الباب التاسع

9

أساليب اللحام الخاصة

تمهيد

عادة يتم لحام المعادن المختلفة بالطرق التقليدية .. أي بلحامها بالأكسي إستيلين أو بالقوس الكهربائي ، ولكن في بعض الأحيان يتطلب إستخدام أساليب مختلفة ، وعلى سبيل المثال عند لحام المقاطع الكبيرة والثقيلة مثل المصبوبات الكبيرة . قضبان السكك الحديدية والترام . المواسير ذات الأقطار الكبيرة . الأجزاء الضخمة للمعدات البحرية .. وغير ذلك من المشغولات التي لا يمكن نقلها ، وبالتالي يتم لحام مثل هذه الأجزاء بأماكنها ، وأيضاً عند لحام الأجزاء ذات المعادن المختلفة ، ولحام الأجزاء الداخلية الدقيقة والتي لا يجاوز مساحة اللحام بها عن ٠.١ مم ..... وغيرها من الأمثلة.

ليتناول هذا الباب أساليب اللحام الخاصة كاللحام بالثرميت . اللحام بالقوس الكهربائي المحجب باستخدام غاز واق أو غاز خامل . اللحام بالقوس المغمورة . اللحام والقطع بقوس البلازما . اللحام بالحزمة الالكترونية.

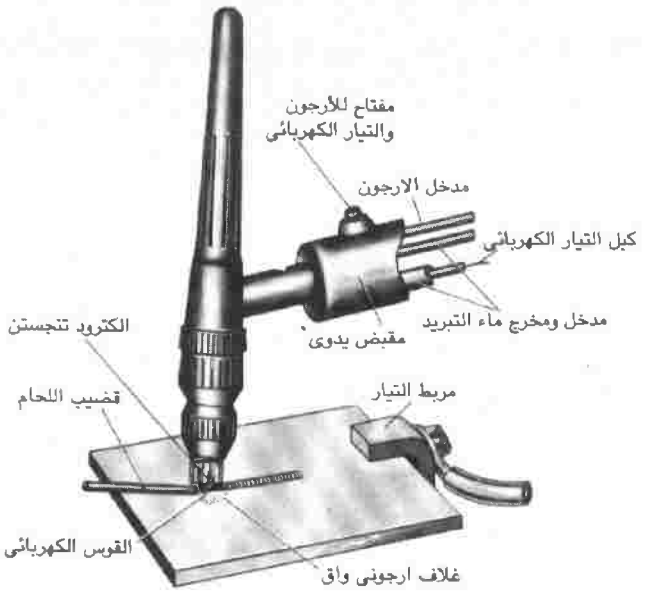
كما يتعرض للحام والقطع بالحزمة الضوئية مثل اللحام بشعاع الليزر والطرق المختلفة لتولد هذه الأشعة . اللحام بالضغط على البارد . اللحام بالذبذبات فوق السمعية . اللحام بالاحتكاك . اللحام بالتكسية . التكسية السطحية .. (التكسية بنفس مادة الأسطح المراد تجديدها . التكسية بطبقة صلده . التكسية بقوس البلازما . التكسية برش المعادن) ..... وغيرها من أساليب اللحام الخاصة مع عرض الأمثلة التطبيقية ذات العلاقة.

اللحام بالقوس الكهربائي المحجب

بغاز واق أو بغاز خامل

بالاضافة الي القوس الكهربائي كمصدر للحرارة ، يحتاج الأمر الي غاز يمنع تسرب أكسوجين وأزوت الهواء الجوي الي حمام المصهور ، في هذا الأسلوب يحجب الجزء الجاري لحامة عن الأكسجين والنتروجين الجوي ، عن طريق استخام غاز يحيط بالقوس الكهربائية ومنطقة اللحام وذلك بدلا من تغليف الألكترود.

أما في اللحام بالتنجستن في غاز واق فيستخدم الارجون باعتباره غازاً خاملاً ، ولذلك تسمي هذه الطريقة أيضا بلحام الارجون ، حيث يطرد الارجون غير القابل للاحتراق أكسوجين الهواء ، بعكس الأيدروجين الذي يتحد معه في أسلوب اللحام بالقوس الكهربائي . ويتولد القوس الكهربائي بين الكترود جديد من التنجستن وبين المشغولة ، وتضاف المادة المساعدة يدويا كما هو موضح بشكل ٩ – ١ ، ويتم اللحام بالتيار المستمر أو التيار المتردد حسب نوع الخامة . فعند لحام المعادن الخفيفة لايستخدم سوي التيار المتردد.



شكل ٩ – ١

مشعل لحام لأسلوب اللحام بالتنجستين في غاز واق

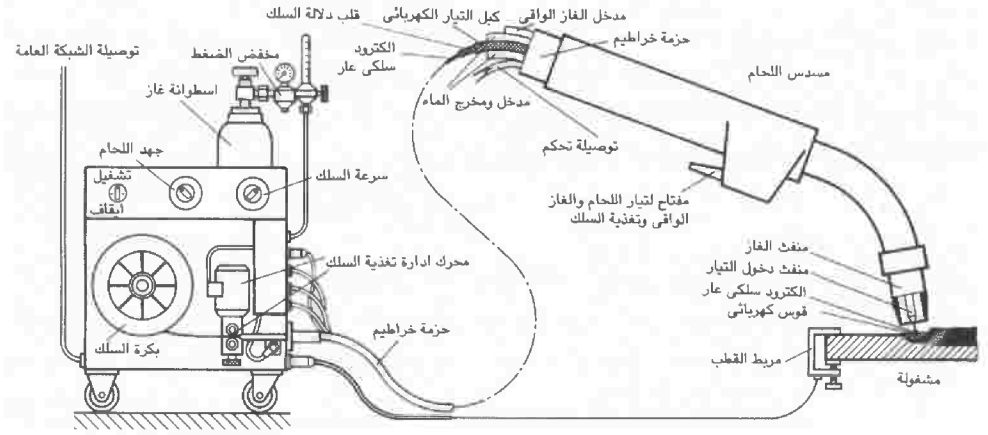
مميزات اللحام بالتنجستين :

يتميز أسلوب اللحام بالتنجستن في غاز خامل بخاصية تدمير الأكاسيد مما يغني عن استخدام مساعدات اللحام كما أن أهم مميزاته المميزات التالية :-

١. إنعدام التآكل الكيميائي الذي يسببه مساعد اللحام.
٢. إنخفاض فترة اللحام.
٣. عدم تعرض المشغولات للاعوجاج.
٤. المظهر الحسن للدرزة اللحامية.

يستخدم في لحام المعادن في غاز واق سلك عار ملفوف حول بكرة (الكترود سلكي عار) بدلا من الكترود التنجستن . وتجهز الاسلاك خصيصاً لهذا الاسلوب باقطار ٠.٨ . ١ . ١.٢ . ١.٦ . ٢.٤ مم . يوصل الالكترود السلكي من البكرة الي مسدس اللحام عبر جهاز التغذية خلال حزمة من الخراطيم المرنة ، ويمكن توجيه مسدس اللحام يدوياً أو ميكانيكياً ، ويجري التحكم في عناصر اللحام بمفتاح كهربائي علي مقبض المسدس كما هو موضح بشكل ٩ – ٢ ، ويستمد تيار اللحام من مقبس للتيار المستمر ، حيث يسري الي الالكترود السلكي عبر منفث توصيل في مسدس اللحام قبيل بلوغ موضع اللحام.

تبلغ شدة التيار في طرف السلك القصير الحامل للتيار الكهربائي درجة عالية لصغر مساحة مقطعه ، مما يحقق قدرة صهر عالية وتغلغلا أعمق.



شكل ٩ – ٢

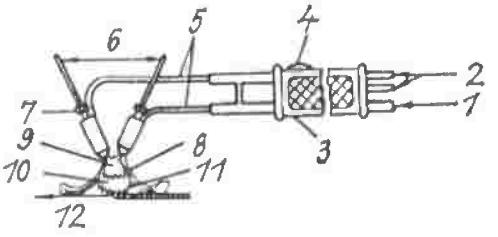
رسم تخطيطي لتجهيز لحام المعادن في غاز خامل وغاز فعال

يستخدم في لحام المعادن اللاحديدية وأنواع الصلب السبيكي عالي الخلط والصلب الاوستنيتي غاز الارجون الخامل للتحجيب الوقائي ، علي حين يطبق أسلوب لحام المعادن في غاز فعال علي أنواع الصلب اللاسبيكي والسبيكي منخفض الخلط ، حيث يستخدم كغاز واق ثاني أكسيد الكربون رخيص الثمن أو غازات خليطة مكونة علي سبيل المثال من ٨٠ % أرجون ، ١٥ % ثاني أكسيد الكربون ، ٥ % أكسوجين .. الطرق التالية تندرج تحت هذا النوع من اللحام.

لحام القوس بالهيدروجين الذري :

مبدأ عمل لحام القوس بالهيدروجين الذري من خلال إلكترودين من التنجستن يستنفدان بمعدل بطيئ جداً ، نظراً لارتفاع درجة حرارة انصهارها إلى ٣٣٧٠ ^{0}م . يغذي اللحام بالغاز الوقائي من خلال فوهتين . هذا الغاز يحيط بالقوس الكهربائية الذي يصلح بصفة خاصة في تكسية الأنواع المختلفة من الصلب السبائكي باللحام ، فضلا عن لحام البرونز . النحاس الأصفر . الرصاص . المعادن الخفيفة ، ويمكن بهذا الأسلوب الحصول على وصلات لحام نظيفة خالية من القشور.

يستعمل عند اللحام بهذه الطريقة الهيدروجين الجزئي المار من خلال فوهة تقدح بين إلكترودين من التنجستين أو من مادة أخرى مناسبة ، حيث يتحول الهيدروجين إلى حالته الذرية ، ثم يتحد من جديد إلى حالته الجزئية لإمداد بالحرارة اللازمة للحام . شكل ٩ – ٢٤ يوضح مشعل لحام بالهيدروجين الذري

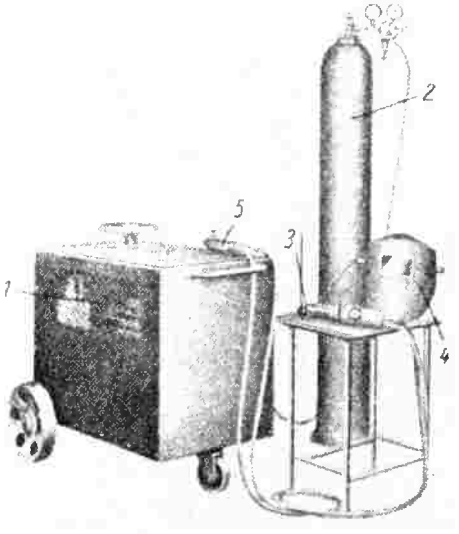


شكل ٩ – ٢٤

مشعل لحام بالهيدروجين الذري

١. غاز الهيدروجين.
٢. تيار اللحام تيار متردد.
٣. مقبض معزول .
٤. عجلة ضبط القوس.
٥. أنبوبتان لتوصيل الهيدروجين والتيار.
٦. إلكترودان من التنجستين.
٧. زنق قمط.
٨. إحتراق الهيدروجين.
٩. تفكك الهيدروجين.
١٠. إتحاد الهيدروجين من جديد.
١١. مروحة القوس.
١٢. خط اللحام.

يستخدم في هذا اللحام الهيدروجين غازاً وقائياً ، حيث يسحب من اسطوانات مصنوعة من الصلب أما التيار المتردد فهو النوع الوحيد من التيار الكهربائي الذي يستخدم في هذا اللحام ، وللوصول إلى درجة حرارة اللحام العالية يسخن الألكترود إلى ٢٧٠٠ ^{0}م ، وهي درجة الحرارة التي ينفصل عندها جزأي الهيدروجين إلى ذريته . وهذا الانفصال يحتاج إلى حرارة ، ومن ثم فإنه يمكن سحبها من الالكترودين ومن القوس الكهربائي . وتتحد ذرات الهيدروجين مرة أخرى إلى جزيئات عند حافة القوس ، أي عند اللحام مباشرة ، وبهذه الكيفية تنقل الحرارة مباشرة إلى موضع اللحام. شكل ٩ – ٢٥ يوضح مجموعة كاملة من المعدات المستخدمة في لحام القوس بالهيدروجين الذري.



شكل ٩ – ٢٥

مجموعة كاملة من المعدات المستخدمة في لحام القوس بالهيدروجين الذري

١. محول اللحام.

٢. اسطوانة هيدروجين مزودة بصمام تحكم في الضغط.

٣. ماسك الإلكترود مزود بطرفي توصيل التيار الكهربائي وتوصيلة غاز.

٤. خوذة مزودة بزجاج واقي لحماية فني اللحام.

٥. صندوق توزيع الغاز والتيار الكهربائي.

