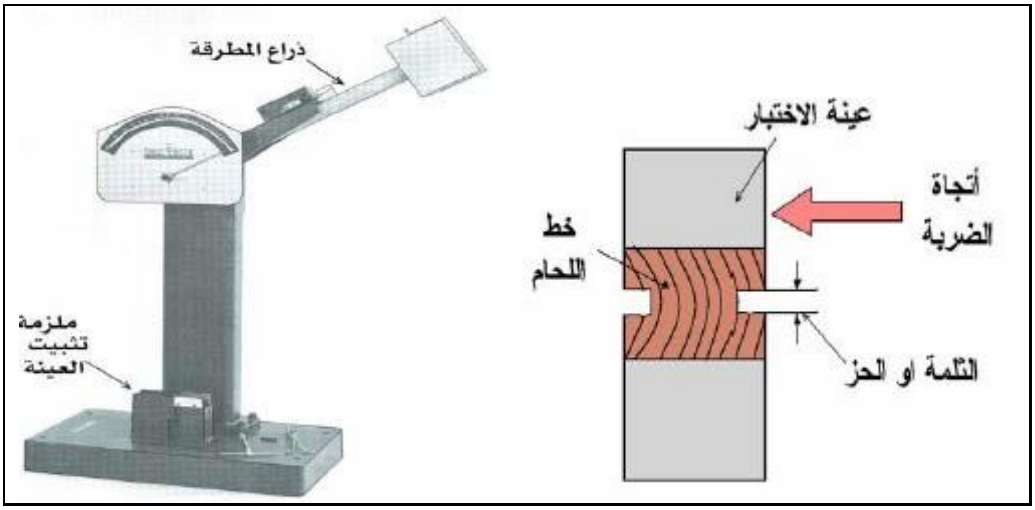
يتم تنفيذ الحني في ثلاث اتجاهات وذلك لتحديد مقاومة الدرزة . الشكل (٥٩)يوضح عينات الفحص وموضع الدرزة في كل اختبار.



شكل (٥٩) اختبار الحني

(ب) اختبار المتانة

لتحديد متانة الدرزة (مقاومتها للصدم) الشكل (٦٠) يوضح عينة الاختبار وجهازه (شاربي)

