الباب السابع

7

اللحام بالقوس الكهربائي

Electric Arc Welding

تمهيد

يطلق إسم اللحام بالقوس الكهربائي على مجموعة من عمليات اللحام التي تستخدم القوس الكهربائي كمصدر حراري لإتمام عملية الصهر والوصل للمعادن المختلفة ، حيث يستفاد عند اللحام بالقوس الكهربائي المسمى باللحام بالكهرباء ، من درجة الحرارة العالية للقوس الكهربائي في صهر المعادن.

يتكون القوس الكهربائي نتيجة لمرور شحنة كهربائية عالية الشدة بين قطبين تفصلهما فجوة صغيرة تحتوي على غازات .. دائرة كهربائية مقفلة ، من خلال مولدات الجهد والإلكترود والقوس الكهربائي وقطعة الشغل . علماً بأنه في بادئ الأمر لا يسري التيار الكهربائي عند توصيل منبع الجهد ، حيث أن الهواء يعترض الدائرة الكهربائية لأنه غير موصل للكهرباء . وعند تلامس الإلكترود (قضيب اللحام) مع قطعة الشغل لبرهة قصيرة ، يسري تيار كهربائي عالي الشدة نتيجة لدائرة القصر لتتحرك الإلكترونات من الإلكترود إلى قطعة الشغل ، لتتولد كمية كبيرة من الحرارة عند موضع التلامس نتيجة لمقاومة التلامس العالية ، بذلك يستمر تيار الإلكترودات في التدفق عند رفع الإلكترود عن قطعة التشغيل بما لا يزيد عن قطر الإلكترود ، لتتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية تستخدم في صهر كل من معدن الأساس (الأطراف المراد لحاميهما) والإلكترود ومساعد الصهر.

يتناول هذا الباب مبادئ الكهرباء والعوامل التي تؤدي إلى حركة التيار الكهربائي ، وأنواع التيار الكهربائي ، القوس الكهربائي ، والخواص الكهرومغناطيسية للقوس الكهربي ، والأدوات والمعدات المستخدمة في اللحام بالقوس الكهربائي ، والخواص الكهربائية للقوس.

ويتعرض لأسلاك اللحام (الالكترودات) وأنواعها ، واللحام بالقوس الكهربائي وأنواعه ، الشروط الواجب توافرها في اللحام بالقوس الكهربائي ، واستخدام كل من التيار المستمر والمتغير ، ومميزات وعيوب كل منهما.

نبذة تاريخية :

بعد إكتشاف الكهرباء أكتشفت طريقة اللحام بالقوس الكهربائي بين إلكترود من الكربون والشغلة عام ١٨٨٥م في روسيا ، وفي عام ١٨٩٢م تم إكتشاف القوس الكهربائي بين إلكترود مستهلك والشغلة وكان ذلك في روسيا أيضاً ، أما الأكترود المغلف فقد تم إكتشافه عام ١٩٠٤م في السويد.

الأسس الكهربائية

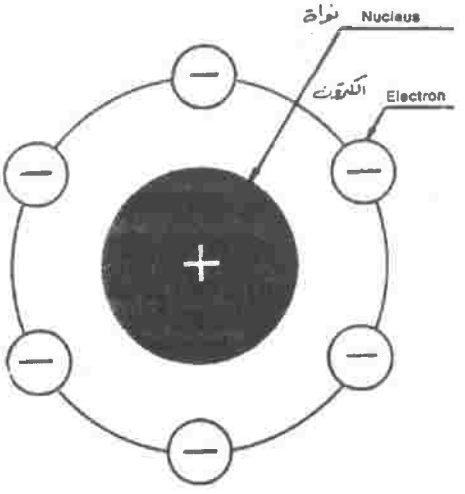
هناك بعض المعلومات عن الأسس الكهربائية ، والوحدات الكهربائية الأساسية وعن قوانين الكهرباء ، التي يجب التعرف عليها قبل البدء في موضوعات اللحام بالكهرباء.

وعلى سبيل المثال فإن دائرة القوس الكهربي في اللحام .. كأي دائرة كهربائية تحتوي على ثلاث عوامل أساسية.

١. **التيار الكهربي** : Electric Current

تتكون جميع المواد من ذرات ، وكل ذرة تتكون من نواة وهي الأكبر وزناً وحجماً ، وتحمل شحنة موجبة يدور حولها إلكترونات سالبة في مدارات تختلف في طاقاتها كما هو موضح بشكل ٧ – ١ ، والتيار الكهربائي وهو المعبر عن سريان الكهرباء في الدائرة ، ويعرف التيار على أنه معدل سريان الكهرباء في السلك.

يقاس التيار بالأمبير .. أي قياس عدد الإلكترونات التي تمر خلال مقطع السلك في الثانية الواحدة ، حيث أن الأمبير وهو هو وحدة قياس التيار



شكل ٧ – ١

تركيب الذرة

٢ـ الجهد : Voltage

الجهد Voltage هو الضغط Pressure الذي يسبب سريان التيار. ويقاس الجهد الكهربي بوحدة قياس فرق الجهد وهو الفولت ، وهي القوة الدافعة الكهربائية.

الضغط الناتج بين نقطتين في الدائرة الكهربائية ينتج عن فرق الجهد Voltage ويسمى بالقوة الدافعة الكهربية Electromotive Force EMF.

٣ـ المقاومة : Resistance

المقاومة الكهربية هي الإعاقة التي تحدث لسريان التيار الكهربي خلال الدائرة الكهربائية ، تعتمد على طبيعة المادة وقطر السلك الموصل ودرجة حرارة الموصل . تقاس المقاومة بالأوم وهي وحدة قياس المقاومة الكهربائية للموصلات.

توجد علاقة وثيقة بين عوامل الثلاثة للدائرة الكهربائية (التيار، فرق الجهد، المقاومة) تعرف هذه العلاقة بقانون أوم وهو كالآتي :-

$$\text{شدة التيار } I = \frac{\text{فرق الجهد } E}{\text{المقاومة الكهربية } R}$$

حيث : I شدة التيار بالأمبير .. A

E فرق الجهد بين طرفي الدائرة بالفولت .. V

R المقاومة الكهربية للدائرة بالأوم .. OHM

كما توجد عوامل أخرى هامة في الدائرة الكهربية وهي :-

القدرة : Power

يعبر عن القدرة عند اللحام بالكهرباء في دائرة ، بمعدل إنتاج اللحام أو باستهلاك الطاقة . تقاس القدرة بوحدة **قياس القدرة الكهربائية** .. الوات Watt ، أو الكيلووات KW.

القدرة = التيار × الجهد ⟸ الوات = الأمبير × الفولت

الطاقة : ENERGY

هي الطاقة الكهربية المستهلكة في دائرة اللحام ، أو الشغل المبذول في الدائرة work . يقاس بالجول.

الطاقة = القدرة × الزمن

= التيار × فرق الجهد × الزمن

الوحدات الكهربائية الأساسية :

تستخدم الوحدات الكهربائية الأساسية في قياس الكميات الكهربائية كما هو موضح بجدول ٧ – ١ .. وهي كالآتي :-

جدول ٧ – ١

رموز وحدات القياس الكهربائية

الوحدات الكهربائية	الرمز بالحروف العربية	وحدات القياس	
		التسمية	الرمز بالحروف الإنجليزية
التيار	ى	أمبير	A
الجهد	ج	فولت	V
المقاومة	م	أوم	Ohm
القدرة	ق	وات ، كيلووات	W , KW
الطاقة	ط	جول	W

العوامل التي تؤدي إلى حركة التيار الكهربائي :

التيار الكهربي ينشأ من حركة الإلكترونات بين الذرات داخل المادة من خلال عدة عوامل وهي كالآتي :-

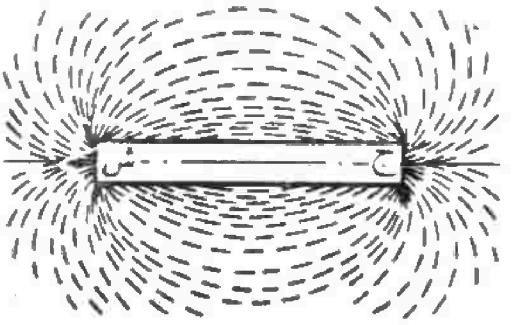
- فرق الجهد Elictric Voltage
- الاحتكاك Friction
- الضغط Pressure
- التسخين Heating
- الضوء Light
- المغناطيسية Magnetism
- التفاعل الكيميائي Chemical Reaction

المغناطيسية الكهربائية (الكهرومغناطيسية) :

تتميز بعض أنواع خامات الحديد بخاصية جذب الأدوات الحديدية والمصنوعة من الصلب إليها ، وتسمى هذه الخامات بخام الحديد المغناطيسي.

يكتسب الحديد أو الصلب المعرضان لتأثير القوى المغناطيسية .. خاصية جذب الأدوات والمواد الحديدية والصلب وتكون بذلك مغناطيسيات إصطناعية . يطلق عليها هذا الإصطلاح لتميزها عن المغناطيسيات الطبيعية.

تتكون قوى الجذب أكبر عند طرفي المغناطيس ، ويسمى هذان الطرفان بالقطبين المغناكيسيين ، ويسمى الخط التخيلي المستقيم الذي يصل بين قطبي المغناطيس بمحور المغناطيس شكل ٧ – ٢.



شكل ٧ – ٢

مغناطيس

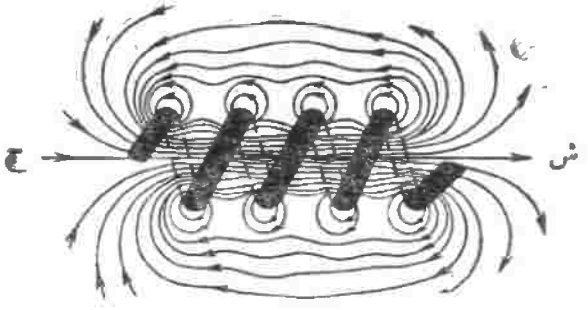
ولو ربط مغناطيس على شكل لإبرة صغيرة بخيط ، فإن هذه الإبرة المغناطيسية ستأخذ دائماً وضعاً واحداً بالنسبة لقضبي الكرة الأرضية ، بحيث تنحرف دائما لينطبق محورها على المحور المغناطيسي الأرضي .. وإن جهاز البوصلة الذي يحدد وضع أقطاب الكرة الأرضية مبني على هذا الأساس.

ولقد إصطلح على تسمكية طرف الإبرة المتجه نحو الشمال بالقطب الشمالي .. ويرمز له بالرمز N ، أما الطرف المضاد فإنه يسمى بالقطب الجنوبي .. ويرمز له

بالرمز S . ويسمى الفراغ المحيط بالمغناطيس والذي يؤثر فيه القوة المغناطيسية بالمجال المغناطيسي . وعادة يكون المجال المغناطيسي متكوناً من خطوط القوى المغناطيسية المتجهة من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي ، وهذه الخطوط مغلقة .. أي ليس لها بداية أو نهاية.

عند مرور التيار الكهربائي بأحد الموصلات ، فإنه يتكون حول هذا الموصل مجالاً مغناطيسياً يمكن ملاحظته باستخدام الإبرة المغناطيسية المعلقة في خيط تعليقاً حراً ، وعند إقتراب الإبرة من الموصل ذي التيار فإنها تحاول دائماً أن تكون ذات وضعاً عمودياً على الموصل.

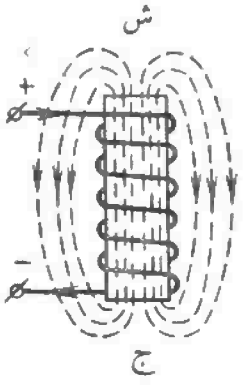
أما إذا لف الموصل بحيث يكون على شكل ياى حلزوني كما هو موضح بشكل ٧ – ٣ ، فإن المجال المغناطيسي للموصل يزداد بعدد من المرات عن المجال المغناطيسي للموصل المستقيم ، لأن المجال المغناطيسي للفات المختلفة يجمع وبهذا يقوى المجال المغناطيسي الكلي . تسمى مثل هذه الوصلات بالملف اللولبي Solenoid.