لحام القوس المحجب بغاز خامل :

يتلخص مبدأ عمل لحام القوس المحجب بغاز خامل من خلال استخدام الأرجون أو الهليوم غازاً وقائياً . في اللحام المحجب بالأرجون يقدح القوس الكهربائية بين الالكترود من التنجستين وبين الشغلة ، ويغذي السلك (معدن الملء) في منقطة القوس يدوياً أو آلياً باستخدام مشعل خاص . ويتسخدم الأرجون وهو غاز خامل لا يتحد بالأكسيجين كما إنه غاز وقائي ، ويعرف هذا الأسلوب باسم لحام القوس المحجب بغاز الأرجون . يستخدم بصفة خاصة في لحام ألواح الألمونيوم ذات التخانات الرقيقة التي لا تتجاوز ٣ مم.

في اللحام بالقوس المحجب بغاز خامل ، يقدح القوس الكهربائي بين سلك اللحام وبين الشعلة ، وفي هذا الاسلوب لا يستخدم الالكترود التنجستين بل يستخدم الأرجون كغاز وقائي ، ويغذي سلك اللحام آلياً من خلال لفة مركبة برأس اللحام (تشبه المسدس) يمكن توجيهه باليد أو بوسيلة ميكانيكية.

سرعة اللحام في هذا الأسلوب أكبر منها في السرعة المتبعة في لحام القوس المحجب بغاز الأرجون ، حيث يصل معدل ترسيب الالكترود إلى ١٢ كجم في الساعة.

يحجب كلا الأسلوبين بالأرجون أساساً ، ويستخدم في لحام الصلب السبائكي والمعادن غير الحديدية وخاصة المعادن الخفيفة ، بهذا الأسلوب يمكن انتاج دروات لحام مقاومة للتآكل ، وعند لحام درزات طويلة في الخزانات المصنوعة من الألمونيوم مثلا ، يمكن الاقتصاد في الوقت بنسبة ٥٠ % من الوقت المستنفد في اللحام بالطرق الأخرى.

لحام القوس المحجب بغاز ثاني أكسيد الكربون:

استخدم ثاني أكسيد الكربون حديثاً كغازاً وقائياً ، وقد حقق تقدماً ملحوظاً في هذا المجال . رأس اللحام المستخدم في هذا الأسلوب يشبه المسدس ويوجه باليد ، ويشتمل على ترتيبات للتغذية الآلية بسيخ اللحام والغاز الوقائي والماء الذي قد يستخدم في عملية التبريد.

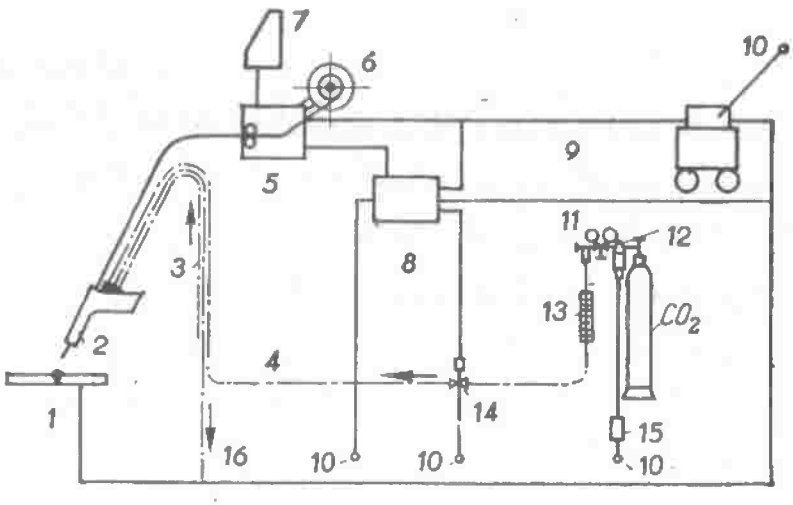
يغذي سلك اللحام في رأس اللحام من كبل مرن ملفوف على بكرة تدار بمحرك . أما الغاز والماء فيغذيان بوساطة أنابيب (خراطيم).

هذا الأسلوب يستخدم التيار المستمر عادة ، لأنه يعطي قوساً كهربياً ثابتاً ، ويصهر السلك عند القطب الموجب . وهذا يجعل الفاقد الذي ينتج عن الرذاذ أقل ما يمكن . ويبلغ طول القوس في هذا الأسلوب ما بين ١ ت ٢ مم فقط .. وتعتبر هذه قيمة منخفضة إلى حد ما.

ينبغي تسخين مخرج اسطوانة ثاني أكسيد الكربون بمسخن كهربائي لمنعها من التصلب نتيجة تجمد الغاز . وتلزم كمية من ثاني أكسيد الكربون تتروح ما بين ١٢ . ١٥ لتر في

الدقيقة ، وتبلغ سرعته ما بين ٠.٤ . ٠.٦ متر في الدقيقة . شكل ٩ – ٢٦ يوضح رسم تخطيطي للجهاز المستخدم في هذا الأسلوب.

تتمثل المزايا الاقتصادية للاسلوب اللحام بجهاز نصف آلي في ارتفاع معدل ترسيب الالكترود نتيجة ارتفاع الحمل النوعي للتيار ، حيث يصل إلى ١٣٠ جم في الدقيقة باستخدام سيخ لحام قطره ١.٦ مم ، الذي يمر خلاله تيار شدته ٣٥٠ أمير بجهد مقداره ٣٥ فولت . ويبلغ هذا المعدل ضعف أو ثلاثة أضعاف معدل الترسيب في اللحام اليدوي بالقوس.



شكل ٩ – ٢٦

رسم تخطيطي لجهاز نصف آلي

يستخدم في لحام القوس المحجب بغاز ثاني أكسيد الكربون

١ – الشعلة

٢– رأس اللحام

٣– مدخل الماء المستخدم في التبريد.

٤– مورد ثاني أكسيد الكربون .

٥– ترتيبة التغذية بسلك اللحام .

٦– لفة سلك اللحام .

٩– مصدر التيار .

١٠– مأخذ الكهرباء.

١١– صمام اعتاق الضغط .

١٢– مسخن كهربائي .

١٣ – عداد تدفق الغاز .

١٤– عداد تدفق ثاني أكسيد الكربون .

٧- منظم .
١٥- محول كهرباء .
٨- وحدة توليد القدرة .
١٦- ماسورة رجوع الماء المستخدم في التبريد.

مميزات لحام المعادن في غاز واق :

يتميز لحام المعادن في غاز واق بالمميزات التالية :-

- إتاحة مراقبة حمام المصهور جيداً ، والاستغناء عن إستبدال الالكترودات ، مما يخفض في إستهلاك الالكترودات.
- إنعدام الخبث.
- نشوء طبقة جذرية جيدة.
- الاقتصاد في إستهلاك المادة المساعدة لصغر زاوية انفراج الدرزة ، حيث تكون حوالي ٣٥ ^{0} .
- توفير زمن التشغيل بنسبة تتراوح ما بين ٣٥ ـ ٥٠ % بالمقارنة مع أسلوب اللحام اليدوي بالاكترودات القضيبية.
- يمكن تطبيق هذا الأسلوب بشكل أتوماتي أو شبه أوتوماتي.

تلحم الطبقات الجذرية والألواح الرقيقة بقوس كهربائي قصير (تيار كهربائي حتي ١٥٠ أمبير) ، والألواح السميكة بالقوس الطويل أو بالقوس . وللحصول علي طبقة جذرية جيدة نظيفة ، يجب أحداث شق عرضه ما بين ٢ . ٣ مم ، ويتم اللحام من أعلي الي أسفل بزاوية تتراوح ما بين ٤٥ ^{0} الي صفر .. حسب سرعة اللحام ، كما يتم الحصول علي سطح ناعم للذروة في الألواح الرقيقة باللحام من أعلي الي أسفل بزاوية قدرها ٦٠ ^{0} تقريباً.

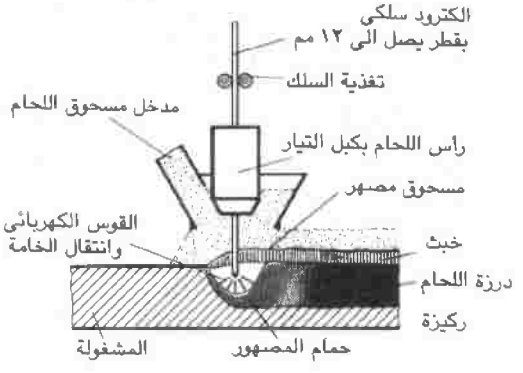
اللحام بالقوس المغمورة

اللحام بالقوس المغمور يعني اللحام تحت مسحوق . هذا الأسلوب عبارة عن لحام آلي للألواح التي تتراوح تخانتها ما بين ٢ الي نحو ١٥٠ مم . يستخدم هذا اللحام في تكسية أنواع الصلب السبيكي واللاسبيكي.

يشتعل القوس الكهربائي الممتد بين الالكترودات السلكية أو الشريطية كما هو موضح بشكل ٨ – ٣ والتي يتم توصيلها ميكانيكياً إلى المشغولة من خلال وعاء يحتوي على مسحوق حبيبي.

يؤدي المسحوق الحبيبي نفس وظائف غلاف الالكترود القضيبي ، إلا أن قدرة الصهر في هذه الحالة تفوق كثيراً قدرة الصهر نظيرها في اللحام اليدوي بالالكترودات القضيبية ، نظراً لامكان استخدام سلكيين إضافيين في وآن واحد.

يستخدم أسلوب اللحام بالقوس المغمورة في العادة للحام الألواح السميكة والدرزات الطويلة.



شكل ٩ – ٣

رسم تخطيطي لأسلوب اللحام بالقوس المغمور

اللحام بقوس البلازما

Plasma Are Welding

يعتبر قوس البلازما تطوراً لقوس إلكترود التنجستين والغاز الخامل ، لذلك فإنه يعتبرمكملا له ، وقد يحل محله في بعض الأحيان ، وبصفة خاصة عندما يراد زيادة سرعة اللحام وتحسين جودته.

البلازما هي حالة الغاز المتأين لكنه متعادل الشحنة ، والغاز في هذه الحالة يكون موصلا للتيار الكهربائي كما يتأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية.

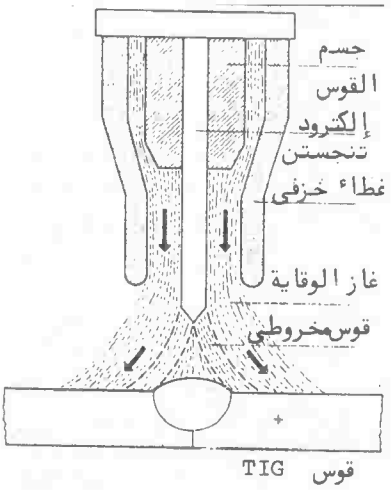
يتكون قوس البلازما الموضح بشكل ٩ – ٤ من جسم أسطواني الشكل مصنوع من الخزف ذو قطر صغير يحتوي على عدة من ممرات (منافث)، يوجد الإلكترود في مركز الجسم ، يندفع غاز الوقاية من الممرات (المنافث).

يعتبر قوس البلازما كمنبع حراري في اللحام وسائر أساليب البلازما الأخري . يسمى قوس البلازما بالغاز الساخن . يتم الحصول علي حزمة البلازما بالتسخين الشديد لغاز مثل الارجون أو الايدوجين أو الأزوت بواسطة قوس كهربائي مولد بتيار مستمر ، مما يؤدي إلي إنشطار الجزيآت وإنفصال الالكترونات عن الذرات ، وتتخصر الحزمة المؤلفة من الغاز المتأين والقوس الكهربائي بشدة عند انطلاقها من منفث المشعل . وينتج عن تضخم حجم الغاز نتيجة إرتفاع درجات الحرارة إنطلاق حزمة غازية . تسمى حزمة البلازما إلي الخارج بسرعة عالية ، مما قد يرفع درجة الحرارة إلي ما بين ١٠٠٠٠ . ١٧٠٠٠ ^{0}م.

فإذا تولد عند استخدام مشعل البلازما قوس كهربائي يمتد بين الكترود تنجستن وبين المشغولة ، سمي ذلك بالقوس الكهربائي الموصل (يستخدم في لحام التوصيل والقطع بالانصهار) ، في حين يتولد القوسان في نفس الوقت من الكترود واحد (يستخدم في التكسية باللحام).

ففي لحام الموصل بالبلازما يغذى المشعل بغاز الأرجون أو الأرجون مع ٦ % أيدروجين ، بالإضافة إلي غاز البلازما ، ويعتبر هذا الغاز غازاً إضافياً واقياً.