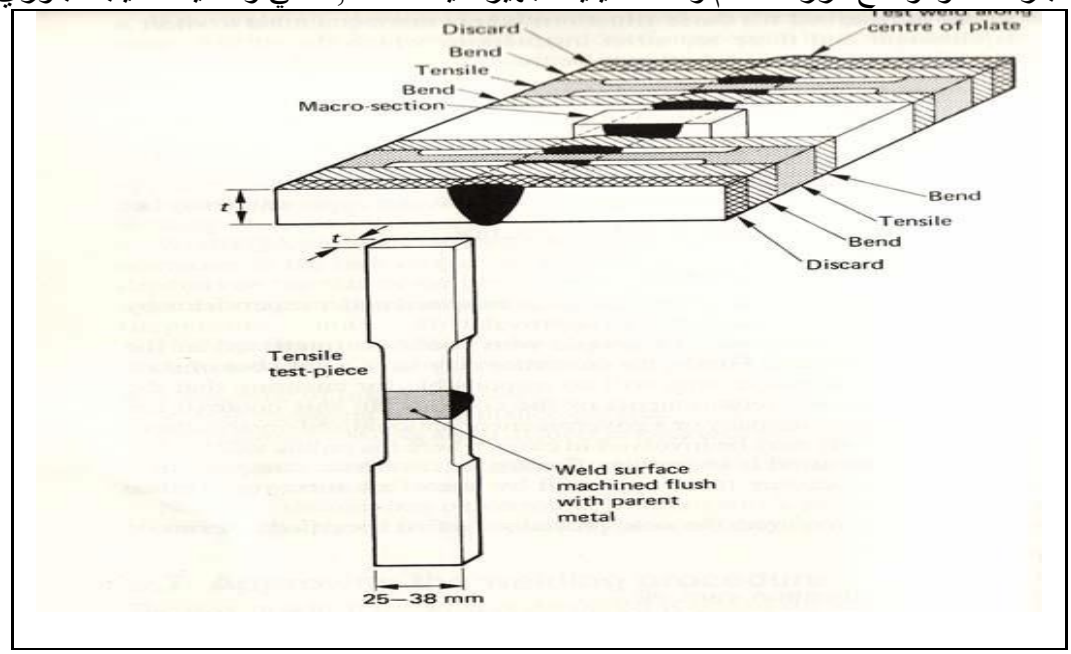


WE F

شكل (٦٠) عينة ومعدة اختبار الصدم

(ح) اختبار الصلابة

يتم تنفيذ اختبار الشد لحديد مقاومة الجزء الملحوم للشد(صلابته).الشكل (٦١) يوضح عينة اختبار الشد وموضع درزة اللحام وكذلك كيفية تجهيز عينات الشد,الحني وتحديد التكيب البلوري.