شكل ٧ – ٣

موصل يحتوي على ملف لولبي

وإذا وضع في داخل الملف اللولبي قضيباً مصنوعاً من الصلب الطري (الحديد الطاوع) ، فإن القضيب يتحول إلى مغناطيساً قوياً شكل ٧ – ٤ . ويسمى القضيب والملف بالمغناطيس الكهربائي.



شكل ٧ – ٤

مغناطيس كهربائي

الحث المغناطيسي الكهربائي

(الكهرومغناطيسي)

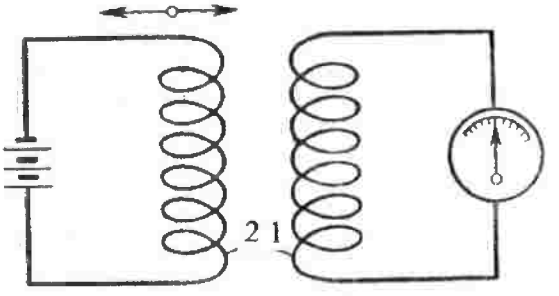
لا يؤدي التيار الكهربائي إلى ظهور مجال مغناطيسي حول الموصل فحسب ، بل إن المجال المغناطيسي نفسه يكون تحت تأثير ظروف معينة يؤدي إلى ظهور تيار كهربائي . فإذا تحرك موصل كهربائي في مجال مغناطيسي ، بحيث يقطع هذا الموصل خطوط القوى المغناطيسية ، فإنه يظهر على طرفي الموصل قوة دافعة كهربائية ، أما إذا كان الموصل على شكل دائرة مغلقة ، فإن التيار الكهربائي سيمر به بصفة دائمة . وتسمى ظاهرة تكون القوة الدافعة الكهربائية في الموصل عند قطعه للمجال المغناطيسي بالحث المغناطيسي الكهربائي.

وينشأ الحث المغاطيسي الكهربائي عندما يكون الموصل ساكناً والمجال المغناطيسي متغيراً ، وتظهر في هذه الحالة في الموصل قوة دافعة كهربائية.

الحث المتبادل :

وإذا وضع في الدائرة الكهربائية الموضحة بشكل ٧ – ٥ ملفين ١ ، ٢ مصنوعين

من سلك موصل ، ومر بالملف ٢ تيار كهربائي ، ثم قربنا الملف ١ وأبعدناه ، لإغنه يتكون بالملف ١ قوة دافعة كهربائية . أما إذا كان الملفين ساكنين ، وتغير التيار في الملف ٢ ، أو فتحت وأغلقت الدائرة الكهربائية ، لإغنه يتكون في الملف ١ قوة دافعة كهربائية .. تسمى هذه الظاهرة بالحث المتبادل.



شكل ٧ – ٥

دائرة للحصول على الحث المتبادل

الحث الذاتي :

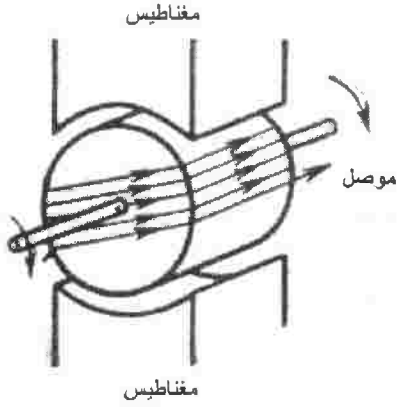
إذا تغير إتجاه التيار في الموصل وأغلقت ثم فتحت الدائرة الكهربائية المغذية للموصل ، فإن المجال المغناطيسي الذي يتكون حول الموصل سوف يتغير.

ويؤدي هذا التغير إلى زيادة أو إنخفاض عدد خطوط القوى المغناطيسية التي تتقاطع مع الموصل ، مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية فيه . وتسمي هذه الظاهرة بالحث الاتي ، كما تسمى القوة الدافعة الكهربائية المنتجة بالحث بالقوة الدافعة الكهربائية للحث الذاتي . ويزداد الحث الذاتي بإزدياد التدفق المغناطيسي المتغير.

مبدأ عمل مولدات التيار المستمر :

بنية فكرة المولدات الكهربائية على خاصية الحث المغناطيسي الكهربائي . شكل ٧ – ٦ يوضح رسم تخطيطي لمبدأ عمل المولدات الكهربائية ، حيث يلف على الأسطوانة المساه بعضو الإنتاج سلك من مادة موصلة ، يوصل طرفاها بمصباح .

عندما تدور الأسطوانة بين المغناطيسيين يؤدي ذلك إلى توليد مجالاً مغناطيسياً ، ونتيجة لذلك تظهر فيه قوة دافعة كهربائية تعمل على إنارة المصباح.



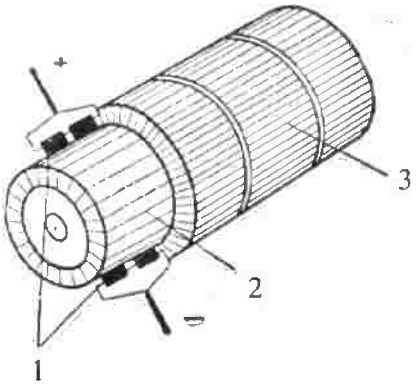
شكل ٧ – ٦

رسم تخطيطي لمولد كهربائي

ولنقل القوة الدافعة الكهربائية من ملفات عضو الإنتاج إلى الدائرة الكهربائية الخارجية ، يستخدم الموحد أو (المبدل) وهو المجمع الموضح بشكل ٧ – ٧.

يتكون المبدل ٢ من قطع دائرية (شرائح) من النحاس المعزول بالميكا ، تكون هذه القطع أسطوانة ذات قطر أقل من قطر عضو الإنتاج ٣ ، ويثبت المبدل على محور عضو الإنتاج ، وتلحم موصلات عضو الإنتاج بشرائح المبدل ، ويدور المبدل المجمع بين مجموعات ثابتة من الفرش الكربونية ١ الموضوعة قطرياً ، وتوصل هذه الفرش بموصلات الدائرة الخارجية.

لا يستخدم المبدل فقط كجزء مكني الذي يسمح بنقل القوة الدافعة الكهربائية من عضو الإنتاج إلى الدائرة الخارجية ، ولكن كذلك كجهاز يقوم بتقديم التيار المتردد الذي يتولد بالحث في ملفات عضو الإنتاج وتحويله إلى تيار مستمر يوجه إلى الدائرة الخارجية.



شكل ٧ – ٧

عضو الإنتاج والمبدل (المجمع)

أنواع التيار الكهربائي :

يوجد نوعان للتيار الكهربائي وهما :-

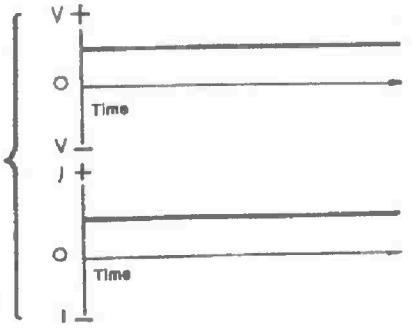
١. التيار المستمر Direct Current .. (D.C)

٢. التيار المتردد Alternating Current .. (A.C)

أولا : التيار المستمر D.C

في هذا النوع من التيار تتحرك الإلكترونات دائماً في نفس الاتجاه من القطب السالب إلى لقطب الموجب ، لذلك يكون القطب الموجب مرتفع الحرارة أكثر من القطب السالب.

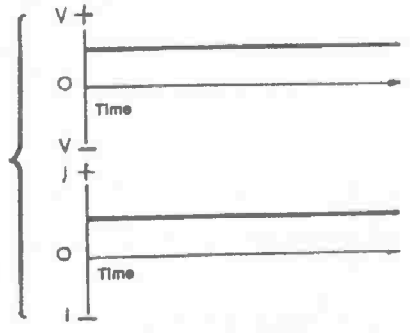
وقد يكون التيار المستمر ثابت Constant D.C .. أي أن قيمة شدة التيار (الأمبير) أو فرق الجهد (الفولت) تتذبذب مع مرور الزمن شكل ٧ – ٨.



شكل ٧ – ٨

التيار المستمر الثابت

وقد يكون التيار المستمر متذبذب Pulsating D.C .. أي أن قيمة شدة التيار (الأمبير) أو فرق الجهد (الفولت) تتذبذب مع مرور الزمن شكل ٧ – ٩.



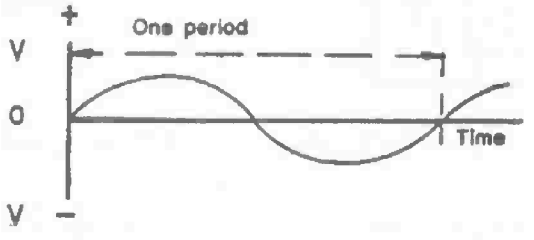
شكل ٧ – ٩

التيار المستمر المتذبذب

ثانيا : التيار المتردد A.C

في هذا النوع من التيار يتحرك سيل الإلكترونات بحيث يغير اتجاهه ومقداره بمعدل ثابت ومنتظم ، لذلك فإن شدة التيار وفرق الجهد يتغيران في المقدار والاتجاه بمعدل ثابت أيضاً، ونتيجة لهذا التغير في الاتجاه فإنه لا يوجد ما يسمى بالقطب الموجب والقطب السالب.

الوقت الذي يستغرقه التيار حتى يغير قيمته في دورة كاملة .. من الصفر إلى أقصى قيمة موجبة ، ثم من الصفر إلى أقل قيمة سالبة ، ثم للصفر . تسمى بالدورة Period كما هو موضح بشكل ٧ – ١٠ . لذلك فإن التيار يمر بنقطة الصفر مرتين في كل دورة.

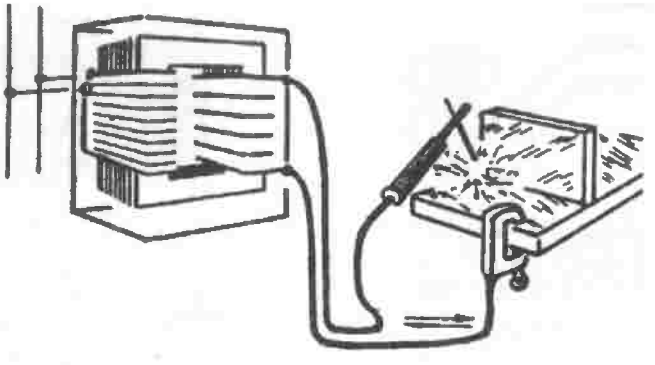


شكل ٧ – ١٠

التيار المتردد

دائرة اللحام ذات التيار المتردد :

كما هو الحال بالتيار المتغير السابق ذكره .. فإن شدة التيار وفرق الجهد يتغيران في المقدار والاتجاه بمعدل ثابت أيضاً ، ونتيجة لهذا التغير في الاتجاه فإنه لا يوجد ما يسمى بالقطب الموجب والقطب السالب . ومن ثم تتساوى كمية الحرارة المتولدة في الشغلة والإلكترود أثناء عملية اللحام شكل ٧ – ١١.



شكل ٧ – ١١

دائرة اللحام بالتيار المتردد

القوس الكهربي : ELECTRIC ARC

يحدث القوس الكهربي أثناء اللحام عندما يمر التيار الكهربائي خلال الثغرة الهوائية ما بين الإلكترود والشغلة المراد لحامها ، ويتم إشعال القوس عند ضرب الإلكترود بسطح الشغلة ، حيث يحدث قصر للدائرة الكهربية Short Circuit في خلال لحظات.