أهم مجالات استخدام اللحام بالبلازما هو لحام للوصلات الرقيقة التي يتراوح سمكها ما بين ٠.٠١ ـ ٤ مم مثل لحام ألواح الصلب المقاوم للصدأ والنيكل وسبائكه والنحاس والتيتانيوم والمعادن الثمينة وبعض المعادن الأخرى ، عدا الألومنيوم والماغنسيوم . شدة التيار المستخدم عند اللحام بقوس البلازما يتراوح ما بين ٠.١ . ١٥ أمبير ، يمكن بهذه التيارات لحام أجزاء رقيقة الجدران كالأواح التي تصل تخانتها إلي ٠.٠١ مم.



شكل ٩ – ٤

قوس البلازما

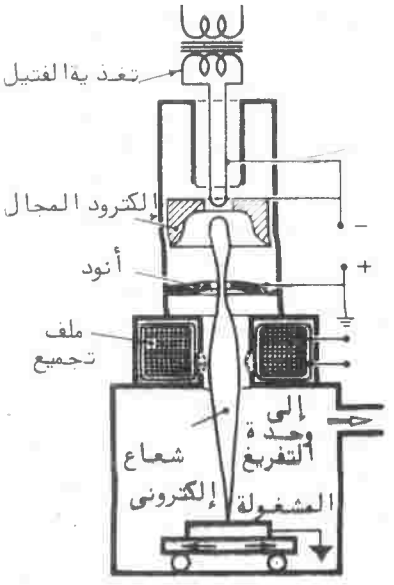
اللحام بالحزمة الالكترونية

يسمى اللحام بالحزمة الالكترونية بالمعجل الذاتي Self Accelerated شكل ١٤٣ – ٢٠٧ (٢ – ٨٩) ، وهي طريقة للحام شائعة الآن ، وهي عبارة غرفة مفرغة تحتوي على لوح معدني مثقوب يوجد في وسطه فتيل مصنوع من التنجستين أو التنتانيوم . يسخن المهبط (الكاثود) بمصدر كهربائي (محول للتيار) ، حيث تندفع الالكترونات

المتحررة بجهد كهربائي مرتفع يعادل ما بين ١٥٠ . ٢٠٠ كيلو فولت إلى المصعد (الأنود) ، وتتجمع الحزمة الإلكترونية المنبعثة من المهبط (الكاثود) باستخدام عدسة إلكترومغناطيسية لامعة مجمعة ، لتنفذ الالكترونات المنبعثة من خلال الثقب الموجود باللوح ، وتستمر إندفاع الإلكترونات بطاقة حركة على شكل حزمة أشعة لتصل الحزمة الإلكترونية المجمعة إلى الفتيل ، للتجمع بواسطة ملف يغذى بتيار كهربائي إضافي في حزمة الكترونية منطلقة من اللهب المتوهج تصطدم بسرعة عالية بسطح المشغولة لتتحول طاقة حركتها إلي حرارة يمكن استخدامها في اللحام . يمكن التحكم في درجة تجميع الأشعة من خلال بعد بؤرة العدسة . تشبه هذه التجهيزة التي تسمى بالمدفع الإلكتروني أنبوبة شاشة التلفزيون والميكرسكوب الإلكتروني.

ومن خلال تركيز حزمة الأشعة ، يمكن حصر التسخين في المشغولة في بقعة صغيرة القطر تتراوح ما بين ٠.١ . ٢.٥ مم ، ومن البديهي أن إصطدام حزمة الأشعة بالمشغولة يولد بجانب الحرارة الشديدة أشعة سينية ، هذه الأشعة تضر العاملين عند تسربها ، لذلك يجب حجبها ومنع تسربها خارج الجهاز لحماية العاملين بجهاز اللحام باستخدام ألواح الرصاص.

تستغل هذه الظاهرة أفضل استغلال في وسط مفرغ . ويمكن بالحزمة الالكترونية لحام خامات يصعب لحامها كالتنجستن والتنتالوم والموليبدنم . نظراً لسهولة تشكيل الحزمة وتركيزها في أي موضع حتى داخل المشغولة.



شكل ٩ – ٥

رسم تخطيطي للحام بالحزمة الإلكترونية

اللحام بالحزمة الضوئية

في هذا الأسلوب تستخدم حزمة ضوئية حادة من أشعة الليزر ذات مقطع مجهري صغير تولد كثافة حرارية عالية.

يقتصر استعمال أشعة الليزر على إشغال اللحام الدقيقة.

اللحام بشعاع الليزر

Laser beam welding

شعاع الليزر هو شعاع ضوئي ، وهذا الاسم هو تجميع للحروف الأولى لتعريف معنى هذه الأشعة Light Amplification by Stimulated Emission Of Radiation أي تضخم (تكبير) الضوء بتنشيط الأشعة المنبعثة.

يستخدم شعاع الليزر في لحام وقطع معظم المعادن باستخدام شعاع مركز منه ، قطر هذا الشعاع لا يزيد عن قطر شعرة الرأس . من أهم مميزات أشعة الليزر أنها تخترق المواد الشفافة كالزجاج أو اللدائن الشفافة والراتنجات العازلة دون ان تتلفها

بالتسخين أو الصهر ، بينما تصهر المعادن خلف هذه المواد الشفافة مثل لحام الأسلاك المطلية بالورنيش العازل دون إتلاف العازل ، ونظراً لتركيز الشعاع في مساحة متناهية الصغر فإن المناطق الملاصقة للحام لا تتعرض للتلف ، كما أن المنطقة المتأثرة بالحرارة تكون متناهية الضيق ، ولا تتأثر الأجزاء المعالجة حرارياً بهذه الأشعة ولا تفقد شيئاً من خواصها المكتسبة بالمعالجة الحرارية . كل ذلك بسبب تركيز الأشعة وانخفاض مقدار الطاقة المستخدمة ، ومن ثم فإنه يمكن مسك الأجزاء الملحومة أو المقطوعة بهذه الأشعة باليد بعد اللحام مباشرة ، كما يمكن لحام المعادن غير المتشابهة والصعبة في لحامها بالطرق الأخرى مثل النحاس والنكيل والتنجستن والألومنيوم والصلب المقاوم للصدأ والتيتانيوم والكلومبيوم.

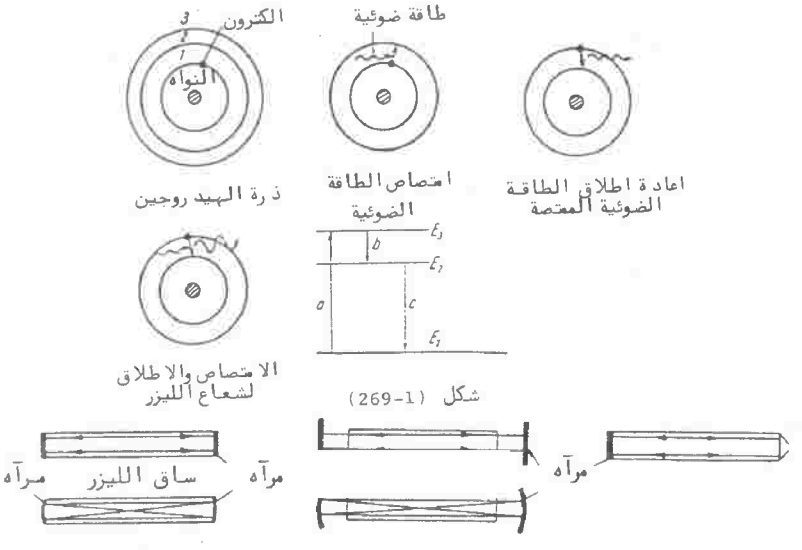
ونظراً لارتفاع تكلفة لحام المعادن بالليزر فإن استخدامها يقتصر حالياً على استخدامات الفضاء والصناعات الإلكترونية وبعض الصناعات الدقيقة التي تتطلب دقة وتحكم عاليين.

يتصف اللحام بالليزر بضحالة التغلغل على عكس التغلغل العميق بالشعاع الإلكتروني ، حيث تصدر أشعة الليزر في نبضات تدوم حوالي ٠.٠٠٢ من الثانية فقط وبتردد واحد إلى عشر نبضات في الثانية الواحدة ، وفي كل نبضة للشعاع يصادف بها سطح المعدن يصهر بقعة دقيقة ، إلا أن هذه ما تلبث أن تتجمد في زمن لا يتجاوز بضعة ملي ثانية ، ولذلك يكون شكل خط اللحام عبارة عن بقع متجمدة متراكبة.

توليد أشعة الليزر:

إنه يمكن استثارة ذرات المادة باستخدام طاقة ضوئية أو كهربائية ، تشبه هذه الاستثارة ما يتم في أنابيب الفلورسنت للإضاءة وشاشات الأجهزة المرئية (التليفزيون) . فالظاهرة الفلورسنتية تعتمد على قابلية ذرات معينة في المادة لإطلاق أشعة ضوئية منها عندما تتعرض لأشعة طول موجتها قصير.

في أجهزة توليد أشعة الليزر للحام تستخدم ساق قطره ١٠ ملليمترات وطوله ١٠٠ ملليمتر مصنوع من بلورة الياقوت ($Al^2 O^3$) Ruby المصنع (غير الطبيعي) ويضاف قدر ضئيل من أسيد الكروم بنسبة ٠.٠٥ % ، الذي يكسب الياقوت لوناً أحمراً خفيفاً بسبب امتصاصه للضوء الأخضر من الضوء الأبيض العادي ، فعندما تمتص ذرات الكروم هذه الأشعة الضوئية فإن بعض إلكتروناتها تستثار ولذلك فإنه يعبر عن ذلك بأن الضوء الأخضر يضخ (يرفع مستوى) ذرات الكروم إلى أعلى ، ولكن هذه الذرات ما تلبث أن تعود إلى حالتها الأولى (من مستوى الطاقة) مطلقة جزءاً مما امتصته وتشعها في صورة أشعة ضوئية فلورسنتية حمراء كما هو موضح بشكل ٩ – ٦ ، وهذه الأشعة المطلقة تقوم بدورها باستثارة ذرات أخرى ، ثم تعود هذه الأخيرة إلى مستواها الأصلي للطاقة ، وتطلق جزءا مما امتصته وتكون هذه الأشعة المطلقة بنفس طول الموجة monochromatic للأشعة سالفتها المطلقة من الذرات الأولى وتتوافق معها أي تكون معها على نسق واحد ، كما أنها تكون مستقطبة في مستوى واتجاه واحد بطول موجة تتراوح ما بين ٠.٠٤ . ٠.٧٥ ميكرومتر.

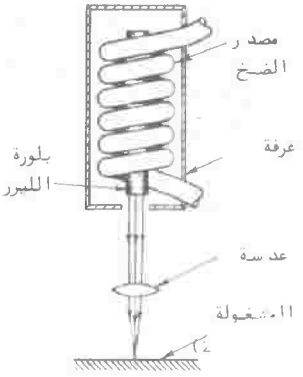


شكل ٩ – ٦

توليد أشعة الليزر

وهكذا تتكرر الاستثارات وإطلاق الأشعة من ذرات الكروم فيما يعرف بعملية تضخيم (تكبير) الأشعة الضوئية ، وينهي ساق الياقوت في طرفه بوجه سطحه عاكس (مرآة) ، وبينما يكون مسطح وجه الطرف الثاني نصف عاكس ونصف منفذ للأشعة ، ويتولى هذين السطحين المتوازيين العاكسين للأشعة الضوئية تبادل انعكاس ما يسقط عليها من أشعة ، وتستمر عملية تضخيم الأشعة الضوئية بتكرار اصطدامها بذرات الكروم وإثارتها حتى يصل الحال إلى الحد الحرج لشدة الأشعة المضخمة .. (تسمى الطاقة المستهلة) والتي عنده يمكن للأشعة النفاذ من الطرف ذي المرأة نصف العاكسة نصف المنفذة للأشعة.

تتم الاستثارة الأساسية لذرات الكروم من مصدر جهاز وميضي ضوئي Flash يحتوي على النيون ، ويكون المصدر محيطاً لساق العقيق إذ يكون شكله كأنبوب حلزوني شكل ٩ – ٧.

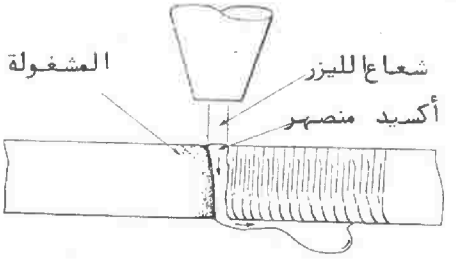


شكل ٩ – ٧

عملية تضخيم (تكبير) الأشعة الضوئية

وقد يؤدي سقوط شعاع الليزر بسطح المعدن بصورة نابضة إلى تبخر هذا السطح في موقع سقوط الشعاع ، لذلك فإنه يجب في مثل هذه الحالات تخفيض طاقة الشعاع لتجنب تبخر معدن السطح ليطول الوقت اللازم للصهر (طول النبضة مع طاقة منخفضة) ، ويتم تركيز شعاع الليزر بالأجهزة البصرية كما يمكن استخدام الأشعة في

القطع من خلال الصهر المباشر أو بمساعدة الأكسجين شكل ٩ – ٨.