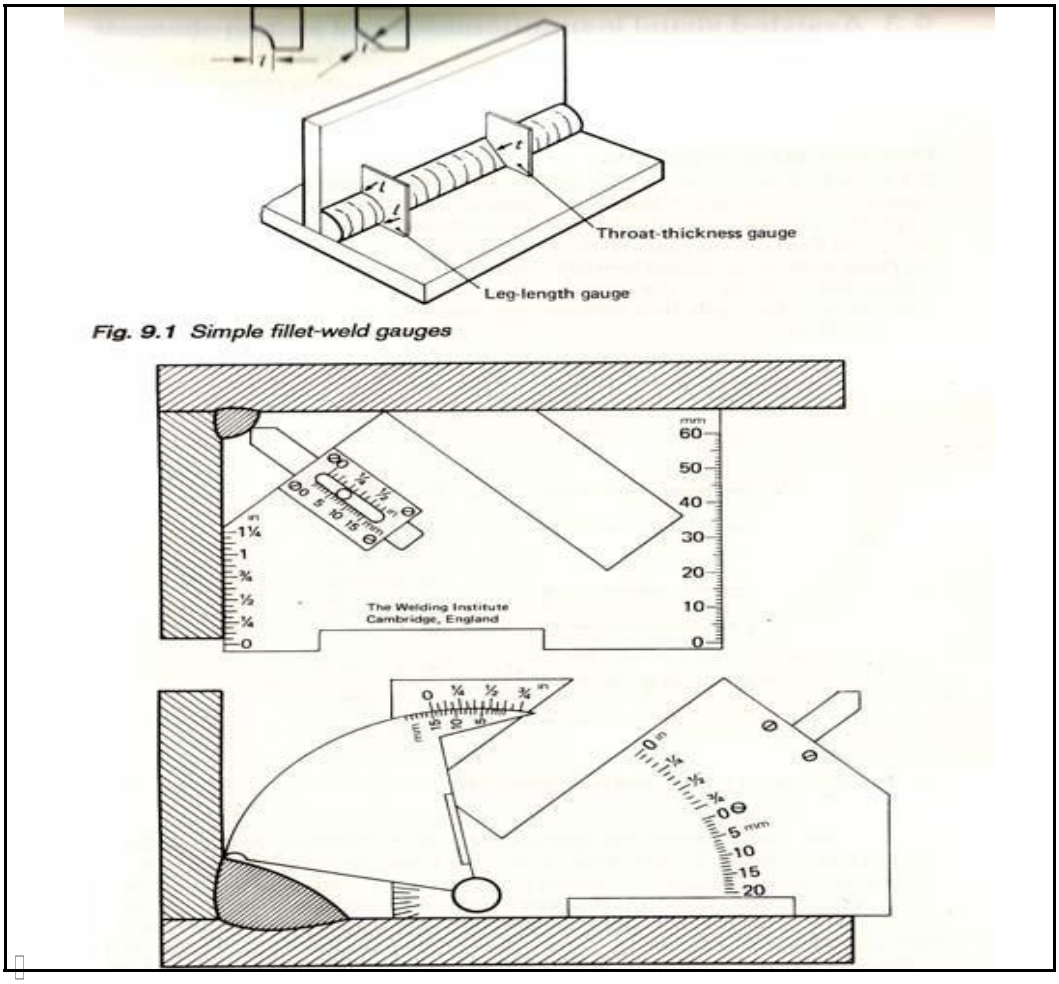
شكل (٦١) عينة اختبار الشد

(٢,٣,٥) طرق الفحص غير الاتلافية Non – destructive testing methods

لفحص العيوب الداخلية والسطحية للحام, تتعدد طرق الفحص غير الاتلافية ,فمنها الفحص البصري والفحص بالموجات الصوتية (Ultra Sonic) ,الاشعة السينية (Ray –x) ,بالمجال المغناطيسي (Magnet Field) ,زبالسوائل النافذة (Dye penterant) وغيرها .اكثر الطرق سهولة في الاستخدام والتقييم هي السوائل النافذة والموجات الصوتية.

(١,٢,٣,٥) الفحص البصري Visual inspection

يتم الفحص بمجرد النظر للدرزة وتحديد وجود شقوق ظاهرة ,عدم التحام الجزئين,وجود تشوه وكذلك باستخدام طبعات توضح مقاييس الدرزة و زوايا الجزء الملحوم .الشكل (٦٢) يوضح فحص بصري بمساعدة طبعات قياس.



الشكل (٦٢) الفحص البصري بالطبعات

(٢,٢,٣,٥) السوائل النافذة Dye penetrant

تتم تنفيذ الفحص بطريقة السوائل النافذة بتنفيذ الخطوات التالية:

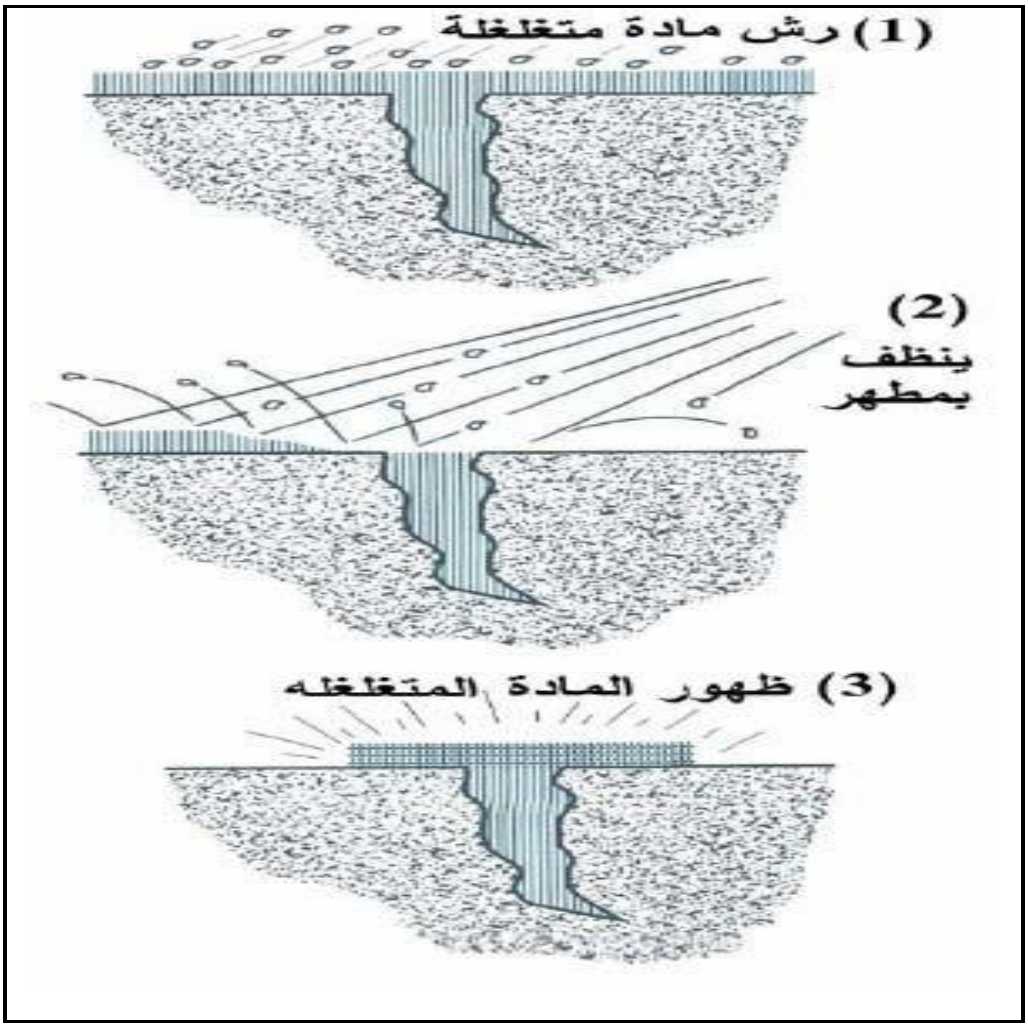
(أ) تنظيف الدرزة جيدا من الاوساخ والزيوت