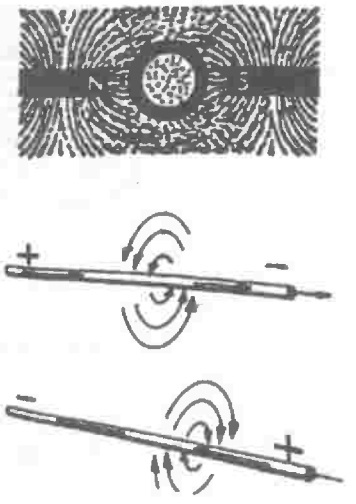
ويمكن إضافة بعض المواد في غلاف الإلكترود تساعد على تأين منطقة القوس الكهربي والثغرة الهوائية ، بحيث تعمل على تحسين واستقرار القوس الكهربائي . ويتمثل دور القوس الكهربي في الآتي :-

- مصدر للحرارة يصل إلى درجة ٦٠٠٠ ^{0}م لإنصهار مادة اللحام والإلكترود.
- يقوم بنقل مادة الإلكترود المنصهر المشغولة المراد لحامها.

الخواص الكهرومغناطيسية للقوس الكهربي :

Electromagnetic Of Arc

من المعروف أن التيار الكهربي له خواص وتأثير مغناطيسي . فإذا مر تيار كهربي بأي موصل فإنه يتكون حوله مجال مغناطيسي متجانس ومستمر ويكون متعامداً عليه شكل ٧ – ١٢ ، وكلما كان إرتفع مقدار شدة التيار كلما كان المجال المغناطيسي المتكون أقوى . يعتمد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي على اتجاه التيار في الموصل.

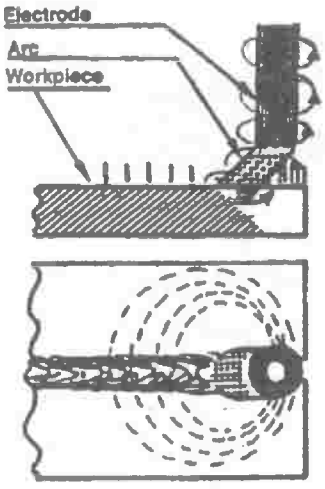


شكل ٧ – ١٢

التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي

التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي أثناء اللحام بالقوس الكهربائي :

أثناء عملية اللحام وخلال القوس الكهربي المتكون بين الإلكترود والشغلة ينتج مجال مغناطيسي حول الإلكترود وحول منطقة القوس الكهربي كما هو موضح بالرسم التخطيطي بشكل ٧ – ١٣ ، وحيث أن خطوط المجال المغناطيسي تأخذ شكلاً دائرياً حول منطقة القوس وتحاول دائماً أن تمر من خلال أقصر الطرق ، وتفضل المرور داخل المعدن عن الهواء ، لذلك تحدث فجوة عند نهاية شريط اللحام ، وهو ما يسمى Magnetic Arc Blow ، وذلك نتيجة لتأثير المجال المغناطيسي للقوس الكهربي ، ويمكن التغلب على هذه الظاهرة ، بحيث لا يحدث عيب بنهاية شريط اللحام من خلال إمالة الإلكترود بزاوية ميل ما بين 30^0 . 40^0 على المشغولة.



شكل ٧ – ١٣

التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي أثناء اللحام بالقوس الكهربائي

الأدوات والمعدات المستخدمة في اللحام بالقوس الكهربائي :

تستخدم أدوات ومعدات اللحام أثناء العمل اليدوي باللحام الكهربائي شكل ٧ –١٤ ، بعض هذه الأدوات تستخدم في إنجاز عملية اللحام ، والبعض الآخر يستخدم في حماية الفني من المخاطر التي قد تحدث أثناء القيام بهذا العمل وهي كالآتي :-

١.ماسك معزول :

الغرض من الماسك هو قمط الأقطاب الكربونية .. في حالة اللحام باستخدام التيار المستمر ، أو قمط أسلاك اللحام (الالكترودات) للملئ .. في حالة استخدام التيار المتغير (المتردد).

٢.كبل معزول :

هو سلك معزول ذو قطر كبير ، الغرض منه هو التغذية بالتيار الكهربائي المستخدم في عمليات اللحام ، يتوقف قطر السلك وجودته على شدة التيار المستخدم.

توص دور الصناعة المنتجة لأدوات ومعدات اللحام ، أن لا يزيد طول الكبل عن ٣٠ متر.

٣.أقنعة وجهية :

الغرض من هذه الأقنعة هو حماية عيني ووجه فني اللحام من تأثير المواد الساخنة، وتأثير الطاقة الإشعاعية للقوس الكهربائي.

تشتمل الأقنعة الوجهية على نوعين ، أحدهما يمسك باليد ، والآخر يثبت بالرأس.

٤.المرايل والقفزات وأغطية الساق :

تستخدم المرايل والقفازات وأغطية الرأس المصنوعة من الجلد في حماية الفنيين من مخاطر تطاير الشرر ، وما يترتب عليه من إصابات وحروق وذلك أثناء قيامهم بأعمال اللحام ، كما تستخدم المرايل المصنوعة من مواد عازلة للحرارة كالاسبستوس لحماية الأجزاء الأمامية للجسم من مخاطر الحرارة الشديدة المنبعثة أثناء عمليات تشكيل المعادن على الساخن.

تتميز المرايل المصنوعة من الجلد بامتصاصها للحرارة والأشعة فوق البنفسجية.

شكل ٧ – ١٤

الأدوات والمعدات المستخدمة في اللحم بالقوس الكهربائي

(أ) أقنعة الوجه.

(ب) ماسك معزول .. (حامل الالكترود).

(ج) مشبك التوصيل الأرضي.

(د) سلك لحام .. (الالكترود).

(هـ) أدوات حماية الجسم (مريلة – قفاز – غطاء رأس – غطاء ساق).

الخواص الكهربائية للقوس

إن القوس الكهربائي هو أحد أشكال التفريغ الكهربائي في الغازات ، وعادة يصطحب تولد وإشعاع قدر كبير من الحرارة.

يمكن حدوث إشعاع الإلكترونات نتيجة للانبعاث الإلكتروني الحراري ، أو الانبعاث الإلكتروني الذاتي أو الانبعاث الإلكتروني الضوئي ، أو الانبعاث الناتج عن تصادم الأيونات الموجبة مع سطح الإلكترود السالب (الكاثود).

وتنتج الطاقة اللازمة لفصل الإلكترونات أثناء الابتعاث الإلكتروني الحراري عن تسخين الإلكترونات . أما الطاقة اللازمة لفصل الإلكترونات أثناء الانبعاث الإلكتروني الذاتي فإنه تحدث نتيجة المجال الكهربائي الذي ينشأ عن توصيل الإلكترودات مع منبع الطاقة الكهربائية.

مبدأ اشتعال القوس الكهربائي :

يتلخص مبدأ اشتعال القوس الكهربائي عند تماس الإلكترود بالمعدن المراد لحامه ، ونظراً لكبر المقاومة الفعالة في منطقة التماس فإن درجة حرارة الإلكترود ترتفع بسرعة كما ترتفع أيضاً درجة الحرارة في الفراغ الهوائي بينهما.

نتيجة لذلك تبدأ الإلكترونات في الخروج من المهبط (الإلكترود السالب). وعند اصطدام هذه الإلكترونات السريعة مع ذرات وجزيئات الهواء فإنها تفصل عنها بعض إلكترونات محولة الهواء بذلك إلى خليط من الأيونات والإلكترونات الحرة.

الأيونات والإلكترونات الحرة عبارة عن دقائق مشحونة ، ومن ثم فإن الهواء يصبح موصلاً للتيار الكهربائي تحت تأثير الإلكترونات المتطايرة من المهبط ، وتتحرك الأيونات السالبة والإلكترونات الحرة إلى المصعد (الأنود . الإلكترود الموجب) حيث تصطدم به ، في حين تتحرك الأيونات الموجبة في اتجاه المهبط (الكاثود . الإلكترود

السالب) لتصطدم به أيضاً . نتيجة لهذه الاصطدامات فإن طاقة حركة الدقائق تتحول إلى طاقة حرارية تحتفظ بدرجة الحرارة المرتفعة للمهبط والمصعد . ويستمر إنبعاث الإلكترونات طالما يشتعل القوس.

ويجب أن يكون فرق الجهد (الفولت) بين الإلكترود عالياً في لحظة اشتعال القوس ، وذلك لإكساب الإلكترونات طاقة حركية هائلة تزيد من تأين الهواء. ولكن بعد لحظة الإشعال ، عندما يكون الفراغ الهوائي ساخنًا ومتأيناً فإن فرق الجهد اللازم لاستمرار اشتعال القوس ينخفض.

كمية الطاقة يعبر عنها بالإلكترون . (الفولت) اللازم بذله لإثارة ذرات أو جزيئات الغاز تسمى بجهد الإثارة ، أما كمية الطاقة فيعبر عنها بالإلكترون . الفولت اللازم بذله لفصل الإلكترون تماماً من ذرة الغاز ، أي لتكوين إلكترون حر وأيون موجب .. لذلك يسمى بجهد التأين.

وكلما انخفض قيمة جهد التأين .. تحسنت الظروف اللازمة لاستقرار اشتعال القوس الكهربائي.

ويمكن تقسيم القوس الكهربائي الموضح بالرسم التخطيطي بشكل ٧ – ١٥ إلى الآتي :-

المنطقة الكاثودية :

المنطق الكاثودية هي الموضحة برقم ١ ، وهي تعتبر مصدراً للإلكترونات . وتحصل الإلكترونات المنفصلة من سطح الكاثود على عجلة تحت تأثير المجال الكهربائي القوي ، وتبتعد عن الكاثود متجهة إلى الأنود . وفي نفس الوقت تتجه الأيونات الموجبة تحت تأثير المجال الكهربائي إلى الكاثود . ويسمى سطح الإلكترود الذي تنفصل منه الإلكترونات بالبقعة الكاثودية.

عمود القوس :

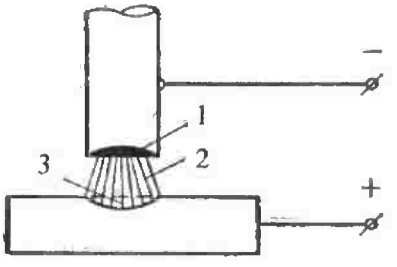
عمود القوس الموضح برقم ٢ هو الذي يساوي بالتقريب طول القوس . يوجد بعمود القوس إلكترونات وأيونات موجبة وسالبة وذرات متعادلة . وتنقل الطاقة اللازمة للاحتفاظ باشتعال القوس من مصدر التغذية خلال المجال الكهربائي.

التيار الكهربائي المار بعمود القوس عبارة عن تيار إلكتروني بحث تقريباً.

المنطقة الأنودية :

المنطقة الأنودية هي الموضحة برقم ٣ الموجودة بالقرب من الإلكترود الموجب (الأنود).

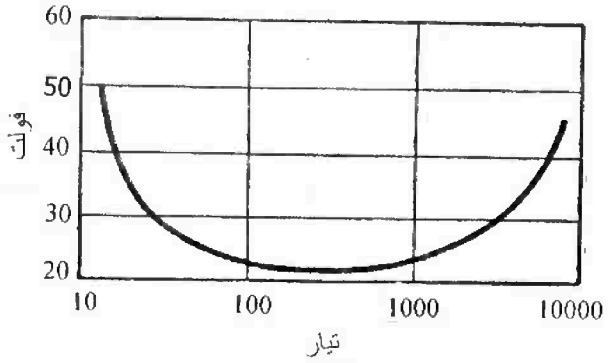
ويعتمد إستمرار اشتعال القوس على مادة الإلكترود وطول القوس ونوع الغاز (الوسط) الذي يشتعل فيه القوس ومقدار التيار المار بالقوس . وإن استقرار اشتعال القوس يتطلب وجود علاقة معينة بين التيار والفولت.