شكل ٩ – ٨

استخدام الأشعة في القطع

وقد تم تطوير طرق توليد أشعة الليزر بعد ذلك باستخدام تنجستات الكالسيوم الموضوع في أنبوب زجاجي من استخدام الكروم أو النيود ميوم كشوائب للاستثارة.

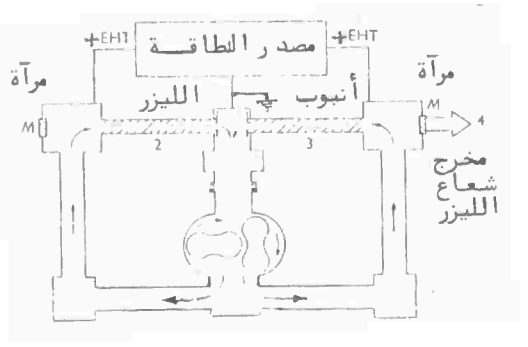
مثال :

عقيق Yttrium - Aluminum – garnet (YAG) مع النيوديميوم.

انتشر حالياً استخدام وحدات الليزر بالغاز بنفس المبدأ في توليدها بالمواد الجامدة السابق عرضها . ففي ليزر الغاز في أنبوب طويل من الكوارتز أو الزجاج المقاوم للحرارة بنافذتين في الطرفين ومرآتين مصممتين خصيصاً لعكس وارتداد الأشعة عند الطرفين . علماً بأنه في بادئ الأمر استخدام غاز النيوم مع شوائب من غاز الهيليوم (للاستثارة) ، مع استخدام أشعة إلكترومغناطيسية ذات تردد مختار تصدر من مولد بتردد بالغ الارتفاع Radio frequency ، وتتصل بإلكترود حول الأنبوب الزجاجي.

كما يتستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون مع شوائب من النتروجين أو الهيليوم ، ويوضع في أنبوب طوله عدة أمتار فتصدر أشعة ليزر بطول موجه تبلغ طولها ١٠.٦ ملليمتر .. أي أطول من طول موجه أشعة الليزر الصادرة من البلورات الجامدة ، وتكون هذه الأشعة إما مستمرة أو بصورة نابضة ، وهي تكفي لتسخين وصهر وتبخير معظم المعادن والمواد الحرارية مثل النيوبيوم والتيتانيوم والتنجستن التي يمكن لحام قطاعات

رقيقة منها . تستخدم هذه الأشعة في لحام المعادن غير المتشابهة بحماية من غاز خامل ، كما يمكن استخدامها في ثقب أشد المواد صلادة كالماس شكل ٩ – ٩.

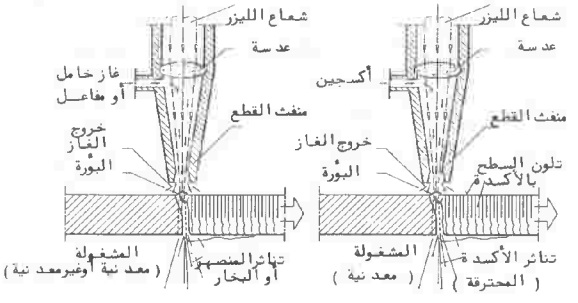


شكل ٩ – ٩

توليد أشعة الليزر بثاني أكسيد الكربون

توجد وحدات حالياً لتوليد أشعة الليزر بقدرة تبلغ kw ٢٠ ، تستخدم في لحام وقطع المعادن ذات القطاعات السميكة بمساعدة الأكسجين شكل ٩ – ١٠ ، ويمكن استخدام وحدة ليزر بغاز ثاني أكسيد الكربون قدرتها ٢ كجم لحام مواد حتى سمك ٣ مم ، وفي هذا النطاق فهذه تعتبر منافسة للحام بالشعاع الإلكتروني.

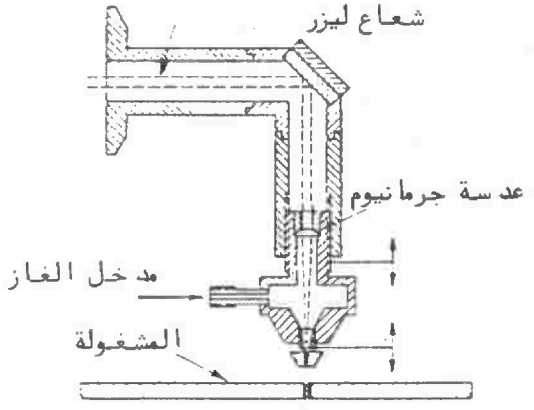
تبلغ سرعة اللحام بالليزر ١٢ مم/ ث ، وعندما تصل السرعة إلى ٢٠ مم/ ث فإن الحامات بها لا يمكن التفرقة بينها وبين اللحام بالشعاع الإلكتروني.



شكل ٩ – ١٠

وحدة ليزر بغاز ثاني أكسيد الكربون

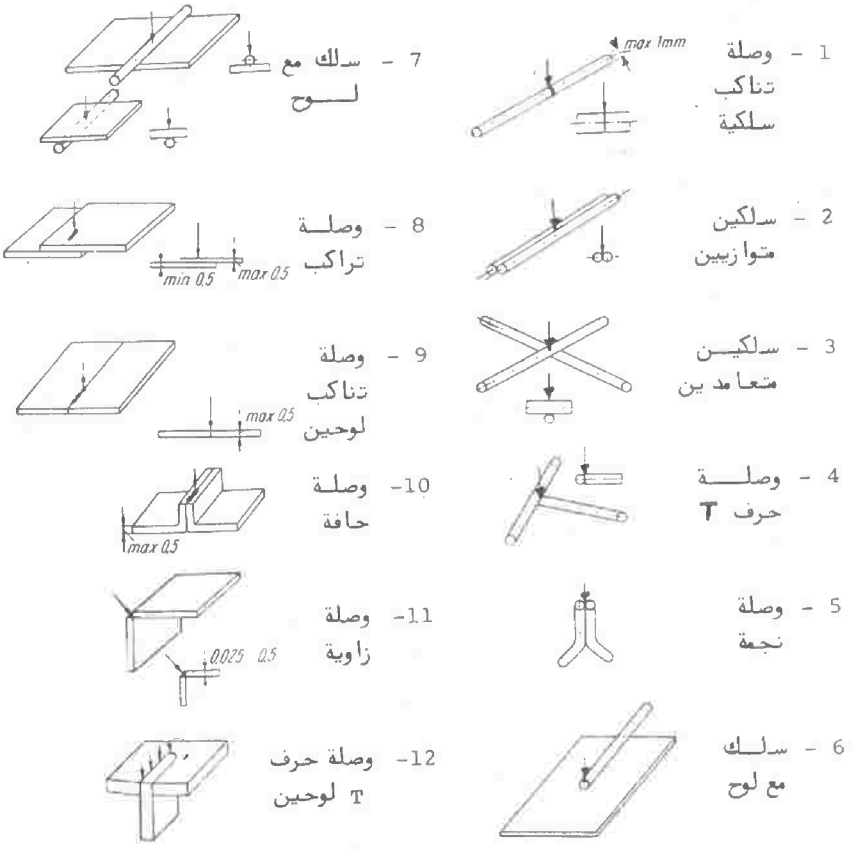
يوضح شكل ٩ – ١١ إحدى وحدات توليد الأشعة من ساق الياقوت أثناء توجيه شعاع الليزر بالانعكاس بالمرآة في اتجاه عمودي على خط خروج الشعاع من ساق الياقوت ، لغرض حماية المصدر من أبخرة المشغولة ، وكذلك التحكم بالرؤية في توجيه الشعاع إلى الموقع الصحيح في المشغولة . تستخدم هذه الوحدات في لحام وقطع القطاعات الرقيقة.



شكل ٩ – ١١

وحدة لتوليد الأشعة أثناء توجيه شعاع الليزر
في اتجاه عمودي إلى الموقع الصحيح بمشغولة

شكل ٨ – ١٢ يوضح أمثلة لبعض تطبيقات على استخدام أشعة الليزر في عمليات لحام المعادن بأشكال وأوضاع مختلفة.



شكل ٩ – ١٢

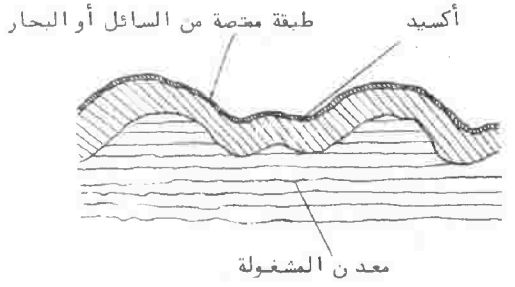
بعض تطبيقات على استخدام أشعة الليزر في عمليات لحام المعادن

اللحام بالضغط على البارد

Cold Pressure Welding

لو أردنا وصل قطعتين من المعدن باللحام على البارد أي دون أي تسخين نجد أن ذلك ممكن من الناحية النظرية طالما كان بالإمكان اقتراب الذرات السطحية للقطعة الأولى من الذرات السطحية للقطعة الثانية ، بحيث يكون البعد بين هذه الذرات مساوية للبعد الذري لخلايا وبلورات المعدن داخل القطعة ، ولكن نجد ذلك غير ممكنا من الناحية العملية لوجود بعض العقبات أهمها الآتي :-

١- أن الذرات السطحية للمعادن لا تمثل الذرات المكونة للمعدن بداخله إذ أن معظمها مركبات جزيئية من أكاسيد ومركبات عضوية شكل ٩ – ١٣ وغير ذلك ، أي أن سطح كل معدن يكسوه طبقة من مواد غريبة يتجاوز سمكها عدة مئات من قطر ذرة المعدن ذاته ، ولذلك فإن اقتراب ذرات المعدن الداخلية تحت هذه الظروف يعتبر أمراً مستحيلاً ، ومن ثم فلابد من تحقيق التقارب المنشود من إزالة هذه الطبقات الغريبة ، وتعتبر أهم هذه الطبقات هي طبقة الأكاسيد التي يجب إزالتها بالطرق الميكانيكية أو الكيميائية أو الكهربائية أو بهم جميعاً.



شكل ٩ – ١٣

طبقات سطحية للمعادن تمثل أكاسيد ومركبات عضوية

٢. عند إزالة الطبقات الغريبة الموجودة على السطح بحيث يكون نظيفاً من الناحية الكيميائية .. أي أن ذرات سطحه تكون ممثلة للذرات الداخلية للمعدن ، نجد أن استواء السطح يكون أمراً مستحيلاً من الناحية العملية فأدق وسائل التشغيل من تجليخ وصقل وغيرها ، لا تستطيع أن تصل بجودة سطح إلا في مدى حدود المطلوبة . فالسطح يتكون من مرتفعات ومنخفضات كما هو موضح بالشكل السابق ٩ – ١٣ ، حيث تكون هذه الارتفاعات عائقاً لتحقيق تقارب ذرات السطح ، إنما يتم التقارب فقط عند نقط محدودة عددها لا يتجاوز ثلاثة أو أربعة ، هذا يعني أن التقارب والترابط لن يتم إلا في حدود القوى الرابطة المنشودة بين هذه الذرات المعدودة على سطح قطعتي المعدن . ولتحقيق اقتراب معقول من ذرات السطح يمكن ضغط قطعتي المعدن تجاه بعضها البعض حتى يتم تشكيل قمم السطح تشكيلاً لدناً فيزداد التقارب والارتباط عبر

بقع بمساحات كبيرة نسبياً بدلاً من نقط .. أي يحتاج في هذا السبيل إلى ضغط ميكانيكي لتحقيق الالتحام.

وبتحقيق هذه الظروف المشار إليها . يمكن الحصول على التحام بمقاومة جيدة تعادل قوى الربط التي تتحقق على حدود الحبيبات داخل المعدن ، وذلك على المساحات الملتحمة ، لذلك يجب دراسة طبيعة أسطح المعادن المختلفة ، وتأثير الضغط الميكانيكي عليها لتحقيق الارتباط المنشود.

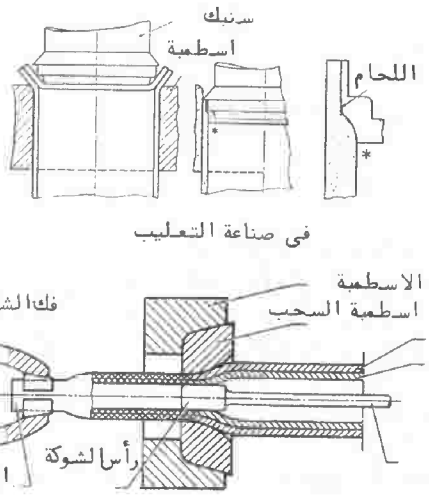
تطبيقات عمليات اللحام بالضغط على البارد :

لا توجد في الحقيقة حدود تحد استخدام اللحام بالضغط على البارد ، إلا في أنه يجب أن يتميز المعدن الأصلي بلدونة عالية ، ليقاوم الإنخفاض في سمكه بسبب الانفعال العنيف الذي يمارس أثناء اللحام لكي تنخفض القوى اللازمة لإنجاز عمليات اللحام وما يتبع ذلك من مشاكل اختيار المواد المناسبة لسنابك الضغط والمعدات المساعدة.