(ب) رش بسائل ملون نافذ على سطح الدرزة .يدخل السائل في شقوقها.

(ت) تنظيف سطح الدرزة من بقايا السائل .

(ث) رش مسحوق ابيض (طباشير) على سطح الدرزة.

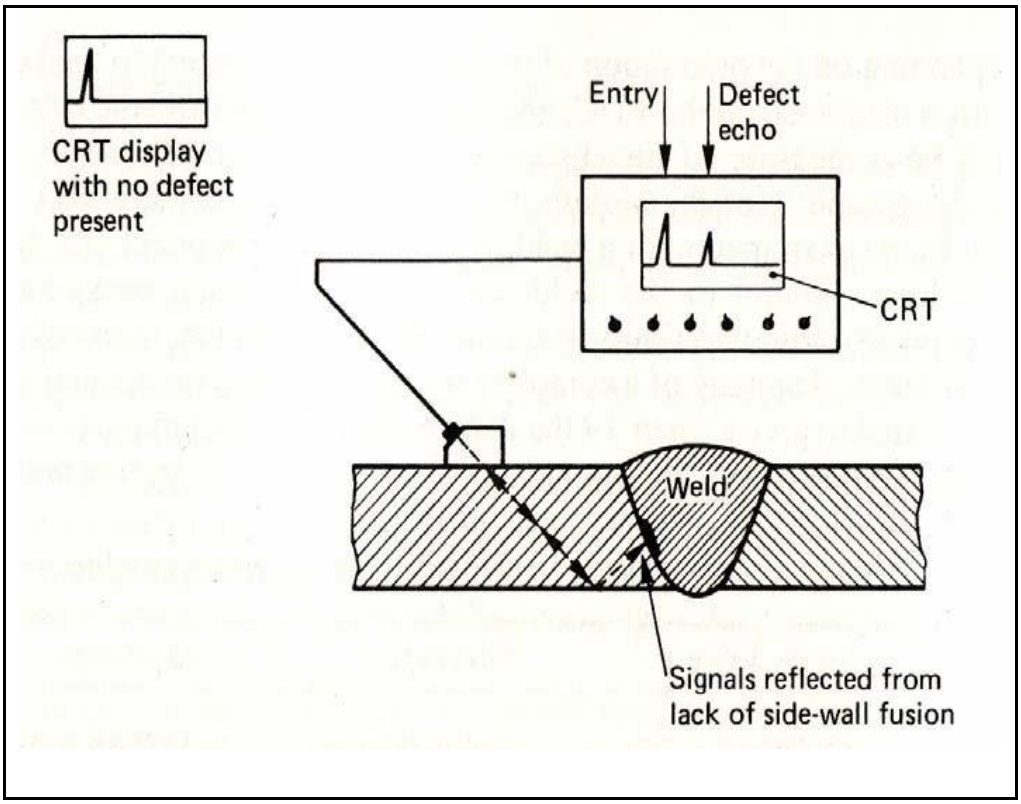
(ج)تقييم مواقع ظهور السائل الذي سحبه المسحوق من داخل شقوق الدرزة.