شكل ٧ – ١٥

رسم تخطيطي للقوس الكهربائي

شكل ٧ – ١٦ يوضح منحنى بياني يعبر عن العلاقة ما بين الفولت والتيار في القوس عند ثبات الحيز القوسي . ويسمى بالمنحنى الخصائصي Charccteristic ، وبالتأمل بهذا الشكل يستنتج بأن زيادة التيار في القوس حتى ١٠٠ أمبير يؤدي إلى هبوط الفولت . ويعلل هذا بأن زيادة التيار تحدث زيادة شديدة في مساحة مقطع عمود القوس ، وبالتالي إلى زيادة موصليته. ويسمي بالهابط أو السالب.



شكل ٧ – ١٦

منحنى خصائص القوس الكهربائي

أسلاك اللحام (الالكترودات)

Electrodes

تسمى أيضا بالالكترودات القضيبية ، وتستخدم في عمليات اللحام بالقوس الكهربائي في توصيل الحرارة الشديدة المتولدة عن القوس ، وكمادة إضافية لملئ الفجوات المراد لحامها.

يستعمل للحام بالقوس أقطاب كربونية أو معدنية . الأقطاب الكربونية والجرافيتية عبارة عن قضبان أقطارها ما بين ٨ ـ ٣٠ مم وطولها ما بين ٢٠٠ ـ ٣٠٠ مم . تؤخذ شدة التيار عند اللحام بالأقطاب الجرافيتية ٢ . ٣ أمثالها عند اللحام بالأقطاب الكربونية.

توجد أسلاك اللحام المعدنية على شكل قضبان ، أقطارها ما بين ١ ـ ١٢ مم وطولها يصل إلى ٥٠٠ مم للحام اليدوي ، كما توجد على شكل لفات من الأسلاك للحام الآلي .

تكون أسلاك اللحام اليدوي عارية أو مغطاة ، ويستعمل للحام الصلب الكربوني سلك من الصلب الطري يحتوي على كربون بنسبة ما بين ٠.١ ـ ٠.١٨ % . ويسمح بوجود الفوسفور والكبريت به بنسبة تقع في حدود ما بين ٠.٠٢٥ . ٠.٠٤ %.

تستعمل الأسلاك العارية نادراً لأنها لا تحقق الحصول على لحام جيد ، لذلك فإن اللحام بالقوس يجري عادة بأسلاك مغطاة . وقد تكون الأسلاك رقيقة التغطية أو سميكة التغطية . يتراوح سمك تغطية الأسلاك الرقيق ما بين ٠.١ – ٠.٢٥ مم وسمك تغطية الأسلاك السميكة حوالي ٠.٦ مم أو أكثر.

يمكن تقسيم أسلاك اللحام حسب طريقة تغطيها إلى أسلاك مدهونة أو مضغوطة أو ملفوفة ، وقد تكون التغطية حسب الغرض منها مؤينة أو لضبط الخواص . والتغطية المؤينة عبارة عن دهان يتكون من الطباشير والماء والزجاج السائل ، علماً بأن مثل هذا الدهان يضمن إستقرار القوس فقط ولا يقي المعدن المصهور من تأثير الهواء المحيط به.

تعمل التغطيات الضابطة للخواص بالإضافة إلى تثبيت القوس بوقاية المعدن المصهور من التأكسد والنتردة ، كما تضيف إلى اللحام العناصر السبيكية المطلوبة ، حيث تتحول التغطيات الضابطة للخواص عند انصهارها مع المعدن إلى خبث يغطي اللحام بطبقة منتظمة ، ويحقق وجود الخبث بالإضافة إلى وقايته للحام من تأثير أكسجين الهواء ، وبطء تبريد المعدن المنصهر مما يساعد على إتمام خروج الغازات الذائبة به فيزيد من كثافة اللحام.

يقمط سلك اللحام (الالكترود) في ماسك الالكترود المعزول ، ويحدث تفريغ عند مرور تيار شديد من الإلكترونات عبر الثغرة الضيقة ليحدث قوس كهربائي ، حيث ينصهر الاكترود ومادة المشغولة المراد لحامها نتيجة للحرارة الشديدة المتولدة من القوس الكهربائي ، ويتكون على المشغولة ما يسمى بدرزة اللحام.

أنواع أسلاك اللحام (الالكترودات) : Types Of Electrodes

تستخدم أسلاك اللحام (الالكترودات القضيبية) في لحام المعادن الحديدية المختلفة وأنواع الصلب السبيكي واللاسبيكي بالقوس الكهربائي ، وتنقسم إلى نوعين أساسيين كما هو موضح بشكل ٧ – ١٧ وهما :-

١. إلكترودات غير مغلفة :

يقصد بالالكترودات الغير مغلفة أي الالكترودات العارية ، تلك التي لا تغلفها أو تكسوها أي مساعدات لحام ، ويتم اللحام بها في الهواء الجوي المعتاد ، دون استخدام لأجواء تحتوي على غازات واقية.

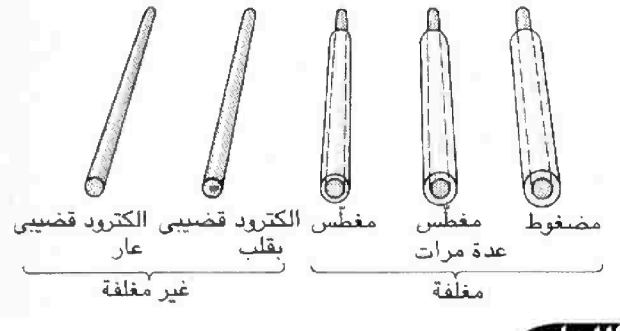
وتطورت الكترودات اللحام تطورا تدريجيا إلى أن وصلت على ما هو عليه الآن ، حيث أضيف عليها أغلفة ، الغرض من هذه الأغلفة هو تحسين عملية اللحام . ومن ثم فقد تلاشت الالكترودات العارية ، وأصبح من النادر استخدامها ، أو يكاد يكون محدودا للغاية .. وذلك في حالات نادرة مقتصرة على الصلب اللدن.

٢. إلكترودات مغلفة :

توجد الالكترودات المغلفة بأنواع مختلفة ، يختلف كل نوع منها على الآخر باختلاف الخواص والمميزات ، لذلك فإنها توصف حسب مجال استخدامها .

تنصهر مادة غلاف الاكترود أثناء اللحام مكونة خبثاً أخف وزناً ، يطفو هذا الخبث فوق الدرزة ويغطيها ، مما يبطئ من تبريدها ، ويؤدي ذلك إلى تحسين نوعية الدرزة ، وتخفيض التقلصات الناشئة ، ومن ثم يضمن لحاماً جيداً للأنواع المختلفة من الصلب.

أما الغازات الناشئة عن انصهار غلاف الالكترود ، فهي تشكل طبقة فاصلة بين الجزء المنصهر والهواء الجوي ، حيث تمنع الأكسدة ، وبذلك يتحقق للجزء المنصهر أثناء عملية اللحام وقاية ، وتزداد هذه الوقاية كلما زاد سمك غلاف الالكترود.



شكل ٧ – ١٧

نمازج للالكترودات القضيبية

يوجد علي أسلاك اللحام (الالكترودات) رموز وحروف وأرقام تميز خوصها ، كما تسهل من اختيار الالكترود الملائم.

أمثلة :

إلكترود ثاني أكسيد التيتانيوم Ti يستخدم في معظم أنواع صلب الإنشاءات العام كما يستخدم في لحام الألواح المعدنية الرقيقة.

إلكترود Kb يستخدم لأنواع الصلب فائقة المتانة وأنواع الصلب الذي يحتوي على نسبة عالية من الكربون ، وخاصة للتخانات الكبيرة.

تسمى الالكترودات القابلة للتغلغل العميق Tf ، أما الكترودات برادة الحديد فإنها تسمى Fe . تتميز هذه الإلكترودات برخص ثمنها بالمقارنة بالالكترودات الخاصة.

تنقسم الالكترودات القضيبية بدورها إلي أنواع أساسية تختلف تبعا للخواص المميزة للغلاف ، حيث تصنف حسب مجال استعمالها إلي الكترودات لحام الوصل والكترودات لحام التكسية.

تنصهر مادة غلاف الالكترود معه أثناء عملية اللحام مكونة خبثاً أخف وزناً من الصلب ، يطفو بأعلى الدرزة ويغطيها .. مما يبطئ من تبريدها . ويؤدي ذلك إلي تحسين نوعية الدرزة وتقليل اجهادات التقلص الناشئة.

وتشكل الغازات الناشئة عن انصهار الغلاف طبقة فاصلة بين الجزء المصهور والهواء الجوي ، هذه الغازات تمنع تغلغل الأزوت والأكسجين في حمام المصهور . فالأزوت يجعل الدرزة قصيفة بينما يسبب الأكسوجين فجوات إكسيدية ، وللحالتين تأثير سلبي على متانة الوصلة اللحامية . لذلك تتحقق وقاية أفضل للمصهور كلما زادت ثخانة غلاف الالكترود . وتنعدم هذه الوقاية عند استعمال الكترودات غير مغلفة.

يستخدم للحام المعادن اللاحديدية وسبائكها الكترودات خاصة ملائمة في تركيبها للمادة المراد لحامها في كل حالة.

اختيار الإلكترود المناسب :

إختيار إلكترود مناسب بمعدل ترسب عالي هو الذي يحقق استقراراً جيداً للقوس ويعطي لحاماً مترسباً منتظماً وناعماً ، وبالتالي يؤدي إلى حسن المظهر كما يوفر أفضل خواص ميكانيكية للوصلة بجانب سهولة إزالة الخبث بعد عملية اللحام.

وعلى هذا الأساس فإن أول عامل يجب أخذه في الاعتبار قبل البدء في أي عملية لحام هو التعرف على التركيب الكيميائي للمعدن المطلوب لحامه ، وبالتالي اختيار الإلكترود المناسب . علماً بأن دور الصناعة المنتجة للإلكترود تعطي توصيات لحدود استخدام الكتروداتها طبقاً لتوصيفها الخاص . فيما يلي أهم مواصفات إلكترود اللحام.

١. خواص الإلكترود :

يجب أن تكون الخواص الميكانيكية لإلكترود اللحام مناظرة مع الخواص الميكانيكية لمعدن الوصلة على وجه التقريب ، وعلي سبيل المثال توجد الكترودات متعددة المواصفات والأنواع ، بعضها مناسب للحام الصلب الكربوني والبعض الآخر للصلب السبائكي ، وهناك أنواع الكترودات تناسب أنواع الخاصة من الصلب السبائكي ذي المقاومة العالية للإجهادات.

وتحتاج الوصلات التي لم تعالج (لم تشطف) أطرافها بدرجة كافية إلى الكترودات ذات تغلغل كبير وتكون سريعة التجمد ، رغم أن بعض الإلكترودات تحوز على هذه الخواص ، إلا أن التناثر الذي يحدث أثناء عملية اللحام يحتاج إلى مهارة خاصة من فني اللحام.

٢. قطر الإلكترود

يختار الإلكترود بصفة عامة بحيث لا يزيد قطره بأي حال من الأحوال عن سمك المشغولة المطلوب لحامها . وعلى سبيل المثال نجد أن فني اللحام يوفر نصف الوقت إذا استخدم الكترودات بقطر ستة ملليمترات بدلاً من الكترودات ذات قطر أربعة ملليمترات من نفس النوع ، وإن من أهم مميزات الإلكترودات السميكة ليس فقط إمكانية اللحام بشدة تيار عالية بل أيضاً توفير الخطوات اللازمة لتغيير الإلكترود ، ولهذه الأسباب فإن الاعتبارات الاقتصادية تشير إلى استخدام الإلكترودات السميكة.

في اللحام الرأسي ولحام السقف يكون أقصى قطر للإلكترود يمكن استخدامه هو أربعة ملليمترات بغض النظر عن سمك المشغلة ، وذلك لأن الإلكترودات الأكبر سمكاً يصعب التحكم في ترسيب قطرات منصهرها ، وعلى هذا الأساس يتم اختيار الإلكترودات سريعة التجمد للحام الرأسي ولحام السقف.