والتطبيقات الأساسية تنحصر في الوقت الحاضر في لحام الألومنيوم وسبائكه ، وعمليات تغطية ألواح أو شرائط سبائك الألومنيوم (التي تتصف بخواص ميكانيكية عالية ومقاومة منخفضة للتآكل) برقائق من الألومنيوم النقي لاكتساب خواص مقاومة للتآكل ، ثم دلفنتها بقصد لحامها مع بعض بالضغط على البارد ، وهي العملية المعروفة بالكلاد Alclad .

وهناك تطبيقات أخرى لإنتاج أنابيب الألومنيوم المنتجة من شرائط الألومنيوم بلفها ولحامها بالدرزة Seam Weld ، أو في عمليات اللحام للمعلبات التي تقتضي ظروف محتوياتها عدم تسخينها.

شكل ٩ – ١٤ يوضع رسماً تخطيطاً لبعض التطبيقات العملية لعمليات اللحام على البارد (بالدلفنة والسحب وبالكبس).

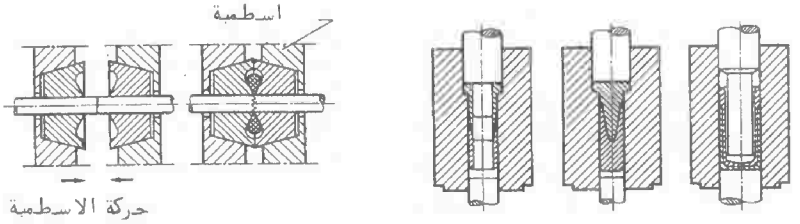


شكل ٩ – ١٤

بعض التطبيقات للحام على البارد بالدلفنة والسحب وبالكبس

وهناك أيضاً تطبيقات هامة في لحام إزدواجات في معادن مختلفة والتي تفشل في وصلها عمليات اللحام بالتسخين بسبب الإجهادات الحرارية المتبقية الناشئة عن اختلاف معاملات التمدد والإنكماش الحراري لهذه الإزواجات.

شكل ٩ – ١٥ يوضح رسماً تخطيطياً لقابلية لحام المعادن وازدواج لحامها مع المعادن الأخرى.



شكل ٩ – ١٥

لحام أنابيب من معادن مختلفة (أنابيب من ألومنيوم ونحاس)

تتميز طريقة اللحام على البارد بجانب ما ذكر بكونها لا تحتاج إلى مساعدات صهر أو اللحام Fluxes (بقصد التنظيف وإزالة الأكاسيد) بل يتم التنظيف بالطرق

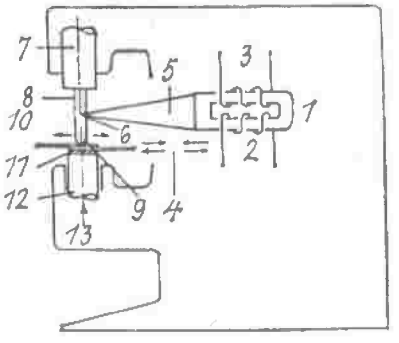
الميكانيكية ، وبالتالي تتلاشى المشاكل المترتبة على استخدام مساعدات الصهر مثل صعوبة إزالة بقاياها حتى لا تتسبب في تآكل الوصلة وغير ذلك من المشاكل.

اللحام بالذبذبات فوق السمعية

Ultrasonle Welding

يمكن وصل الألواح الرقيقة (ذات السمك الصغير جداً) كرقائق الألومونيوم التي تقل تخانتها عن بضعة ميكرونات مثلا ، عن طريق استخدام إهتزازات ميكانيكية ذات سعة منخفضة تضاف إلى قوة ساكنة (إستاتية) ، وتكون عادة عند ترددات تتجاوز الحد المسموع ، ومن ثم فإنه يمكن وصل سطحين باللحام عند درجة حرارة أقل بكثير عن نقطة الإنصهار ، يمكن تسليط حرارة إضافية ، كما يمكن اللحام بدون تسخين.

يمكن بالذبذبات فوق السمعية أيضاً لحام المعادن المختلفة كالنحاس والألمونيوم . يقتصر استعمال هذا الأسلوب على الألواح التي يقل تخانتها عن ٢ مم. شكل ٩ – ١٦ يوضح رسم تخطيطي لاماكينة لحام بقعة بطريقة اللحام فوق السمعي.



شكل ٩ – ١٦

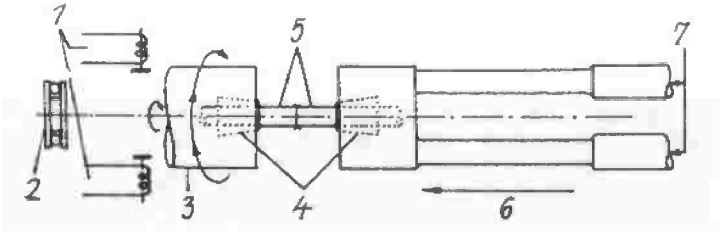
لحام بقعة بطريقة اللحام فوق السمعي

١. قلب محول الطاقة .
٢. دائرة تردد عالي (تيار متردد).
٣. دائرة تيار مستمر.
٤. الحركة الاهتزازية لمحول الطاقة.
٨. سنبك.
٩. طرف صلد.
١٠. الطاقة الاهتزازية تنقل من الإسفين إلى طرف السنبك.

٥. إسفين.
٦. قارنة.
٧. كتلة ثابتة.
١٢. مكبس هيدروليكي.
١٣.إتجاه الضغط.

اللحام بالاحتكاك

يمكن عمل لحام تقابلي بالإحتكاك ، حيث يتحرك أحد الجزأين المراد لحامهما بحركة دائرية على ماكينة اللحام بالإحتكاك ، ويسلط الضغط على الجزء الآخر الساكن بإتجاه المحور المتواجد أمام الجزء الدوار ، بحيث تنشأ حرارة بينهما تصل إلى سرعة تسخين سطحي ، وفور الحصول على الحرارة اللازمة التي تؤدي إلى اللحام ، يضغط الجزأين مع بعضهما البعض فجائياً لتتم عملية اللحام . شكل ٩ – ١٧ يوضح ماكينة لحام بالاحتكاك.



شكل ٩ – ١٧

ماكينة لحام بالاحتكاك

١. قابض كهرومغناطيسي.
٢. محمل دفعي.
٣. طرف دوار.
٤. تجهيز ضغط.
٥. جزء الشغلة.
٦.إتجاه الضغط المحوري.
٧. ضغط هيدروليكي.

اللحام بالتكسية

يتم لحام المشغولات بالتكسية من خلال بطبقات لحامية مفردة من مادة إضافية . ومن أمثلة هذه المشغولات المسارات الإنزلاقية وخطافات الأوناش ومرتكزات المحامل

والأعمدة التي أصابها تآكل . وهناك مجال آخر للتكسية باللحام يتمثل في تزويد المشغولات المصنوعة من مادة رخيصة بحواف أو أسطح مقاومة للتآكل الاحتكاكي أو الكيمائي أو صلدة ، من خلال تكسيتها بمعدن إضافي عالي الجودة.

لا يستخدم لحام التكسية في إشغال الإصلاح والصيانة فحسب بل في تجهيز أجزاء جديدة أيضاً. ويمكن التكسية باللحام سواء باستخدام لهب الأكسجين والإستيلين أو الالكترودات القضيبية أو حزمة البلازما ، وغالبا ما يستخدم الكترود شريطي في لحام التكسية بالقوس المغمور ، حيث تتولد قدرة صهر عالية.

يتم لحام التكسية من خلال مرور مادة اللحام في لحام المسحوق بالغاز إلي مشعل اللحام ، ليتحول على شكل مسحوق معدني ينصهر في اللهب الغازي ويتساقط على سطح المشغولة . يمكن بهذا الأسلوب تجهيز أسطح عالية الجودة في يسر وعلى نحو اقتصادي.

التكسية السطحية

تكسية الأسطح بطبقات صلدة

يتعرض كثير من الأجزاء الميكانيكية للبري (التآكل) corrosion بسبب الاحتكاك ، حيث تنخفض أبعادها مما يؤثر علي جودة أدائها ، ومن ثم يحتاج الأمر إلي تغييرها بأجزء أخري جديدة بعد فترة تشغيل معينة.

وكثيرا ما تكون هذه الأجزاء كبيرة ومعقدة الشكل ، بحيث يشكل تغيرها عبئاً مالياً يمكن تجنبه لو أمكن تحديد القطع البالية وتعزيز أسطحها باسطح جديدة صلدة بدلا من الاسطح البالية ، وفي أحيان أخرى تحتاج إلي اقتصاديات ومتطلبات التصميم إنتاج أجزاء من مادة متينة أو لدنة علي أن يكون سطحها صلد يقاوم البري ، لأنها تتعرض للاحتكاك ، كل ذلك أدي إلي التفكير في تكسية بعض الأسطح بطبقات صلدة.

ويمكن في هذا السبيل استخدام لهب الأكسي إستلين في تكسية الأسطح بهذه

الطبقات الصلدة ، أو في بعض الأحيان بطبقات مقاومة للتآكل التي تتطلبها ظروف التشغيل ، وقد تختار طبقة الكسوة بحيث تقبل التشغيل عقب ترسبها علي سطح الشغلة ، ثم تصليد هذه الطبقة بعد تشغيلها بالمعاملة الحرارية ، أو التشكيل علي البارد كالدلفنة ، **ويمكن تلخيص التكسية السطحية بأنها ترسيب معدن إضافي على سطح معدني للحصول على عواص أو أبعاد مطلوبة.**

تقسيم أنواع التكسية إلى الأنواع التالية :-

أولا : التكسية بنفس مادة السطح المطلوب تجديده

التكسية بنفس مادة السطح المطلوب تجديده كالصب الطري والمتوسط في حالة العجلات المسننة (التروس) والأعمدة ومجاري الخوابير المنزلقة . يتبع في هذه النوع من التكسية أسلوب لحام الصلب نحو اليسار ، على أن تكون التكسية ذات طبقة رقيقة في المرة الواحدة ، وتكرار تراكم الطبقات حتى تصل إلي تخانة التكسية المطلوبة ، مع تجنب تشوة المشولات من آثار التسخين الموضعي ، وذلك بتسخين الجزء كله تسخيناً أولياً ، مع مرعاة أن يكون التبريد بطيئ جداً.

ثانيا : التكسية بأسياخ ذات صلادة أعلي من معدن المشغولة

تكسى المشغولات بأسياخ ذات صلادة بدرجة أعلي من درجة صلادتها ، يمكن أن تكون هذه الأسياخ مرتفعة في نسبة الكربون والمنجنيز والكروم والسليكون ، بهدف إكساب الأسطح صلادة أعلي أو إكتسابه مقاومة للبري أو للتآكل.

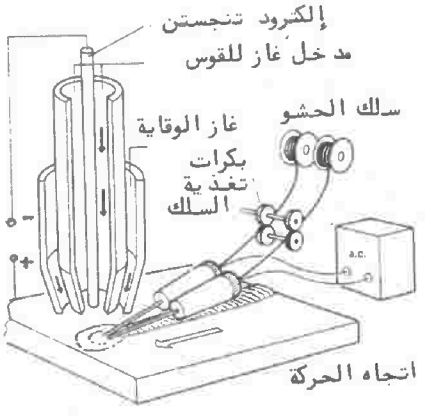
ثالثا : التكسية بطبقة صلدة

يمكن تكسية المشغولات بطبقة صلدة مثل كربيد التنجستن . يكون سلك الحشو في هذه الحاله بمثابة أنبوبة من الصلب محشوة بمسحوق من كربيد التنجستن المجروش ذي الصلادة العالية . في هذه الطريقة لا تحتاج الكسوة إلي تصليد أضافي بالمعاملة الحرارية أو أي وسيلة أخري ، حيث أن صلادتها طبيعية وعالية بقدر يحقق الهدف المنشود.

رابعا : التكسية بقوس البلازما

يمكن التحكم آليا في الكميات المراد ترسيبها من المعادن مثل النيكل وسبائكه . الصلب الكربوني . يعتبر الصلب الكربوني من أفضل المادن المستعملة في تكسية أسطح المعادن لحمايتها من التآكل والبرى.