شكل (٦٣) مراحل الفحص بالسوائل النافذة

(٣,٢,٣,٥) الموجات فوق السمعية Ultrasonic waves :

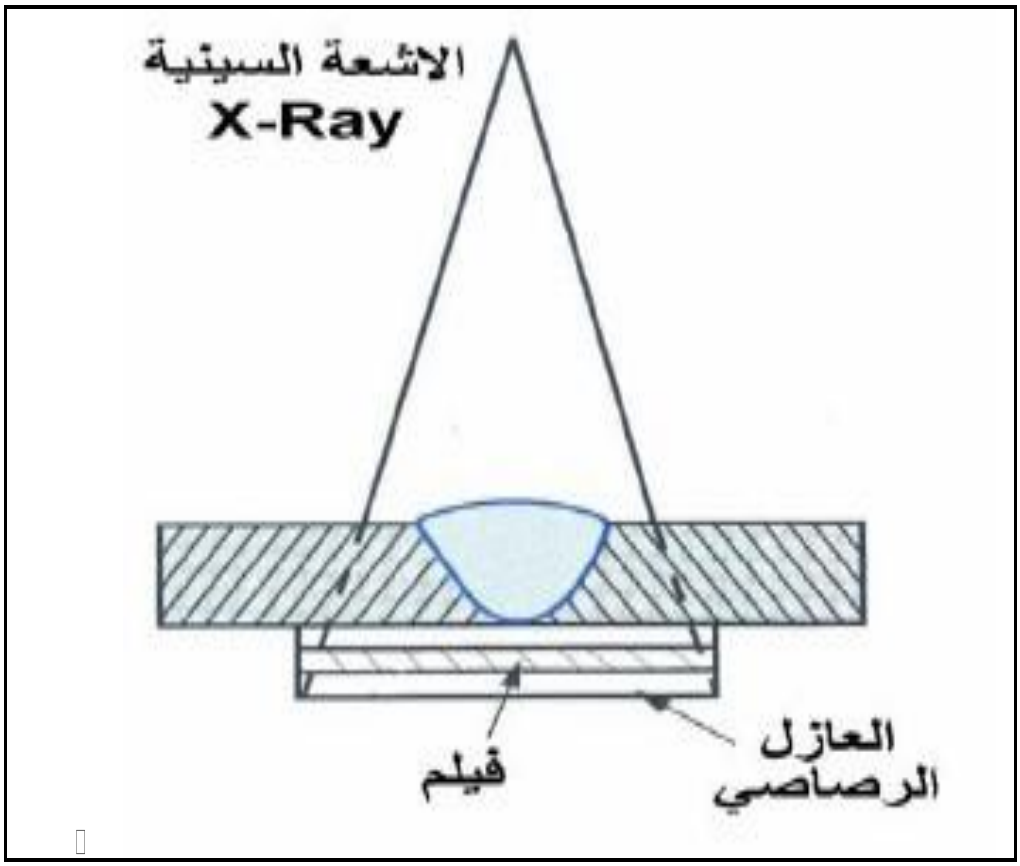
تسلط الموجات فوق السمعية عبر المرسل على الدرزة في شكل نبضات ترتد من نهاية الدرزة او من اي شق او شائبة داخلية .تستقبل الموجات الصوتية المرتدة بالمستقبل ويظهر على الشاشة طول الموجة والذي يشير لموقع ارتدادها .الشكل (٦٤) يوضح فكرة الفحص بالموجات الصوتية.تمتاز بانها غير مضرة ,معداتها صغيرة يمكن حملها لمواقع الفحص ,يمكن بها الفحص من جانب واحد للمنتج,نتائجها سريعة.



شكل (٦٤) الفحص بالموجات الصوتية

(٤,٢,٣,٥) الفحص باالاشعة السينية X-Ray test:

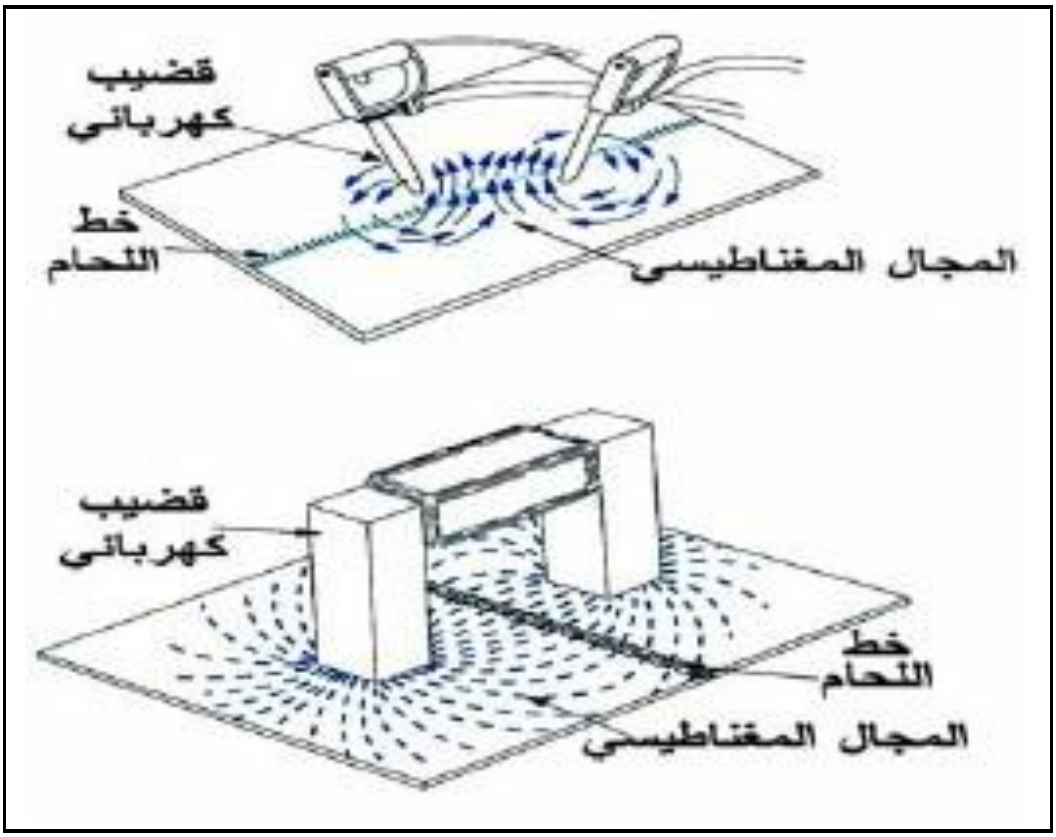
تستخدم لكشف العيوب الداخلية عبر تعريض الدرزة لاشعة X. عند مرور الاشعة بمنطقة سليمة بالدرزة تصل ضعيفة الى الفيلم. اما عند مرورها بشقوق او فجوة بالدرزة ,فنها تصل الى الفيلم وهي اقوى من السابقة,وبذلك تطهر اماكن العيوب اكثر سوادا بالفيلم. الشكل (٦٥) يوضح فكرة الفحص بالاشعة.وتمتاز طريقة الفحص بالاشعة بانها توفر وثيقة عن نتائج الفحص ويعيبها انها مضرة للصحة ولا يمكن فحص القطع المغلقة بها.