يتأثر قطر الإلكترود إلى حد كبير بشكل الوصلة المطلوب لحامها . وعلى سبيل المثال نجد أنه عند لحام القطاعات السميكة ذات ثغرة ضيقة على شكل حرف V يستخدم الإلكترود صغيرة القطر لخط اللحام الأول الذي يمثل خط الجذر ، وذلك لإمكان تحقيق تغلغل تام عند جذر الوصلة ، ويمكن أن يتبع المسار الأول بمسارات أخرى باستخدام الكترودات أكبر قطراً.

٣. تناسب الإلكترود مع نوع وشدة التيار :

توجد إلكترودات تتناسب مع التيار المتردد ، بينما تتناسب إلكترودات أخرى مع التيار المستمر بقطبيه مباشرة والبعض الآخر بقطبية عكسية ، كما أن بعض الإلكترودات مصممة ، بحيث يمكن استخدامها مع كل من التيارين المتردد والمستمر . ولما كان نوع التيار يؤثر على جودة اللحام فإن شدة التيار المناسب في كل منهما يعتبر أمراً هاماً.

٤. الكفاية الإنتاجية للإلكترود :

يعتبر مقدار المعدن المرسب المنصهر من الإلكترودات في عمليات اللحام من العوامل الأساسية في تقدير معدل الإنتاج ، حيث أنه كلما كان اللحام سريعاً .. كلما كان اقتصادياً ، ويتحكم في هذا الترسيب نوعية الإلكترود المستخدم ، فليست كل الإلكترود يمكن أن يعطي معدل ترسيب سريع مع تيار شديد دون أن يضر بمظهر درزة اللحام (شكل ونعومة السطح وعدم التموج) ، فإن الإلكترودات الغير مخصصة للترسيب السريع قد تشكل صعوبة كبيرة في الاستخدام في هذا السبيل.

٥. حفظ وتخزين إلكترودات اللحام :

المحافظة على إلكترودات اللحام وتخزينها بالطرق الآمنة تعتبر من الأمور الهامة من الناحية التكنولوجية لإمكان الحصول على لحام مثالي . يتمثل التخزين الجيد في البعد عن الرطوبة وعوامل الإتلاف والإجهادات حتى لا تفقد كسوتها ، ولإنقاذ الإلكترودات التي قد تكون قد ترطبت بسبب النقل البحري أو التخزين في أماكن غير جافة ، فإنه يمكن تجفيفها في هواء جاف متجدد ساخن عند درجة حرارة تتراوح ما بين ١١٠ . ٢٢٠ ^{0}م ، بحيث تستغرق فترة تتراوح ما بين ٤٠ . ٦٠ دقيقة.

اللحام بالقوس الكهربائي

Electric Arc Welding

يسمى أيضا باللحام بالكهرباء ، وهو أحد أنواع اللحام بالصهر . تتميز طريقة اللحام بالقوس الكهربائي على سائر الطرق الأخرى في عمليات اللحام بمميزات عديدة، لذلك فإن انتشارها يبلغ نحو ٩٠ % من مجموع طرق اللحام بالصهر.

في هذه الطريقة يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية تؤدي إلى صهر موضعي للأطراف المراد توصيلها لإجراء عملية اللحام المطلوبة.

تتولد الحرارة اللازمة لتسخين وصهر الأطراف المراد لحامها عن طريق قطبين ، أحدهما الإلكترود الذي يتمثل في سلك اللحام ، والآخر هو الجزء المراد لحامه ، ومن خلال الحرارة الشديدة المتولدة من القوس الكهربائي ، يحدث تسخينا سريعا يؤدي إلى انصهار الالكترود والأجزاء المراد وصلها ، ويتم الالتحام عندما تنخفض درجة الحرارة وتتجمد منطقة التأثير ، حيث تتكون ما يسمى بدرزة اللحام .

تستخدم هذه الطريقة في أوربا منذ عام ١٨٨٢ م ، وتطورت عدة تطورات حتى وصلت إلى ما هو عليه في وقتنا الحاضر.

تتم عمليات اللحام بالقوس الكهربائي بإحدى الطرق التالية:-

١. يدوي.
٢. نصف آلي.
٣. آلي.

الشروط الواجب توافرها في اللحام بالقوس الكهربائي :

تتطلب عمليات اللحام بالقوس الاكهربائي بعض الاجراءات للحصول على لحام مثالى ، وعلى سبيل المثال عمليات الضبط الأولى وطريقة مسك الالكترود واشعال القوس ، ثم ممارسة عمليات اللحام بخطوط في إتجاهات وأوضاع مختلفة . لذلك يراعى إتباع الإرشادات التالية لامكان التوصل إلى أفضل النتائج وأكثرها أمناً.

١. معالجة الوصلات قبل لحامها من خلال عمل شطف بكلا الجانبين المراد وصليهما ، علماً بأن اختيار زاوية الشطف المناسبة للواصلة يخفض من كمية اللحام كما يمنع تقلصها.
٢. يلعب وضع اللحام دوراً هاماً في اختيار الإلكترودات ، ففي بعض الإلكترودات تعطي نتائج جيدة في اللحام الأفقي ، بينما يصمم البعض الآخر للحام الرأسي أو

الأفقي على مستوى رأسي ولحام السقف.

٣. يتطلب ظروف استخدام وتشغيل الجزء الملحوم اختياراً واعياً لأسلوب ترسيب المعدن المنصهر من الإلكترود . فمثلاً البيئة الصدئة أو الوصلات ذات المقاومة العالية للإجهادات .. تشكل متطلبات يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار الإلكترودات المستخدمة.

٤. استخدام الإلكترود عند لحام الوصلات المختلفة ، بحيث يكون بزاوية ميل تتراوح ما بين ٣٠ . ٤٠ ^{0} ، حيث أن زاوية ميل الإلكترود لها تأثير على جودة اللحام وخاصة عند لحام الوصلات ذات الزوايا والتناكبية العميقة ، ويراعى عند لحام الوصلات ذات الزوايا أن يكون الإلكترود في منتصفها تقريباً . وفي حالة حدوث نحر في إحدى الجهات ، فإنه يمكن التغلب على هذا العيب من خلال تعديل زاوية الشغل للناحية الأخرى.

٥. ضبط نوع وشدة التيار الكهربائي ، بحيث يعطي لحاماً مترسباً منتظماً ، كما يعطي معدل ترسيب عالي ، بحيث يوفر صفات ميكانيكية جيدة للوصلة ، ويحقق استقرارا جيدا للقوس . علماً بأن التيار المرتفع يؤدي إلى انصهار معدن إلكترود اللحام بسرعة وإنسياب المعدن المنصهر على السطح بطريقة غير منتظمة ، أما التيار المنخفض فإنه لا يستطيع صهر معدن الأساس جيداً ، وبالتالي فإن درزة اللحام تكون ضعيفة وغير منتظمة ، ويجب عدم التحام الإلكترود بالمشغولة ، وعند حدوث ذلك فإنه يجب نزع الإلكترود من المشغولة أو نزعه من المقبض بسرعة.

٦. يراعى عن لحام الدرزات الطولية على شكل شريط لحام ، أن يكون سرعة اللحام بسرعة معتدلة ومنتظمة ، حيث إن سرعة الإلكترود بسرعة مرتفعة ، يؤدي إلى عدم صهر معدن الأساس جيداً .. وبالتالي اختزال (حبس) الغازات والشوائب بالمشغولة ، أما عند إنخفاض سرعة الإلكترود عن المعدل الطبيعي ، فإن المعدن المنصهر ينساب على جوانب السطح ويعطي درزة عريضة ذات تموجات.

٧. يتم إشعال القوس بطريق النقر .. كما هو الحالة عند إشعال عود الثقاب ، بحيث يقترب الإلكترود من الشغلة حتى يلمسها ثم يبتعد عنها بسرعة (يجب أن تكون لحظة التلامس الأولى قصيرة جداً وبصورة خاطفة) . يبعد الإلكترود عن سطح الشغلة بمسافة بسيطة حوالي ٣ مم تقريباً . ويراعى الاحتفاظ ببعد الإلكترود عن المشغولة بمسافة تعادل قطر الإلكترود وهو طول القوس المناسب.

٨. حماية وصلات اللحام من التيارات الهوائية الباردة أو التبريد المفاجئ بقدر المستطاع ، حيث إن التبريد المفاجئ للمعدن المنصهر يؤدي لحدوث تصدعات.

٩. عند لحام الدرز أو الأشرطة فإنه يجب مراعاة تناسبها مع الوصلات والأحمال الواقعة عليها والاستفادة من حرارة لحام الدرز السابقة ، وبالتالي تركيز الحرارة في إذابة قدر أكبر من معدن إلكترود اللحام بالوصلة.

١٠.من الأخطاء الشائعة وخاصة عند لحام الوصلات المستديرة ، البدء في اللحام من نقطة إلى أن نعود إليها مرة أخرى ، علماً بأن هذا الوضع يركز الحرارة في جهة واحدة ، ويؤدي إلى إختلاف درجات الحرارة بالمشغولة اختلافاً كبيراً ، وبالتالي يحدث تقلصات وإنحرافات بالمشغولة ، لذلك فإنه يجب توزيع أماكن اللحام في مختلف الجزء المراد لحامه للحصول على لحام مثالي.

١١.تعتبر خبرة وكفاءة فني اللحام من أهم العوامل في نجاح عمليات اللحام المختلفة والحصول على لحام مطابق للمواصفات . لذلك فإنه يجب اختيار الفنيين ذوي الخبرة والكفاءة عند لحام الوصلات الهامة.

إرشادات عامة :

توجد بعض الإرشادات التي يجب إتباعها وتطبيقها عند ممارسة عمليات اللحام وهي كالآتي :-

١. فحص ماكينة اللحام قبل البدء في عمليات اللحام وضبطها بالتيار المناسب لسمك المشغولة والإكترود.

٢. اختيار القطبية المناسبة إذا كان التيار المستخدم مستمراً.
٣. تأمين مكان العمل .. أي إخلاء مكان العمل من أي مواد قابلة للاشتعال للوقاية من الحرائق الناتجة عن تطاير الشرر.
٤. مراجعة سلامة الكابلات وإحكام توصيلها مع الإلكترود والمشغولة.
٥. التأكد من أن سطح النضد المعدني والمشغولة المطلوب لحامها جافين وغير ملوثين وخاليين من الصدأ والشحومات.
٦. عدم وضع ماسك الإلكترود (البنسة) على منضدة اللحام عند مرور التيار.
٧. يجب غلق مفتاح توصيل التيار الكهربائي الخاص بماكينة اللحام بعد الانتهاء من عمليات اللحام مباشرة.
٨. يجب إزالة الخبث والأكاسيد السطحية بعد الإنتهاء من عملية لحام مباشرة.
٩. يجب ضبط شدة وجهد التيار المناسبين للإلكترود المستخدم ، ويلاحظ أن التيار الموصى به للإلكترود يكون تقريبياً ، لذلك فإنه يجب إعادة ضبط شدة التيار عند البدء في عملية اللحام من خلال التجربة والتصحيح ، ومن ثم فإن خبرة فني اللحام يكون لها دوراً هاماً في تقدير التيار الصحيح.

مبدأ عمل القوس الكهربائي :

Working Principle Of Electric Arc

يولد القوس الكهربائي درجة حرارة عالية تصل إلى ٣٢٠٠ ^{0}م ، هذه الحرارة تكفي لانصهار موضعي للأطراف المعدنية المراد وصلها ، ومبدأ عمل القوس هو إحداث تفريغ عند مرور تيار شديد من الإلكترونات عبر الثغرة الضيقة بين الالكترود (سلك للحام) والجزء المراد لحامه.

ونتيجة لمرور الإلكترونات بسرعة عالية واصطدامها بذرات الهواء أو الغازات الموجودة في الثغرة ، وكذلك الاصطدام بالمشغولة ، تتولد نتيجة لذلك حرارة شديدة تكفي لصهر الالكترود والأطراف المراد وصلها ، وبذلك تمتلئ الفجوة المشكلة بمنطقة الوصل

، وتتم عملية اللحام.