يستخدم للتكسية قوس البلازما المتنقل عمودياً على السطح المطلوب تكسيته الموضح بشكل ٩ – ١٨ ، أما معدن التكسية فإنه يزود ببكرتين تحمل الأسلاك الملفوفة عليها . تتم التغذية من خلال محرك خاص ، وتوجه الأسلاك بحيث تكاد تمس السطح.



شكل ٩ – ١٨

التكسية بقوس البلازما

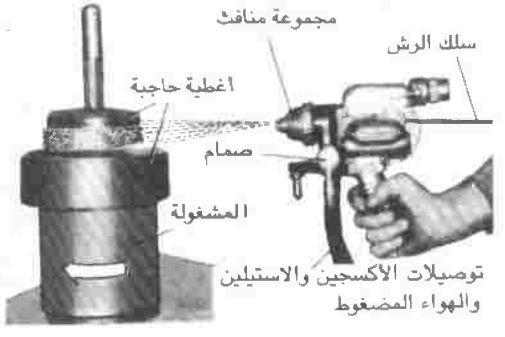
تستخدم وحدات التكسية بشدة تيار يتراوح ما بين ٤٥٠ . ٦٠٠ أمبير ، أما غاز البلازما فإنه يتكون عادة من خليط من الهليوم بنسبة ٧٥ % وأرجون بنسبة ٢٥ % ، مع غاز وقاية للمنفث الخارجي من الأرجون.

خامسا : التكسية برش المعادن

يتم الرش بمسدسات رش مصممة بمثابة مدفعيات للرش باللهب كما هو موضح بشكل ٩ – ١٩ ، أو أجهزة رش بالقوس الكهربائي.

يكون المعدن المراد رشه في صورة سلك أو مسحوق ، حيث ينصهر بفعل لهب الأكسجين والاستيلين أو القوس الكهربائي . ويتسبب تيار الهواء المضغوط المندفع من مسدس الرش في تطاير المادة المنصهرة وإلتصاقها بأسطح المشغولة المراد تكسيتها. ولا تنصهر مادة التكسية مع المادة الأساسية وإنما تلتصق بها ، ومن ثم فإنه يجب أن يكون سطح المشغولة نظيفاً وخشناً بقدر المستطاع.

ويستخدم في هذه العملية أما أسلاك رش سبيكية أو مساحيق متنوعة وفقا للغرض من التكسية . ترتفع درجة الحرارة المشغولة عند استخدام مسدسات الرش للتكسية بالبلازما إلي حوالي ١٥٠٠٠ ^{0}م ، مما يتيح رش المواد ذات درجات الانصهار العالية التي يتعذر رشها بالمسدسات العادية العادية . يمكن بهذه الطريقة التكسية بالمواد المعدنية أو الخزفية.



شكل ٩ – ١٩

التكسية برش المعادن

استعمالات عمليات التكسية برش المعادن :

تستعمل عمليات التكسية بالرش للمعادن في الحالات التالية :-

١. أثناء إصلاح المشغولات المعدنية المتآكلة.

٢. تبطين المحامل الإنزلاقية بمعادن ذات خواص إنزلاقية ممتازة.

٣. التكسية بطبقات مقاومة للتآكل الكيمائي.

٤. لتجميل أسطح المشغولات.

لحام الثرميت

Thermite Welding

الثرميت هو عبارة عن خليط من مسحوق الألومنيوم وأكاسيد الحديد . يعتمد هذا النوع على التفاعل الكيميائي الطارد للحرارة بين الألومنيوم وأكاسيد الحديد.

هذا التفاعل مبني على ميل الأكسيجين المتفاوت للاتحاد بالمعادن المختلفة . وهذا الميل يعرف أيضاً باسم الألفة . وألفة الأكسيجين للألومنيوم أعلى منها للحديد ، فإذا وصلت أية كمية من خليط أكسيد الحديد والألمونيوم على شكل مسحوق ناعم إلى درجة حرارة الاشتعال ، فسرعان ما يتفاعل الخليط كيميائياً في ثوان قليلة ، ونتيجة لهذا التفاعل ينتزع الأكسجين من الحديد نتيجة اختزاله ، ويتحول الألومنيوم إلى كورندم (أكسيد ألمونيوم بلوري) . وفي هذا التفاعل تتولد (تنطلق) من كل كيلو جرام من المخلوط كمية من الحرارة مقدارها ٨٥٠ كيلو جرام كالوري ، هذه الكمية تعادل ١ كيلووات / ساعة على وجه التقريب من الطاقة الكهربائية التي = ٨٦٠ كيلو كالوري.

ومن ثم فإنه يمكن التعبير عن هذا التفاعل بالعلاقة التالي :-

المونيوم + أكسيد حديد ⟸ أكسيد المونيوم + حديد + حرارة.

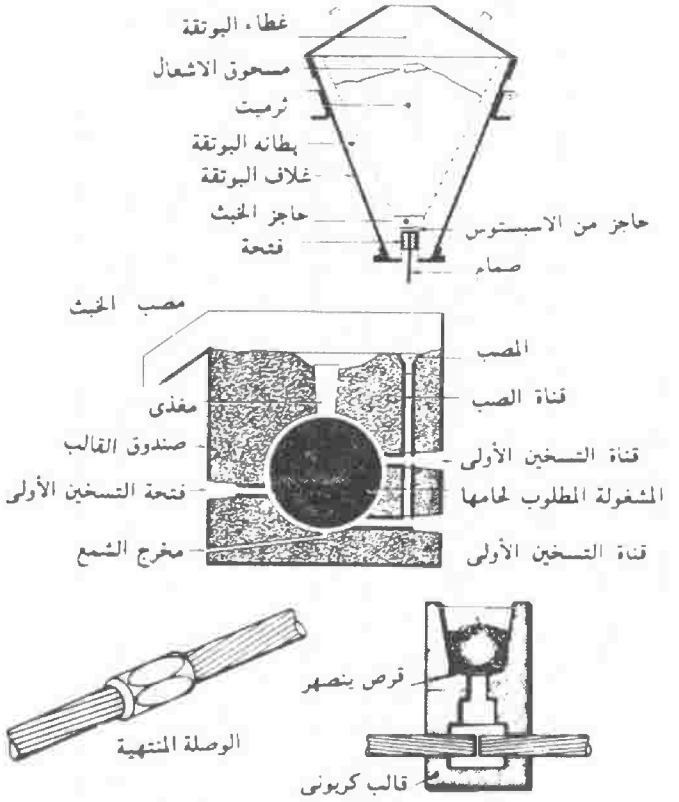
يجرى اللحام بالثرميت الموضح بشكل ٩ – ٢٠ بأعداد الجزأين المطلوب وصلهما باللحام على استقامة واحدة ، من خلال فصل طرفي الوصلة بمسافة ما بين ١٠ ـ ٨٠ ملليمتر ، وتنظف الأطراف المراد وصلها بعناية ، ويملئ مسافة الفراغ بالشمع ، ثم يشكل حول نصفي الوصلة قالب رملي ، يشابه القالب المستخدم في عمليات السباكة ، ويجهز القالب بفتحة (مصب) لاستقبال المعدن المنصهر ، وفتحة إضافية سفلية ليتم التسخين منها ، وبعد الانتهاء من تشكيل القالب ، ينصهر الشمع ويخرج من الفتحة السفلي التي تغلق في النهاية . يسمى هذا اللحام بلحام الصهر أو لحام الصب.

في لحام الثرميت يسخن المسحوق السابق ذكره في بوتقة خارجية ، حيث يتفاعل

أكسيد الحديد مع الألومنيوم الذي ينتج عنه ارتفاع كبير في درجة الحرارة تصل إلى ما بين ٢٤٠٠ . ٣٠٠٠°م ، يؤدي إلى إنصهاره تاركا ورائه صلباً منصهراً (حديد ثرمتي) ، حيث ينساب الصلب المنصهر من الفتحة الموجودة في قاع البوتقة إلى القالب ، ليمتلئ الفراغ بين نصفي القالب ، ونظراً للارتفاع الكبير المفرط في درجة الحرارة ، فإن طرفي الوصلة ينصهرا ويندمجا مع الصلب المنصهر ويلتحما مع بعضهما البعض . وبعد برودة الوصلة يهدم القالب ويهذب مكان اللحام.

قبل بدء التفاعل الكيميائي بين أكسيد الحديد مع الألومنيوم بفترة تتراوح ما بين ٣٠ . ٤٠ دقيقة ، يسخن المعدن في منطقة الوصلة إلى حوالي ٩٠٠°م ، حيث يؤدي هذا التسخين إلى إنخفاض الكمية المستهلكة من مسحوق الخليط.

يستخدم لحام الثرميت في لحام المشغولات ذات المقاطع الكبيرة والثقيلة المصنوعة من الصلب في أماكنها .. أي بدون الحاجة إلى نقلها مثل المصبوبات الكبيرة . قضبان السكك الحديدية والترام . المواسير ذات الأقطار الكبيرة . إصلاح الأجزاء الضخمة للمعدات البحرية ..... وغيرها من المشغولات الكبيرة.



شكل ٩ – ٢٠

لحام الثرميت

لحام مواد المصبوبات

لا يتم لحام الحديد الزهر الذي يحتوي على رقائق جرافيتية GG عادة إلا في أشغال الإصلاح والصيانة دون غيرها.

يتحمل الحديد الزهر بعكس الصلب إجهادات شد ضئيلة لضعف مطيليته إلي درجة الانعدام تقريبا ، ولمنع حدوث تشدخات في المشغولة ، فإنه يجب معرفة خواص المتانة للزهر معرفة تامة.

ينفصل كربون حديد الزهر بعد الصب والتبريد البطيء ويكون على شكل جرافيت ، لذلك يجب مراعاة تبريد المشغولة ببطء بعد عملية اللحام ، لإتاحة فرصة إنفصال الكربون بموضع اللحام على هيئة جرافيت أيضاً.

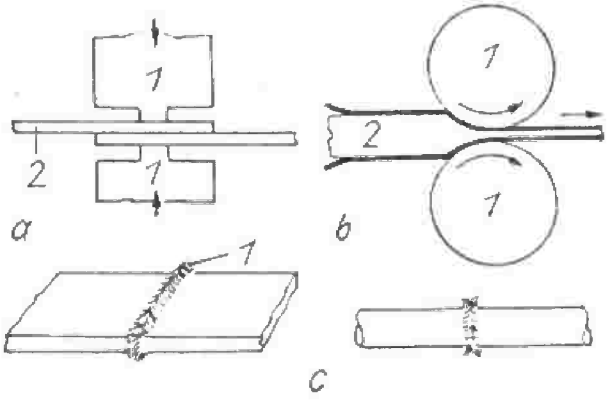
درجة إنصهار طبقة الأكسيد السطحية في حديد الزهر أعلى من درجة حرارة إنصهار حديد الزهر نفسه ، مما يستدعي استعمال مساعدات لحام خاصة لصهر هذه الطبقة ، بحيث يكون الخبث المتشكل أثناء اللحام شديد التميع.

يميز في لحام حديد الزهر اللحام على البارد ، واللحام على الدافئ ، واللحام على الساخن.

اللحام على البارد :

اللحام على البارد .. يعني لحام بالضغط ، حيث يستعمل في هذه الطريقة الضغط فقط دون تسليط حرارة ، لذلك يسمى هذا اللحام باللحام بالكبس.

شكل ٩ – ٢١ يوضح بعض طرق اللحام على البارد.



شكل ٩ – ٢١

بعض طرق اللحام على البارد:

a.. اللحام بقالب كبس.

١. قالب الكبس.

٢. الشغلة.

b .. اللحام بدلفين.

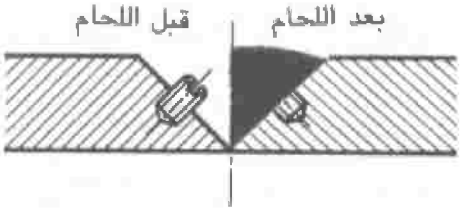
١. دلفين.

٢. الشغلة.

C .. لحام تقابلي في شريطين وقضيبين.

ويمكن أن يكون اللحام على البارد .. أي اللحام بالقوس الكهربائي بدون تسخين أو بقليل من التسخين المسبق لموضع اللحام ، باستخدام الكترودات قضيبية من النيكل لا تمتص الكربون وتعطي لحاماً رخواً ، لتكون المنطقة الانتقالية شديدة الصلادة نتيجة للوصلة الحرارية العالية للمشغولة . يتم اللحام في مواضع قصيرة تتراوح ما بين ١٠ . ١٥ مم لتحاشي التسخين الشديد للمشغولة عند موضع اللحام . وتبسط المشغولات بمطرقة أثناء فترات التبريد القصيرة لتخفيض إجهادات التقلص إلي أقل حد ممكن.

تلحم مع الوصلة أصابع أو مسامير ملولبة لتحمل الاجهادات في حالة الزهر سيء الالتحام مع مادة اللحام كما هو موضح بشكل ٩ – ٢٢.