شكل (٦٥) الفحص بالاشعة السينية

(٥,٢,٣,٥) الفحص بالمجال المغناطيسي Magnetic field test

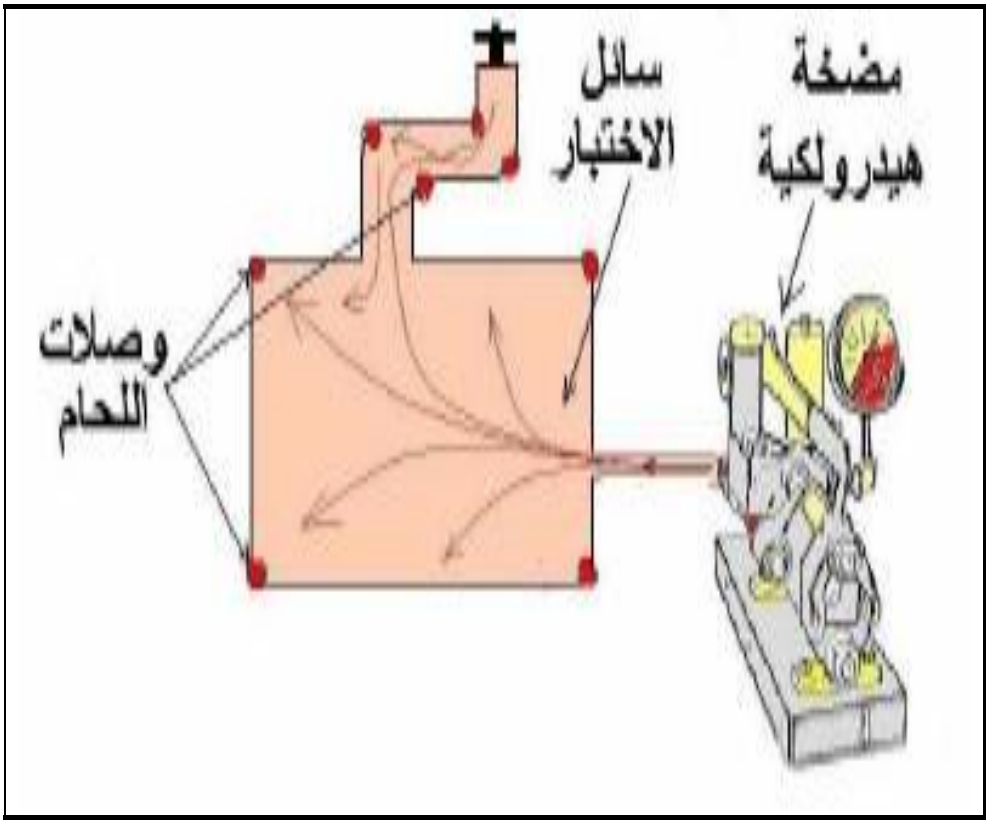
عند امرار تيار كهربائي بالقطعة الملحومة , تتولد حولها مجالات مغناطيسية وعند رش مسحوق فيرو مغناطيسي عليها,يتجمع المسحوق حول موضع العيب تبعا لخطوط المجال المغناطيسي والتي تعرضت لتشوه.يستخدم لكشف الشقوق السطحية والتجاويف الكبيرة,وانفصال المعدن لطبقات ووجود تضمينات خبثية على عمق (٥-٣ مم).الشكل (٦٦) يوضح فكرة الفحص.



شكل (٦٦) الفحص بالمجال المغناطيسي

(٦,٢,٣,٥) فحص التسريب بالضغط Pressure test

يتم اغلاق كل الفتحات المتواجدة بالمنتج ,ثم يوصل به انبوب لضغط الهواء ,الماء او الزيت داخل المنتج.يتم فحص الدرز بتغطيس المنتج في ماء فتتولد فقاقيع تدل وجود عيوب باللحام او بمراقبة مقياس ضغط متصل بالانبوب .اذا كان هناك تسريب فان الضغط سينخفض .الشكل(٦٧) يوضح فكرة ومعدات تنفيذ اختبار التسرب بضغط سائل.



شكل (٦٧) اختبار التسرب بالضغط

المحتويات **رقم الصفحة**

- **المقدمة ١**

- **الفصل الاول ٥**
(١)اساسيات اللحام..... ٥
(١,١) تعريف ٥
(٢,١) انواع اللحام ٥
(٣,١) استخدامات اللحام ٥
(٤,١) وصلات اللحام ٦
(٥,١)تجهيز الوصلات ٦
(٦,١) حوض اللحام ٧
(٧,١)اوضاع اللحام ٨
(٨,١)حركات اللحام ٨
(٩,١) الرموز الاساسية للحام ١١
(١٠,١) ضوابط السلامة باللحام ١٥
(١,١٠,١) احتياطات السلامة في لحام القوس الكهربائي ١٥
(٢,١٠,١) احتياطات السلامة في لحام الأوكسي اسيتيلين ١٦