عند توصيل كابلات اللحام غالباً ما يربط القطب الموجب بالمشغولة لاستغلال درجة الحرارة العالية في صهر المادة الأساسية . أما عند لحام أنواع الصلب عالي الكربون والصلب السبيكي ، فإن القطب الموجب يوصل بالالكترود القضيبي.

يعتمد ضبط تيار اللحام على تخانة المشغولة وقطر الالكترود القضيبي ونوعه وتخانة غلافه ، بالإضافة إلي وضع اللحام ، علماً بأن علبة الالكترودات تحمل القيم الارشادية لما تقدم . ويؤثر التيار في عمق الصهر وعمق التغلغل ، الذي تتوقف على قيمته الصحيحة متانة الوصلة الملحومة بصورة رئيسية.

ويتأثر أسلوب مسك وتوجيه الالكترود بهبة القوس وقدرة مادة المشغولة على تسريب الحرارة ، بالإضافة إلي تنافر ثخانة الأغلفة في الالكترودات ذات الأغلفة السميكة ، وبالخبث المتدفق بعد الالكترود . لذلك يستحيل تحديد أسلوب مسك وتوجيه الالكترود مسبقا.

يوجه الالكترود القضيبي بشكل مستقيم ، إذا أريد الحصول على درزة لحامية واحدة . وتحتاج الدرزات الغليظة إلي عدة درزات لحامية فوق بعضها كما هو موضح بشكل ٧ – ١٨ (أ) ، أما توجيه الإلكترود عند لحام درزة حرف V فيكون بحركة بندولية للطبقات العريضة كما هو موضح بشكل ٧ – ١٨ (ب)، ومن الأفضل في الدرزات الزاوية إمالة المشغولة كما هو موضح بشكل ٧ – ١٨ (ج) ، بحيث تلحم الدرزة على شكل عقد لحامية مفردة.

يمكن لحام الدرزات العمودية من أسفل إلي أعلى كدرزة صاعدة ، أو من أعلى إلي أسفل كدرزة هابطة.

وأبسط أسلوب لتوجيه الالكترود عند اللحام في درزة صاعدة هو التوجيه المثلثي ، وخاصة في الألواح السميكة ، أما في الدرزات الهابطة فلا تستخدم سوى الكترودات خاصة تنفذ بها خرزات لحامية خطية.

ويطلق مصطلح وضع اللحام على الوضع الذي تكون عليه الدرزة أداء اللحام ، ويميز على مخططات التشغيل بحروف أبجدية وفقاً للمواصفات القياسية كالاتي :-

w - لحام افقي لدرزات تناكية ودرزات زواية في وضع الحوض

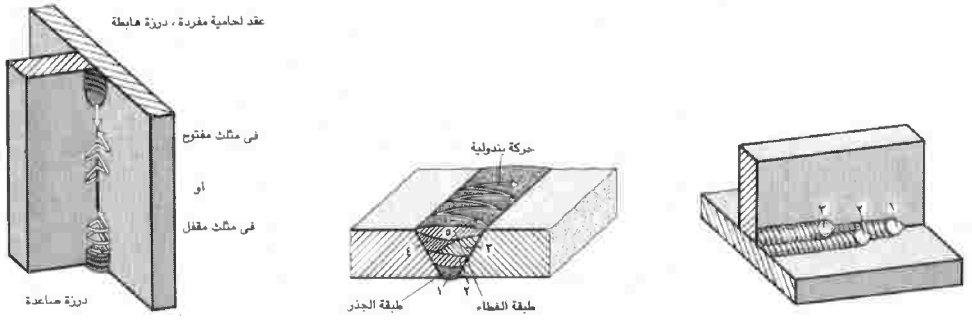
h - لحام افقي لدرزات زواية.

S - لحام من اسفل الى اعلي (درزة صاعدة).

f - لحام من اعلي الى اسفل (درزة هابطة).

q - لحام افقي علي جدار راسي (درزة مستعرضة).

u - لحام بروز.



(ج) (ب) (أ)

شكل ٧ – ١٨

أسلوب توجيه الإلكترود القضيبي

(أ) أسلوب توجيه الإلكترود القضيبي عند لحام درزة زوية عمودية.

(ب) أسلوب توجيه الإلكترود القضيبي عند لحام درزة حرف V.

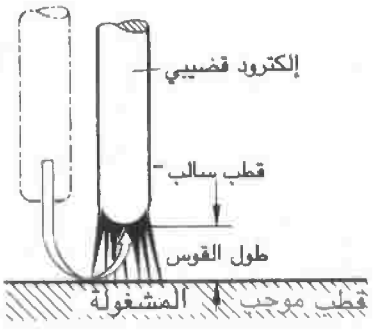
(ج) أسلوب توجيه الإلكترود القضيبي عند لحام درزة زوية عمودية بوضع رأسي.

أنواع القوس الكهربائي : Types Of Electric Arc

تبعاً للغرض من اللحام يستخدم إما قوس الأقطاب المعدنية أو قوس الأقطاب الكربونية.

قوس الأقطاب المعدنية :

يشتعل القوس الكهربائي عند نقر الالكترود القضيبي على المشغولة كما هو موضح بشكل ٧ – ١٩ ، وتنشأ عن القوس الكهربائي درجة حرارة عالية تبلغ عند القطب السالب ٤٢٠٠ °م ، وعند القطب الموجب ٣٦٠٠ °م.

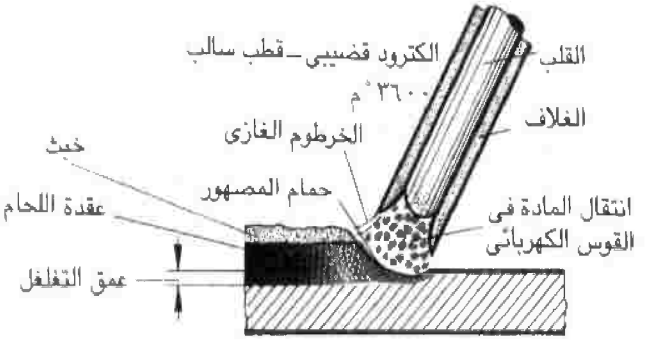


شكل ٧ – ١٩

إشعال القوس

يعتمد طول القوس الكهربائي على نوع الالكترود المستخدم ، حيث يساوي في الالكترودات غير المغلفة ورقية الغلاف ، أما الإلكترودات المغلفة المتوسط التخانة فإن طول القوس يساوي قطر الالكترود نفسه تقريبا.

يمكن سند الالكترودات ذات الأقطار الكبيرة فور قدحها على المشغولة كما هو موضح بشكل ٧ – ٢٠ ، حيث يتحقق للقوس الطول المناسب . ويجب أن يكون القوس قصيراً ما أمكن . لأن الأقواس الطويلة تضعف من نوعية الوصلة اللحامية.



شكل ٧ – ٢٠

القوس الكهربائي

أنواع اللحام بالقوس الكهربائي

Types Of Electric Arc Welding

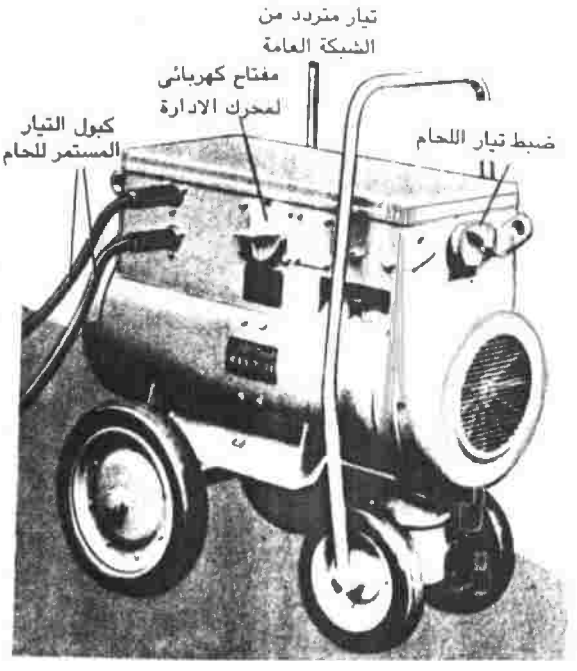
تعتبر طريقة اللحام بالقوس الكهربائي هي أحد أنواع اللحام بالصهر ، حيث يستخدم لهذا الغرض التيار الكهربائي بنوعين أساسيين هما :-

أولا : استخدام التيار المستمر Using D.C

تسمى هذه الطريقة باللحام بالأقطاب الكربونية . يستخدم لهذا الغرض تيار مستمر من خلال محول كهربائي موضح بشكل ٧ – ٢١ لتحويل التيار المتغير .. (المتردد) إلى تيار مستمر.

يمتد القوس الكهربائي دون انقطاع عند استعمال التيار المستمر مع المحافظة على البعد الصحيح بين الالكترود القضيبي والمشغولة.

يتكون المحول الكهربائي من محرك كهربائي يعمل بجهد الشبكة ٢٢٠ أو ٣٨٠ فولت ، ومولد كهربائي ينتج تيار مستمر . المحرك والمولد مركبان داخل بدن واحد ، ويمكن ضبط تيار اللحام من خلال مقبض يدوي.



شكل ٧ – ٢١

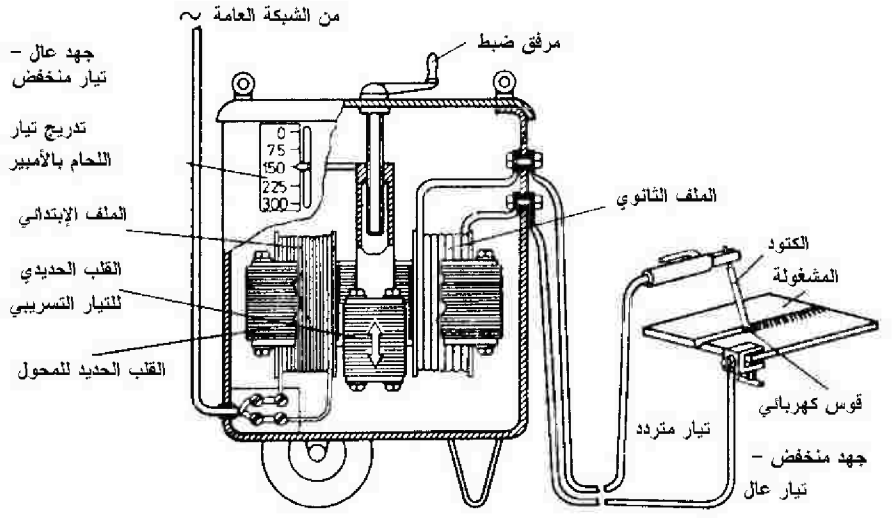
محول كهربائي لتحويل التيار المتغير إلى تيار مستمر

ثانيا : استخدام التيار المتغير (المتردد) Using A . C

تسمى هذه الطريقة أيضا بقوس الأقطاب المعدنية ، وهي من أكثر طرق اللحام بالقوس انتشارا ، وعادة تجرى هذه الطريقة باستخدام التيار المتغير (المتردد) ، بحيث يكون التيار المار فيه منخفض الجهد ، عالي الشدة ، ويمكن أن تصل درجة حرارة القوس الكهربائي الناتج إلى نحو ٣٢٠٠°م.

يستخدم لها الغرض محول جهد لحام الموضح بشكل ٧ – ٢٢ . أقطار أسلاك اللحام (الالكترودات) المستخدمة في عمليات اللحام أقطارها ما بين ١ إلى ١٢ ملليمتر ، وهي مادة ملئ ، يمكن أن تكون هذه الأسلاك عارية أو مغطاة ، وتعتبر الأسلاك المغطاة هي الأكثر انتشاراً ، وذلك لاحتوائها على مساعد صهر الذي يؤدي إلى الحصول على لحامات جيدة.