شكل ٩ – ٢٢

الدعم بإصبع أو مسمار ملولب في حالة لحام الزهر على البارد.

اللحام على الدافئ :

في اللحام على الدافئ لا يسخن سوى جزء محدود من المشغولة . ويراعى عند التسخين والتبريد تحاشي نشوء إجهادات داخلية في المعدن.

يتم اللحام على الدافئ بلهب الأكسجين والاستيلين أو بالقوس كربوني مع استخدام مادة إضافية من حديد الزهر.

اللحام على الساخن :

في اللحام على الساخن تسخن المشغولة كلها إلى درجة الإحمرار مع حفظها طول مدة عملية اللحام عند هذه الدرجة ، يمكن اللحام بلهب الأكسجين والاستيلين أو بالقوس الكهربائي ، كما يمكن لحام أجزاء المكنات الكبيرة كهربائياً بالكترودات من حديد الزهر ، وفي هذه الحالة لا مفر من إيداع موضع اللحام في قوالب من مواد مقاومة للهب كالطوب الحراري لمنع تدفق حمام المصهور إلي خارج المشغولة.

لحام حديد الزهر المحتوي على كريات جرافيتية :

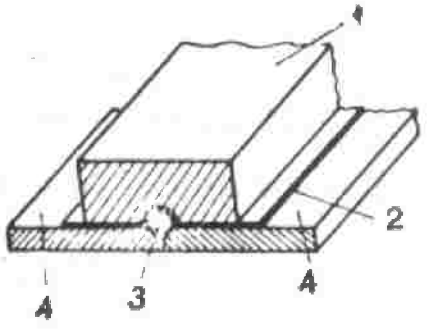
يتم لحام حديد الزهر الذي يحتوي على كريات جرافيتي GGG باستخدام مواد إضافية من نفس الزهر ، حيث تسخن المشغولات مسبقاً لتصل إلي ما بين ٣٥٠ – ٦٠٠ ^{0}م لتحاشي نشوء تشدخات في الزهر ، ومن الأفضل اللحام في طبقات رقيقة متتابعة لإتاحة إعادة تلدين الطبقات اللحامية السابقة ، ويتم إنفصال الجرافيت في شكل كريات بإجراء معالجات حرارية لاحقة ، حيث تسخن المشغولة لمدة ساعتين لتصل إلى ٩٠٠ ^{0}م ثم تبرد ببطء في الفرن.

لحام صلب المصبوبات :

يمكن لحام جميع أنواع صلب المصبوبات SG بنفس الأساليب المطبقة على أنواع الصلب الأخرى المشابهة ، ولتحاشي تصلد المنطقة الانتقالية من باب السهو فإنه يفضل تسخين المشغولة بخفة مسبقاً.

اللحام أسفل القضبان :

يستخدم هذا الأسلوب بصفة خاصة في لحام الألواح المعدنية الرقيقة باستخدام الكترود مغلف ، وفيه يوضع الالكترود طولياً بين الجزئين المراد لحامهما بلحام تقابلي في الحز ٣ الموضح بشكل ٩ – ٢٣ ، حيث ينصهر الإلكترود فور إشعاله تحت قضيب من النحاس موضوع بأعلاه ، منتجاً بذلك درزة لحام نظيفة . تجرى هذه الطريقة محك آلياً عن طريق ترتيبة لحام خاصة.



شكل ٩ – ٢٣

لحام جزأين من لوح معدني رقيق تحت قضيب نحاسي

١. قضيب من النحاس .

٢. شريط من الورق.

٣. إلكترود.

٤. الجزأين الرقيقان المراد لحاميهما.

اللحام الكهربائي الخبثي

Electro-slag welding

تستخدم هذه الطريقة في العادة من خلال التحكم بالطرق الآلية في لحام الصلب. ولا يجري التسخين فيها بوساطة قوس كهربائي ، بل نتيجة مرور تيار كهربائي في حمام من الخبث المنصهر ، الذي يرتفع درجة حرارته إلى أعلى من درجة حرارة انصهار كل من معدن الأساس المراد لحامه والالكترود ، مما يؤدي إلى انصهارهما معاً.

يرسب الصلب المنصهر في قاع حمام الخبث بالوصلات المراد لحامها للحصول على لحام مثالي عند تبرده . تغلق الدرزة من كلا جانبي الوصلة بوساطة فكين من النحاس يحتجزان الخبث ويبردان بالماء ، في أثناء التشغيل يرتفع الفكان إلى أعلى ببطء ، مكونين حيزاً أنبوبياً ينفذ فيه الكترود واحد أو أكثر ، يحرك الإلكترود إلى أعلى بوساطة بكرة ، ويسمى هذان الفكان النحاسيان برأس التبريد المنزلق .

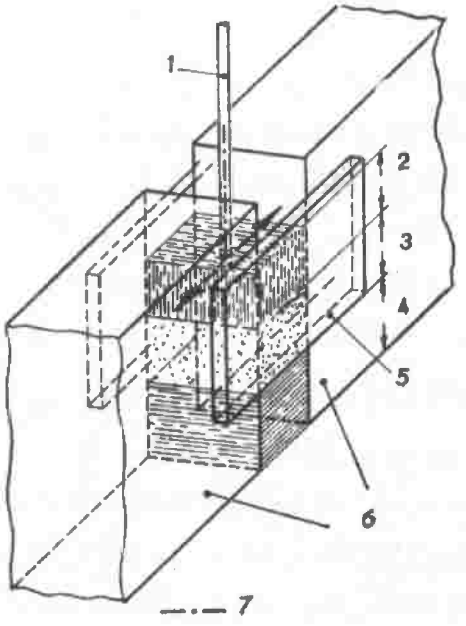
في بداية اللحام يحضر حمام الخبث بالحرارة المنبعثة من قوس كهربائي ، على أن تكون التيار المستخدم هو تيار متردد بجهد تشغيل ٥٠٠ فولت للحصول على درزات لحام ملساء ، أما درزات اللحام المعقدة فيستخدم في لحامها التيار المستمر . ومن الشائع في هذا الأسلوب استخدام الكترود قطره ٣ مم ، وتيار كهربائي شدته ٨٠٠ أمبير .

هذا الأسلوب يستخدم في لحام الألواح المعدنية التي تتراوح تخانتها ما بين ٤٠ . ٢٠٠ مم ، كما يمكن استخدامه بشكل معدل في لحام قطاعات تصل تخانتها إلى ١٠٠٠ مم . مما تقدم يتضح بأن هذا الأسلوب يتناسب بصفة خاصة مع لحام الألواح السميكة وبصفة خاصة في لحام الألواح ذات التخانات التي لا تناسبها أساليب اللحام الأخرى.

يصل عدد الالكترودات المستخدمة إلى ١٨ إلكترود ، تعمل جميعها في نفس الوقت ، ويمكن باستخدام الكترود بندولي لحام ألواح تصل تخانتها ١٥٠ مم ، ويبلغ معدل ترسيب الاكترود فيه ٢٧ كجم في الساعة ، يعتبر هذا المعدل مرتفع للغاية ، لذلك تزداد المزايا الاقتصادية لهذا الأسلوب مع إزدياد تخانة الدرزات المراد لحامها.

شكل ٩ – ٢٧ يوضح رسم تخطيطي للحام وصلة تقابلية بسيطة بالكهرباء الخبثي.

وجدول ٩ – ١ يوضح بيان بالنسب المئوية لتكاليفه الإجمالية مقارنة بالتكاليف الإجمالية للحام بالقوس المغمورة متعددة التمريرات ، مع افتراض أن تكاليفها تبلغ ١٠٠ %.



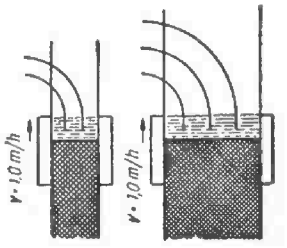
شكل ٩ – ٢٧
رسم تخطيطي للحام الكهربائي بالخبث
(مثال لوصلة تقابلية بسيطة)

١. سيخ اللحام.
٢. خبث منصور.
٣. صلب منصهر.
٤. لحام متجمد.
٥. فك من النحاس.
٦. الشغلتان المراد وصلهما.
٧. مسار التيار الكهربائي.

جدول ٩ – ١
النسب المئوية لتكاليفه الإجمالية مقارنة بتكاليف اللحام بالقوس المغمورة متعددة التمريرات

تخانة اللوح المعدني المراد لحامه	التكاليف الإجمالية
٥٠	٥٩
٣٠٠	١٣
٦٠	٧

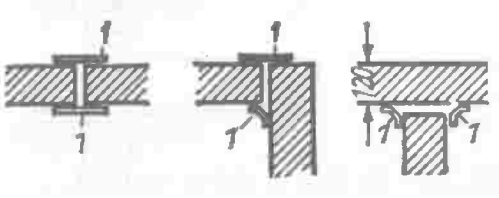
شكل ٩ – ٢٨ يوضح رسم تخطيطي للحام لوحين من تخانتين مختلفتين بطريقة اللحام بالكهرباء الخبثي ، ويوضح شكل ٩ – ٢٩ طريقة تركيب الفكين النحاسيين (رأس التبريد المنزلق) على وصلة تقابلية ووصلة زاوية ووصلة متعامدة.



شكل ٩ – ٢٨

رسم تخطيطي للحام لوحين بتخانتين مختلفتين بطريقة اللحام بالكهرباء الخبثي.

V = سرعة صعود الجهاز في اتجاه السهم.



شكل ٩ – ٢٩

تركيب فكين نحاسيين (رأس التبريد المنزلق) على وصلة تقابلية ووصلة زاوية ووصلة متعامدة.

على وصلة تقابلية ووصلة زاوية ووصلة متعامدة.

١. فك من النحاس.

مميزات أسلوب اللحام بالخبث الكهربائي :

يتميز أسلوب اللحام بالخبث الكهربائي بعدة مميزات أهمها الآتي :-

١. يمكن لحام ألواح تصل تخانتها ١٥٠ ممباستخدام إلكترود بندولي.

٢.لا ينبعث من الخبث سوى كمية ضئيلة من الغاز ، ولهذا لا يتناثر من الخبث أي رذاذ.

٣. كمية مسحوق اللحام المستنفذة في هذا الأسلوب تبلغ $\frac{1}{10}$ الكمية المستنفذة منه في اللحام بالقوس المغمورة.

٤. استهلاك الطاقة الكهربائية أقل نسبياً.

٥. لا يحتبس الخبث في منطقة اللحام.

٦. لا يتأثر بالعوامل الجوية (بالطقس)

٧. لا يتأثر عند وجود صدأ بحواف النهايات المراد لحامها

٨. لا يتأثر عند وجود مسحوق اللحام رطباً

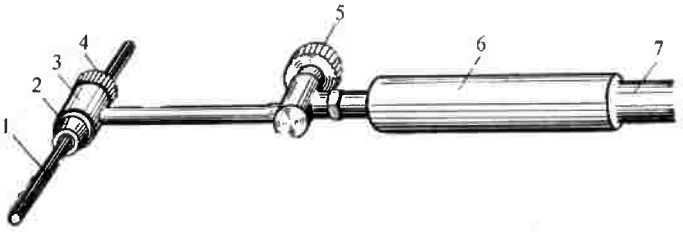
وقد أدى استخدام طريقة اللحام الكهربائي بالخبث في اللحام الشغلات ذوات الجدران السميكة إلى فتح آفاق جديدة أمام المصممين . فالشكل ١٤٥ يوضح هيكل مكبس تشكيل قوة ٤٠٠٠طن لم يصب (يسبك) بالطريقة التقليدية ، بل تم تجميعه من ألواح معدنية ومصبوبات من الصلب ، ثم أجري لحامها تحت الخبث ، ويبلغ وزن هذا الهيكل حولي ٢٠٠ طن ، وسمك جدرانه الجانبية ٨٠مم ، وارتفاعه حوالي ٤٥٠٠مم ، وعرضه ٢٨٠٠مم ، وقد أمكن باستخدام هذا الأسلوب الإنتاجي ، خفض وزن المعدن المستخدم بنسبة ٢٠% عما إذا استخدم أسلوب الصب (السباكة) ، هذا فضلا عن إمكان اختصار دورة التشغيل فيه.

القطع القوسي الهوائي

يطرد المعدن المنصهر عند القطع القوسي الهوائي عن طريق القوس تحت تأثير تيار هوائي وذلك على إمتداد خط القطع ، حيث يندفع الهواء باستمرار بضغط لا يقل عن ٤ ضغط جوي في الماسك ، ثم يمر بطول محور الإلكترود إلى منطقة القطع ، بحيث تتناسب كمية المعدن المنصهر في منطقة القطع مع شدة التيار في القوس.

شكل ٩ – ٣٠ يوضح ماسك إلكترود لعملية القطع القوسي الهوائي ، حيث يندفع الهواء من خلال الفتحة الحلقية الموجودة حول الإلكترود الكربوني ، كما يستعمل أيضاً ماسك إلكترود ذو تغذية جانبية.