- **الفصل الثاني ١٧**
(٢) اللحام الحراري..... ١٧
(١,٢) لحام القوس الكهربائي ١٧
(١,١,٢) نبذة تاريخية ١٧
(٢,١,٢) فكرة اللحام القوسي..... ١٨
(٣,١,٢) طرق انتقال المعدن ١٩
(٤,١,٢)انواع اللحام القوسي ٢١
(٥,١,٢)مزايا اللحام القوسي ٢٢
(٦,١,٢)التيار الكهربائي ٢٢
(١,٦,١,٢)التيار الكهربائي وقطر الالكترود ٢٣
(٢,٦,١,٢) نوعية القطبية ٢٤
(٢,٢) لحام القوس الكهربائي بحماية المساحيق ٢٤
(١,٢,٢) مقدمة ٢٤
(٢,٢,٢)معدات اللحام القوسي بحماية المساحيق ٢٥
(٣,٢,٢)مكونات المساحيق الحديثة ومهامها ٢٥
(٤,٢,٢) فوائد مسحوق اللحام ٢٦
(٥,٢,٢) رمز الالكترود ٢٦
(٣,٢) لحام القوس المعدني بحماية الغازات الخاملة ٢٧
(١,٣,٢)فكرة لحام القوس المعدني ٢٧
(٢,٣,٢) معدات لحام القوس المعدني..... ٢٨
(٣,٣,٢)الغازات الخاملة ٣٠
(٤,٢) لحام القوس الكهربائي بقطب تنجستن..... ٣١

(٢,٤,١)فكرة اللحام ٣١
(٢,٤,٢) معدات لحام ال TIG ٣٢
(٢,٤,٣) طرق تنفيذ لحام ال TIG ٣٣

- الفصل الثالث ٣٦
(٣) اللحام الغازي ٣٦
(٣,١) فكرة اللحام الغازي ٣٦
(٣,٢) الغازات المستخدمة ٣٦
(٣,٣) معدات اللحام الغازي ٣٧
(٣,٣,١) الاسطوانات ٣٧
(٣,٣,٢) مقاييس الضغط ٣٨
(٣,٣,٣) المنظم ٣٨
(٣,٣,٤) صمام الامان ٣٨
(٣,٣,٥) المشعل ٣٨
(٣,٣,٦) الخراطيم ٣٩
(٣,٤) انواع اللهب ٤٠

- الفصل الرابع ٤٢
(٤) طرق لحام اخرى..... ٤٢
(٤,١) لحام المقاومة الكهربائية ٤٢
(٤,١,١) فكرة اللحام ٤٢
(٤,١,٢) انواع لحام المقاومة الكهربائية ٤٣
(٤,١,٣) مزايا لحام المقاومة الكهربائية ٤٥
(٤,٢) لحام الثرميت ٤٥
(٤,٢,١) فكرة لحام الثرميت ٤٥
(٤,٢,٢) مزايا لحام الثرميت ٤٦
(٤,٣) لحام المونة والسمكرة ٤٦
(٤,٣,١) فكرة اللحام ٤٦
(٤,٣,٢) مادة الحشو ٤٧
(٤,٣,٣) مزايا لحام المونة والسمكرة ٤٨
(٤,٤) طرق لحام متطورة ٤٨
(٤,٤,١) اللحام بالشعاع الالكتروني ٤٨
(٤,٤,١,١) فكرة اللحام ٤٨
(٤,٤,١,٢) مزايا لحام الشعاع الالكتروني ٤٩
(٤,٤,٢) لحام البلازما ٤٩
(٤,٤,٢,١)فكرة اللحام ٤٩
(٤,٤,٢,٢) مزايا لحام البلازما ٥٠
(٤,٤,٣) لحام الليزر ٥١
(٤,٤,٣,١)فكرة اللحام ٥١

- الفصل الخامس ٥٢
(٥) عيوب اللحام ٥٢

(١,٥) انواع العيوب ٥٢
(٢,٥) مسببات العيوب ٥٣
(١,٢,٥) تغلغل الغازات ٥٤
(٢,٢,٥) تواجد الشوائب ٥٤
(٣,٢,٥) الافراط في التسخين ٥٥
(٤,٢,٥) عدم مهارة العامل ٥٦
(٣,٥) طرق فحص اللحام ٥٧
(١,٣,٥) طرق الفحص الاتلافية ٥٧
(٢,٣,٥) طرق الفحص غير اتلافية ٥٩
(١,٢,٣,٥) الفحص البصري ٥٩
(٢,٢,٣,٥) السوائل النافذة ٦٠
(٣,٢,٣,٥) الموجات فوق السمعية ٦٠
(٤,٢,٣,٥) الفحص بالاشعة السينية ٦٢
(٥,٢,٣,٥) الفحص بالمجال المغناطيسي ٦٣
(٦,٢,٣,٥) فحص التسريب بالضغط ٦٤
- الفهرست ٦٥