عند استعمال التيار المتردد قد يتكرر انفصام القوس الكهربائي عدة مرات لتغيير اتجاه التيار ، لذلك يضاف إلي أغلفة الالكترودات مواد تجعل مع القوس الكهربائي موصلا كهربائياً .. أي تؤينه مما يكفل استمراريته.



شكل ٧ – ٢٢

رسم تخطيطي لمحول لحام للحصول على تيار متردد منخفض الجهد

مميزات ماكينات لحام التيار المتغير :

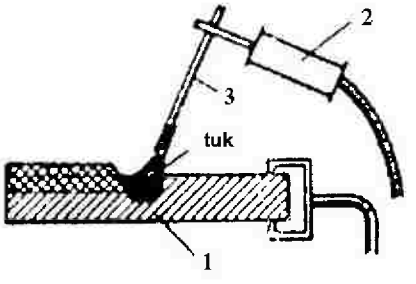
تتميز ماكينات لحام التيار المتغير عن ماكينات لحام التيار المستمر بالمميزات التالية :-

١. ذات أبعاد ووزن أقل.
٢. استعمالها سهل.
٣. صيانتها رخيصة.
٤. انخفاض استهلاك الطاقة الكهربائية بنسبة تصل إلى ٥٠ %.
٥. معداتها أرخص بكثير.

اللحام بالقوس اليدوي بأسلاك معدنية :

يجري اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي في أغلب الأحوال بتيار متغير كما هو موضح بشكل ٧ – ٢٣ باتباع الخطوات التالية :-

١. يوصل أحد كبلات التيار الكهربائي المتغير للجزء ١ المراد لحامه.
٢. يوصل الكبل الآخر بسلك اللحام (الالكترود) ٣ ويقمط عليه من خلال ماسك (مقبض معزول) ٢.
٣. يحدد فني اللحام مكان اللحام ثم يقرب السلك إليه . وبعد تغطية وجهه بالقناع الواقي.
٤. عند لمس المشغولة ١ المراد لحامها بطرف السلك (الالكترود) ٣ ، تتولد حرارة عالية منبعثة من القوس ، لتحدث انصهار بسلك اللحام (الالكترود) ليتساقط ليملأ الفراغ المجهز بين الجزئين المراد وصلهما ، وبذلك يختلط الجزء المنصهر من سلك اللحام مع أطراف المعدن المتعجن في منطقة التسخين ، مكونا على المشغولة ما يسمى بدرزة ، وتم عملية الوصل باللحام عندما تتجمد المادة المنصهرة بمنطقة التسخين.



شكل ٧ – ٢٣

اللحام اليدوي باستخدام الأقطاب المعدنية

١. الجزء المراد لحامه.
٢. ماسك .. (مقبض معزول).
٣. سلك اللحام .. (الإلكترود).

التيار المستخدم في هذه الحالة منخفض الجهد نسبياً ، حيث يتراوح ما بين ٢٠ ـ

٣٠ فولت ، ويكون شدة التيار مرتفعة تتراوح ما بين ٦٠ ـ ٥٠٠ أمبير .. وتصل في بعض الحالات إلى ١٠٠٠ أمبير ، ومن السهل الحصول على هذا التيار بتحويل التيار الكهربائي المعتاد من خلال محول كهربائي الذي يتولى خفض الجهد من ٢٢٠ أو ٣٨٠ فولت إلى ٢٠ أو ٣٠ فولت ، مقابل الارتفاع في شدة التيار إلى القدر الذي يكفي لعملية اللحام.

بصفة عامة تتوقف عملية اللحام على مقدار شدة التيار، وعلى نوع المعدن ، وقطر الكبل الموصل .. وبالتالي نوع وقطر الاكترود المستخدم.

ملاحظة :

يتوقف جودة اللحام أساساً على الاختيار الصحيح لنظام اللحام ، علما بأن إختيار تيار اللحام يكون حسب قطر القطب (قطر إلكترود اللحام) ونوع التغطية وسمك المعدن الملحوم ، ثم تعدل هذه القيمة حسب نوع درزة اللحام ووضعها الفراغي.

جدول ٧ – ٢ يوضح أمثله لنظام لحام الصلب ذي نسبة الكربون المنخفضة بالقوس اليدوي بأسلاك معدنية.

جدول ٧ – ٢

نظام لحام الصلب ذي نسبة الكربون المنخفضة

بالقوس اليدوي بالأسلاك معدنية

سمك المعدن	اللحام التناكبي		اللحام التراكبي وحرف T	
مم	قطب اللحام مم	شدة التيار	قطب اللحام مم	شدة التيار
١.٥	٢	٣٠ – ٥٠	٢.٥	٤٠ – ٧٥
٢.٠	٢.٥	٤٥ – ٧٠	٢.٨ – ٣.٠	٥٠ – ٨٥
٣.٠	٣.٠	٩٠ – ١٣٠	٤.٠	١٠٠ – ١٥٠
٥.٠	٤.٠	١١٥ – ١٦٠	٤ – ٥	١٥٠ – ١٩٠

اللحام بالقوس اليدوي بأسلاك كربونية :

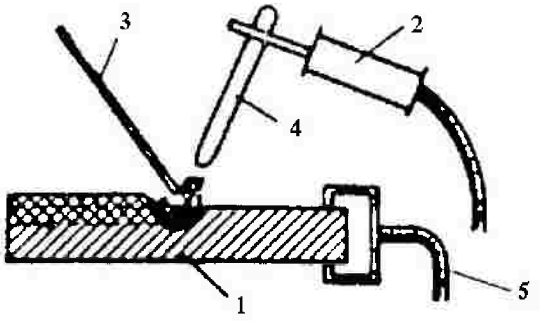
يجري هذا النوع من اللحام عن طريق استخدام أقطاب كربونية ، وأسلاك لحام حشو كما هو الحال في اللحام بالغاز، وتتم عملية اللحام بالقوس الكهربائي باستخدام التيار المستمر، كما هو موضح بشكل ٧ – ٢٤ باتباع الخطوات التالية :-

١. يوصل كابل* القطب الموجب ٥ للتيار المستمر المولد من المحول للجزء المراد لحامه ١.
٢. يوصل كابل* القطب السالب بالقطب الكربوني ٤ ، وقمطه من خلال المقبض المعزول ٢ ، وظيفة القطب الكربوني لا تعدو عن كونها طرفا في قوس يتولد عنه طاقة حرارية عالية فقط.
٣. يلمس فني اللحام طرف القطب الجزء الملحوم ، لتتصل الدائرة ثم يبعده بسرعة عنه ليتكون القوس ، ويشتعل هذا القوس بسهولة ويستمر في الاشتعال بهدوء.
٤. يستخدم الاكترود (سلك اللحام) ٣ للحشو ، الذي ينصهر نتيجة للحرارة العالية المنبعثة من القوس ويتساقط ليملأ الفراغ المجهز بالجزئين المراد وصلهما ، وبذلك يختلط الجزء المنصهر من سلك اللحام مع أطراف المعدن المنصهر في منطقة التسخين ، مكونا على المشغولة ما يسمى بدرزة ، وتتم عملية الوصل باللحام عندما تتجمد المادة المنصهرة بمنطقة التسخين.
٥. يجري لحام الأجزاء الرقيقة دون مادة مرسبة بصهر الحافات المثبتة ، ويستعمل للحام الأجزاء الكبيرة السمك مادة مرسبة على شكل قضبان مستديرة أو مربعة المقطع توضع في الفراغ الفاصل بين حافات اللحام.
٦. ينصح باستخدام اللحام بالأقطاب الكربونية عند لحام الأجزاء المصنوعة من الصلب ذات التخانات الرقيقة والسبائك غير الحديدية . وعادة يكون طول القوس يساوي قطر القطب تقريباً.

يستخدم قطب من الكربون عند اللحام بالقوس الكهربائي في حالة التيار المستمر ، كما يمكن استخدام قطب من الجرافيت . تتميز أقطاب الجرافيت على أقطاب الكربون

بارتفاع معامل التوصيل الكهربائي ، وطول عمرها.

تصنع هذه الأقطاب بأقطار تتراوح ما بين ٨ . ٣٠ ملليمتر ، وطولها ما بين ٢٠٠ إلى ٣٠٠ ملليمتر.



شكل ٧ – ٢٤

رسم تخطيطي للحام بالقوس اليدوي باستخدام أسلاك كربونية

١. الجزء المراد لحامه.

٢. ماسك .. (مقبض معزول).

٣. سلك لحام .. (الكترود).

٤. قطب كربوني أو جرافيتي.

٥. كبل سالب.

*** الكابل : هو سلك موصل للكهرباء ذو قطر كبير.**

تستخدم هذه الطريقة في لحام الأجزاء المصنوعة من الصلب ذات التخانات الصغيرة ، والسبائك الغير طرية والرقيقة ، كما تستخدم في لحام الشقوق والفجوات بالمسبوكات.

تعتبر طريقة اللحام بالقوس الكهربائي بالتيار المستمر باستخدام الأقطاب الكربونية من الطرق النادرة الاستخدام ، حيث تقتصر هذه الطريقة على حالات خاصة.

اللحام بالضغط والحرارة

Heat Pressure Welding

يعتمد لحام الضغط والحرارة على تسخين الأجزاء المراد وصلها باللحام حتى تصل إلى حالة التعجن ، ثم تتعرض منطقة التسخين إلى الضغط ، حيث يتم وصل الأطراف باللحام.

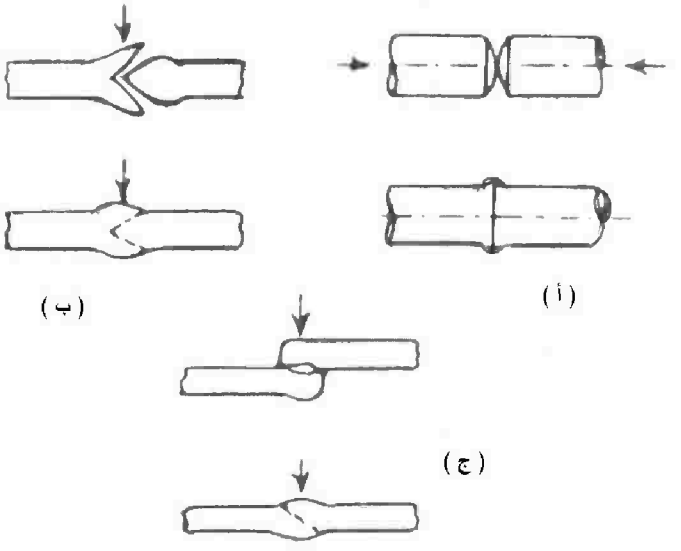
تتميز هذه الطريقة بعدم استخدام مواد حشو ، وبالتالي ضمان عدم تغيير بنية المعدن في طرفي وصلة اللحام.

فيما يلي عرض لأكثر أنواع اللحام بالضغط والحرارة انتشاراً.

١. اللحام بالحدادة : Forge Welding

يعتبر لحام الحدادة من أقدم أنواع اللحام على الإطلاق ، حيث كان يمارس من آلاف السنين في صناعة أدوات الحرب.

وتتلخص طريقة اللحام بالحدادة من خلال تسخين المشغولات المطلوب وصلها حتى تصل درجة حرارتها إلى درجة تجعلها في حالة تعجن ، ويرش مساعد صهر على الأماكن المراد لحامها ، ثم تجرى عملية الوصل بالطرق وذلك بإحدى الطرق الموضحة بشكل ٧ – ٢٥ للحصول على وصلة باللحام الحدادي.



شكل ٧ – ٢٥

اللحام بالحدادة

(أ) لحام متقابل.

(ب) لحام خابور.

(ج) لحام تراكبي.

٢. لحام المقاومة الكهربائية : Electric Resistance Welding

في هذا الأسلوب تستخدم الحرارة التي يولدها التيار الكهربائي عند سريانه خلال المقاومة كمرور التيار بين لوحي صاج مثلا.