يعتبر إنتاجية القطع القوسي الهوائي أكبر من إنتاجية القطع بالإلكترود المعدني.



شكل ٩ – ٣٠

ماسك إلكترود للقطع القوسي الهوائي

١. إلكترود كربوني أو جرافيتي.

٢. طرف مدبب.

٣. قمة الماسك.

٤. حدافة لضغط القضيب مع الإلكترود.

٥. محبس للتحكم في دفع الهواء.

٦. مقبض.

٧. أنبوب بكابل لدفع الهواء وتغذية القوس بالتيار الكهربائي.

توجد طريقة أخرى مشابهة لطريقة القطع القوسي الهوائي ، وهي طريقة القطع القوسي الأكسوجيني مع استعمال إلكتردات كربونية . في هذه الطريقة يندفع الأكسوجين في إتجاه المعدن المنصهر وعلى بعد معين من القوس ، حيث يقوم الأكسوجين بأكسدة المعدن ، وبالتالي ينفصل المعدن المنصهر والمتأكسد من منطقة القطع . تستعمل مولدات للتيار المستمر للحام الكهربائي كمصدر لتغذية القوس.

إن القطع القوسي الهوائي والقطع القوسي الأكسوجيني يستعملان بنجاح وخاصة عند إزالة العيوب السطحية الموجودة في وصلات اللحام ، وكذلك عند تجهيز الحواف على شكل حرف V لعمليات اللحام وعند صهر التشققات وغير ذلك.

من الممكن استعمال القطع القوسي الهوائي في وجود إلكترود معدني ، ولهذا الغرض توضع حول ماسك الإلكترود فوهة حلقية (منفث) يمر خلالها الهواء المضغوط.

تعتبر هذه الطريقة ملائمة وخاصة عند أعمال التركيبات حينما يضطر فني اللحام

إلى قطع (فصل) وحدة مجمعة لإجراء عملية اللحام أو عند إزالة العيوب بالوصلات.

القطـــع باللهب

القطع الأوتوماتي باللهب هو أسلوب حراري لفصل أنواع الصلب اللاسبيكي والصلب السبيكي منخفض الخلط ، يعتمد هذا الأسلوب على قابلية الصلب للاحتراق بسرعة شديدة في جو من الأكسوجين النقي بعد بلوغه درجة حرارة الاشتعال التي تصل إلى ١٢٠٠ ^{0}م ، حيث يسخن الصلب إلي درجة حرارة اشتعاله التي تقع تحت درجة انصهاره بلهب التسخين المسبق بمشعل القطع الموضح بشكل ٩ – ٣١ ، وبفتح صمام أكسوجين القطع بمشعل القطع ينطلق الأكسوجين النقي المضغوط ويحرق الصلب ، ويحدث الاحتراق بسرعة وفي المواضع المسلط عليها تيار الأكسوجين على المشغولة فقط ، وفي نفس الوقت تطرد طبقة الأكسيد الرقيقة شديدة التميع من موضع القطع بتأثير ضغط تيار الأكسوجين لتنشأ فجوة فاصلة صقيلة.

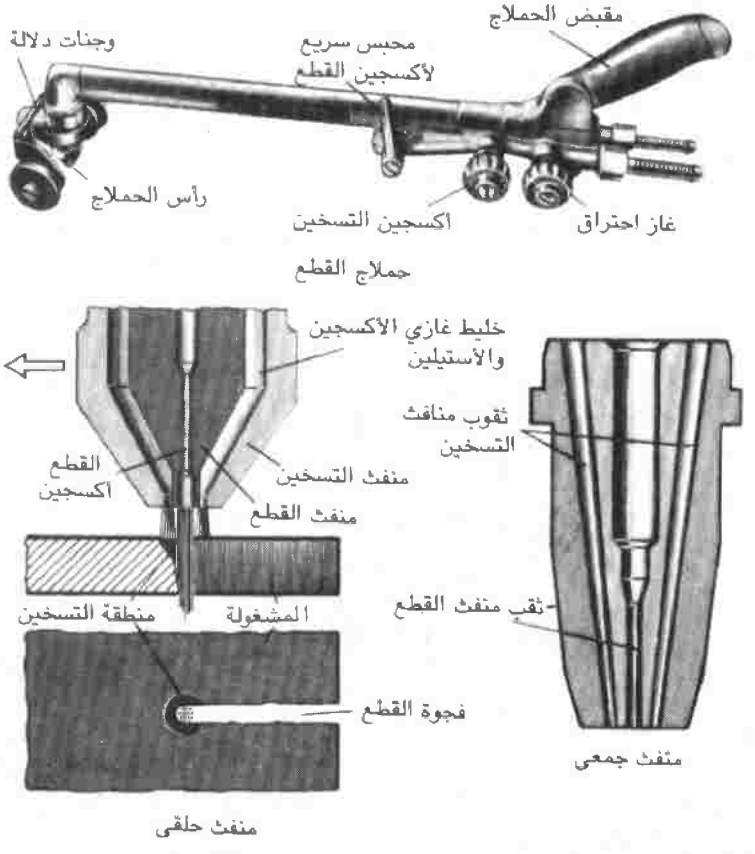
وهناك مشاعل قطع تضم منفثي تسخين وقطع موضوعين بالترتيب ، وأخرى بمنافث متدرجة لقطع الألواح الرقيقة.

تصل قدرة القطع لأطقم مشاعل القطع إلي ١٠٠ مم من تخانة المشغولة ، ولمشاعل القطع اليدوية العادية إلي ٣٠٠ مم ولمشاعل الخاصة إلي ٢٠٠٠ مم من تخانة المشغولة.

كذلك يستخدم القوس الكهربائي في صهر الصلب ، بحيث يتقطر معه دفق المصهور ومادة الالكترود عبر الشق إلي أسفل.

في أسلوب القطع بالقوس الكهربائي في جو من الأكسوجين تستخدم الكترودات مغلفة ومجوفة . وبعد التسخين ينفخ الأكسوجين خلال الالكترود أثناء أمرار القوس الكهربائي على المشغولة . ويمكن بهذا الأسلوب أيضا فصل معادن مثل الحديد الزهر وأنواع الصلب السبائكي عالي الخلط والمعادن اللاحديدية.

ويتطلب الكترود القطع بالأكسوجين ملاقط خاصة يمرر خلالها كل من التيار الكهربائي وأكسوجين القطع ، وعلى الرغم من أن هذه الطريقة لا تحقق تشكيل أسطح قص صقيلة كما هو الحال في القطع الذاتي بالمشاعل ، إلا أنها تكتسب أهمية خاصة في التخريم الأكسوجيني للألواح بتخانات تصل إلي ١٥٠ مم وفي إزالة مسامير البرشام.



شكل ٩ – ٣١

مشعل القطع الذاتي ومخطط منافذ القطع

القطع بقوس نافذ بالبلازما

مبدأ عمل القوس النافذ بالبلازما :

مبدأ نشوء القوس النافذ (البلازما) الموضح بشكل ٩ – ٣٢ ، ينشأ بين المعدن الجاري قطعه وبين إلكترود تنجستني موضوع داخل فوهة المشعل التي توجد بها قناة صغيرة القطر ، حيث يمر الغاز من خلالها ، عندما يمر الغاز خلال قناة الفوهة يسخن حتى درجة حرارة عالية.

تتكون البلازما من الغاز المتأين الذي تصل درجة حرارته إلى ما يزيد على ١٠٠٠ ^{0}م. ونتيجة لارتفاع درجة الحرارة يحصل الغاز على سرعة كبيرة ، وعندما يتعمق القوس داخل القطع يزداد طوله ، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة التيار المستخدم للقوس ، وتؤدي زيادة التيار إلى زيادة اتساع القطع.

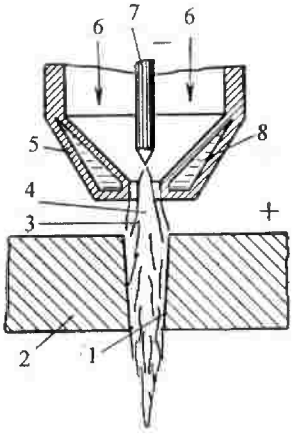
ويتم القطع يدوياً أو بواسطة معدات ميكانيكية ، وفي أغلب الأحيان يتم بواسطة تيار مستمر ذي قطبية مباشرة.

في أسلوب القطع بالبلازما يسمى أيضا بأسلوب القص بالصهر . تستخدم حزمة البلازما في تسخين قطاع محدود من المشغولة بسرعة إلي درجات حرارة تفوق نقطة انصهارها ، حيث تنصهر المادة تحت تأثير حزمة الغاز القوية الساخنة وتسيل خارج فجوة القطع.

يستخدم أسلوب القطع بالبلازما بنجاح تام بوجه خاص في الحالات التي يتعذر ولا يمكن قطعها باستخدام أساليب القطع باللهب بالطرق المعتادة ، كما هو الحال في عند قطع الألومونيوم والنحاس وسبائكهما ، وكذلك عند قطع بعض أنواع الصلب الخاص.

عند قطع المعادن غير الحديدية يستعمل خليط من الأرجون والأيدروجين (حتى ٣٥ % أيدروجين) ، أما عند قطع الصلب فإنه يستعمل خليط من النتروجين والأيدروجين (حتى ٥٠ % أيدروجين).

وكمصدر للتيار تستعمل مولدات التيار المستمر أو مقومات التيار المتردد ، ذات المنحنى الخصائصي الهابط ، والمصممة على أساس مرور تيار تشغيلي شدته ٢٥٠ . ٤٥٠ أمبير، وبجهد مقداره ١٠٠ فولت.



شكل ٩ – ٣٢

مبدأ تكون القوس النافذ (البلازما)

١. قاطعة.
٢. المعدن الجاري قطعه.
٣. سيل البلازما.
٤. القوس.
٥. الفوهة.
٦. غاز.
٧. الإلكترود التنجستني.
٨. ماء التبريد.

القطع أسفل سطح الماء

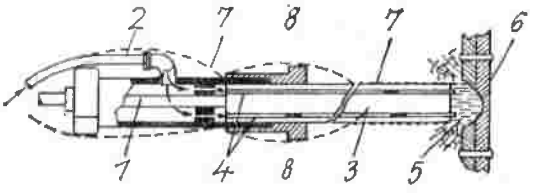
باستخدام القوس والأكسوجين

استخدمت بعد الحرب العالمية الأولى مباشرة طريقة القطع بالقوس والأكسوجين أسفل سطح الماء بواسطة البحرية الأمريكية ، وطورتها بعد الحرب العالمية الثانية ، ثم استخدمت بعد ذلك في الأشغال المدنية والإنقاذ والإنتشال وفي صناعة بناء المحطات العائمة ، ثم طورت واستخدمت في صناعة وصلات اللحام.

يولد قوس كهربائي بين سيخ قطع من الكربون أو الصلب أو السيراميك والأكسوجين ، حيث يكون الأكسوجين في الوسط . تغطي أسياخ الصلب بمساعد صهر مع استخدام تيار مستمر DC ، بحيث يكون الإلكترود سالباً . يمكن بهذه الطريقة قطع تخانات تصل إلى ٤٠ مم باستخدام أسلوب السحب.

يستخدم عادة خليط من الأكسوجين ووقود غازي أو قوس كهربائي للتسخين المتقدم ، ثم تستخدم نافورة أكسوجين لأكسدة وقطع وإزالة المعدن السابق توهجه.

شكل ٩ – ٣٣ يوضح مشعل قطع يعمل بالأكسوجين وقوس كهربائي المستخدم في عمليات القطع أسفل سطح الماء ، وجدول ٩ – ٢ يوضح مقارنة بين أسياخ الصلب وأسياخ السيراميك.



شكل ٩ – ٣٣

مشعل قطع بالأكسوجين وقوس كهربائي

المستخدم في القطع أسفل سطح الماء

١. موصل كهربائي.

٢. وصلة أكسوجين.

٣. إلكترود من الكربون.

٤. أنابيب خلال الإلكترود لتوصيل الأكسوجين إلى الفوهة.

٥. قوس مستعل.

٦. الألواح الجاري قطعها.

٧. عازل للمشعل.

٨. الماء المحيط بالعملية.

جدول ٩ – ٢

مقارنة بين أسياخ الصلب وأسياخ السيراميك

المستخدمة في عمليات القطع أسفل سطح الماء

أسياخ الصلب	أسياخ السيراميك
شدة التيار المستخدمة ٣٠٠ أمبير	شدة التيار المستخدمة أكثر ٣٠٠ أمبير
طويلة	قصيرة
استهلاك أسرع	استهلاك أقل
بطيئة أثناء القطع	سريعة أثناء القطع
من أكثر طرق القطع لتوفرها	قليلة الاستخدام
رخصة الثمن	مرتفعة الثمن