لحام المقاومة الكهربائية يسمى أيضا بلحام التلامس ، يعتمد اللحام بهذه الطريقة على استخدام الطاقة الكهربائية للتيار ذو الشدة العالية وتحويلها إلى طاقة حرارية ، خلال الأماكن المراد وصلها ، وذلك من خلال مرور التيار الكهربائي عبر خط الانفصال ، وقبل ممارسة الضغط الرئيسي اللازم لإتمام عملية اللحام ، ومن خلال المقاومة الكهربائية التي يصادفها التيار الكهربائي عبر خط الانفصال فإن الطاقة الكهربائية

تتحول إلى طاقة حرارية ، ويمكن التحكم في شدة التيار اللازم في عملية اللحام عن طريق المحول الكهربائي.

يتراوح الجهد الكهربائي ما بين ٤ . ٦ فولت ، أما التيار الكهربائي فهو عالي الشدة (يلزم استخدام محولات قدرتها ٤٠٠٠ كيلو فولت أمبير) ، وبالتالي تكون الحرارة المتولدة عالية أيضا.

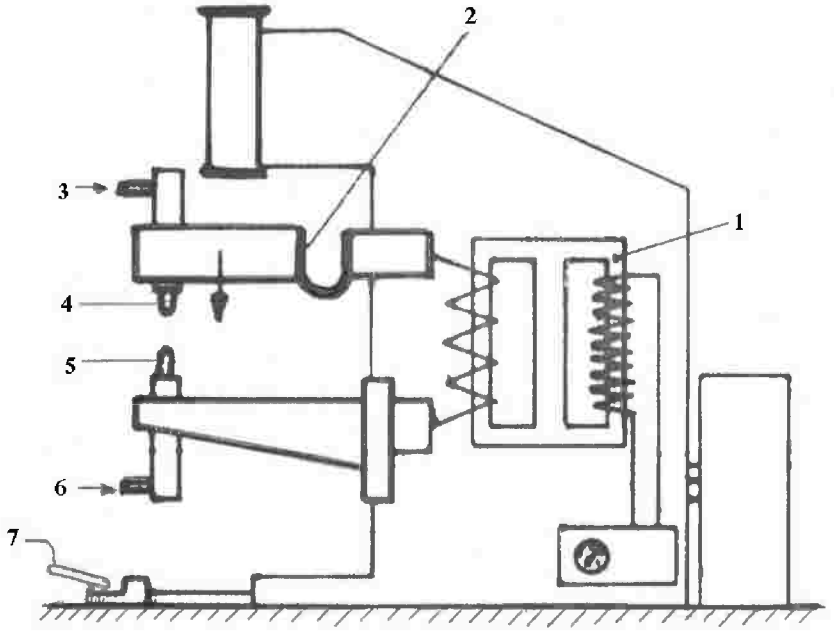
توجد طرق مختلفة لعمليات اللحام بالمقاومة الكهربائية أهمها الطرق التالية :-

لحام النقطة

Spot Welding

يسمى أيضا بلحام البنطة أو لحام البقعة ، تجرى عمليات اللحام بهذه الطريقة على ماكينة لحام النقطة الموضحة بشكل ٧ – ٢٦.

تحتوي الماكينة على أجزاء رئيسية هي .. محول كهربائي للتيار ، وقطب علوي حر الحركة ، حيث يتحرك حركة رأسية إلى أسفل ، ويعود إلى وضعه الطبيعي إلى أعلى عن طريق تجهيزات ميكانيكية وكهربائية ، وقطب سفلي ثابت.



شكل ٧ – ٢٦

ماكينـة لحام النقطـة

١. محول كهربائي للتيار.

٢. نابض ..(ياي).

٣. دخول ماء لتبريد القطب العلوي.

٤. القطب العلوي.

٥. القطب السفلي.

٦. دخول ماء لتبريد القطب السفلي.

٧. دواسة.

يعتبر لحام النقطة (لحام البنطة أو لحام البقعة) من أبسط صور اللحام المقاومة الكهربائية وأكثرها انتشاراً.

يسري التيار الكهربائي عندما يتلامس القطبين الأسطوانيين خلال الجزأين المراد

وصلهما مع تسليط ضغط ، حيث تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية عالية ، ونتيجة للضغط العالي الناتج عن حركة جذب القطب العلوي إلى أسفل تتم عملية اللحام.

ونظرا لارتفاع درجة الحرارة العالية للقطبين أثناء عملية اللحام ، لذلك فقد صممت الأقطاب بحيث يتم تبريدها بالماء.

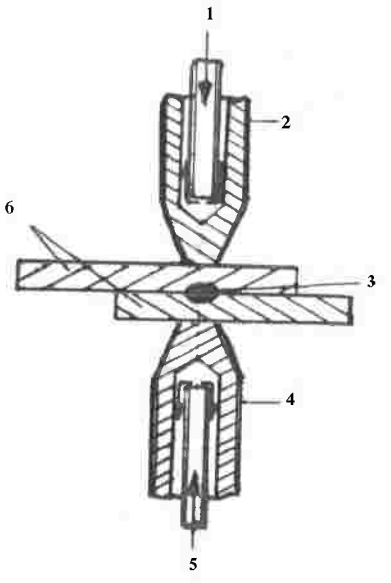
يتراوح قطر دائرة لحام النقطة ما بين ١.٥ إلى ١٣ ملليمتر ، وذلك حسب أقطار الأقطاب المستخدمة . ويجب مراعاة إتمام عملية اللحام قبل وصول منطقة الوصل (الأجزاء المعدنية المراد لحامها إلى حالة السيولة).

الاستخدامات : Applications

يستخدم لحام النقطة على نطاق واسع في صناعة الطائرات والسيارات وعربات السكك الحديدية والآلات الزراعية والأجهزة والمعدات المختلفة ..... وغيرها . وعادة تكون وصلاتها من النوع التراكبي.

أقطاب ماكينة لحام النقطة : Poles Of Spot Welding Machine

تصنع أقطاب ماكينة لحام النقطة بشكل أسطواني من سبائك النحاس ، وتتعرض الأقطاب إلى درجات حرارة عالية ، لذلك صممت بحيث يتم تبريدها بالماء أثناء عمليات اللحام وشكل ٧ – ٢٧ يوضح الأقطاب وحركة التبريد بالماء أثناء عملية اللحام.



شكل ٧ – ٢٧

تبريد الأقطاب بالماء أثناء عملية اللحام

١. دخول ماء التبريد إلى القطب العلوي.

٢. القطب العلوي.

٣. نقطة اللحام.

٤. القطب السفلي.

٥. دخول ماء التبريد إلى القطب السفلي.

٦. الجزين المراد لحامهما.

دورة لحام النقطة : Spot Welding Cycle

تتم دورة لحام النقطة في أربعة مراحل متسلسلة وهي كالآتي :-

المرحلة الأولى : Fiest Stage

هي مرحلة الضغط الأولى ، حيث يتم الضغط على سطحين الجزأين المراد وصلهما عن طريق القطبين ELECTRODES قبل سريان التيار الكهربائي للتسخين ، ويقاس زمن هذه المرحلة بالزمن المنقضي بين لحظة بدأ تطبيق الضغط ولحظة بدء

التيار الكهربائي للتسخين.

المرحلة الثانية : Second Stage

هي مرحلة التسخين ، حيث يسري التيار الكهربائي في المشغولة عن طريق القطبين ، مع استمرار الضغط ، ويقاس زمن هذه المرحلة من بدء لحظة مرور التيار الكهربائي حتى انقطاعه في نهاية هذه المرحلة ، للوصول إلى درجة حرارة اللحام المناسبة.

المرحلة الثالثة : Third Stage

هي المرحلة الأساسية للحام ، حيث يطبق الضغط المناسب للحام Forging Press ، ويقاس هذا الزمن من لحظة انقطاع التيار الكهربائي إلى لحظة بدء إزالة قوى الضغط.

المرحلة الرابعة : Fourth Stage

هي مرحلة إزالة الضغط ، حيث يزال الضغط كليا تمهيدا لرفع المشغولة.

لحام الخـط

Seam Welding

يسمى لحام الخط بلحام الدسرة أو اللحام التناكبي الوميضي ، وهو لحام متصل يتكون من سلسلة متشابكة من لحام النقطة . الأقطاب المستخدمة في هذا اللحام على هيئة أقراص (بكرات) دوارة .

يربط الجزأين المراد لحامهما بفكوك قمط ، حيث يأخذ القرص العلوي حركته الدائرية من خلال تجهيزات ميكانيكية ، أما القرص السفلي فيكون حر الحركة حول محوره شكل ٧ – ٢٨.

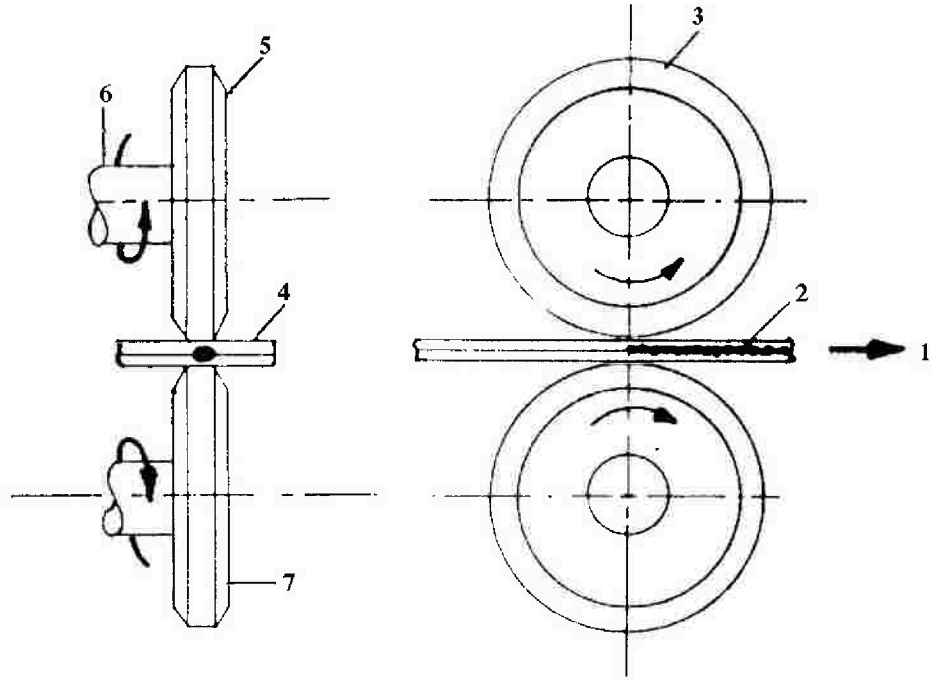
تجرى عملية اللحام بعد ضغط القرصين على الأجزاء المراد ووصلها ، ويوصل التيار فيحدث اللحام على طول خط التماس من خلال الحركة الدائرية البطيئة للقرصين

، تتولد درجة حرارة اللحام المصحوبة بشرر متطاير بتكرار تلامس وفصل الجزأين في موضع اللحام . يمكن أن يكون اللحام بشكل خط مستمر أو متقطع.

يكون اللحام المستمر على هيئة خط ، ويعتمد عرض خط اللحام على عرض الأجزاء الملامسة من القرصين على المشغولة ، أما وصلات اللحام المتقطع فهي ذات جودة عالية . إلا أنها تكون اقل نعومة.

تصنع الأقراص (البكرات) من نفس المواد التي نصنع منها أقطاب لحام النقطة .. أي من سبائك النحاس.

يستخدم اللحام الخطي في لحام خزانات المياه والزيت والبنزين والمواسير ، والعديد من الأجزاء المصنوعة من الصلب والمعادن الغير حديدية.



شكل ٧ – ٢٨

عملية اللحام الخطي

١. اتجاه حركة الجزء الملحوم.
٢. خط اللحام.
٣. قرص القطب الأسطواني العلوي.
٤. الأجزاء المراد لحامها.
٥. قرص القطب الأسطواني العلوي.
٦. محور الدوران.
٧. قرص القطب الأسطواني السفلي.