



طرائق التصنيع ( 3 )  
(لحام المعادن)







منشورات جامعة دمشق  
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

# طرائق التصنيع ( 3 ) (الحام المعادن)

## Welding metals

الدكتور  
عصام موسى  
أستاذ مساعد في  
قسم هندسة التصميم الميكانيكي

الدكتور  
محمد علي سلامة  
أستاذ في قسم  
هندسة التصميم الميكانيكي

١٤٣٥ - ١٤٣٦ هـ  
٢٠١٣ - ٢٠١٤ م

جامعة دمشق



## الفهرس

| رقم الصفحة | الموضوع                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------|
| 17         | الفصل الأول : الأسس الفيزيائية للحام المعادن.           |
| 19         | 1,1- المفهوم الفيزيائي للارتباط المعدني                 |
| 22         | 1,2- فيزياء اللحام باستخدام الحرارة و الضغط             |
| 24         | 1,3- العلاقة بين العناصر التكنولوجية للحام بالضغط       |
| 25         | 1,4- فيزياء اللحام بالصهر                               |
| 26         | 1,5- بعض من مزايا فيزياء لحام المعادن                   |
| 29         | الفصل الثاني: تصنيف أنواع اللحام.                       |
| 31         | 2,1- تصنيف أنواع اللحام حسب نوع الطاقة المستخدمة        |
| 32         | 2,2- تصنيف أنواع اللحام حسب حالة المعدن في منطقة اللحام |
| 37         | الفصل الثالث: اللحام على البارد واللحام الاحتكاكي.      |
| 39         | 3,1- تقانة اللحام على البارد                            |
| 39         | 3,2- استخدامات اللحام على البارد                        |
| 40         | 3,3- تقانة اللحام الاحتكاكي                             |
| 45         | الفصل الرابع: لحام التماس الكهربائي(لحام المقاومة).     |
| 47         | 4,1- لحام التماس التناكبي                               |
| 48         | 4,1,1- لحام التماس بالمقاومة                            |
| 48         | 4,1,2- لحام التماس بالصهر                               |
| 50         | 4,2- لحام التماس النقطي                                 |
| 52         | 4,3- لحام التماس التدريزي (المستمر)                     |
| 55         | الفصل الخامس : طرائق لحام الضغط الحديثة.                |
| 57         | 5,1- اللحام بالانفجار                                   |
| 60         | 5,2- اللحام بالانتشار                                   |
| 65         | 5,3- اللحام بالاهتزازات فوق صوتية                       |
| 65         | 5-3,1- تعدد مجالات استخدام الاهتزازات فوق صوتية         |

| الموضوع                                                                       | رقم الصفحة |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2,3-5- مفهوم الاهتزازات فوق صوتية                                             | 66         |
| 4-5- آلات وتقانة اللحام بالاهتزازات فوق صوتية                                 | 68         |
| الفصل السادس : اللحام والقص بالغاز                                            | 73         |
| 1,6- تعريف الغازات المستخدمة                                                  | 75         |
| 2,6- تقانة اللحام بالأكسي أسيتلين                                             | 77         |
| 2,2-6- الأسلوب الفني للحام الغازي                                             | 82         |
| 3,2-6- أسس تقانة اللحام الغازي                                                | 84         |
| 4,2-6- الأنواع الخاصة للحام الغازي                                            | 85         |
| 3,6- تقانة القص الغازي للمعادن                                                | 87         |
| 1,3-6- الشروط الأساسية لقص المعادن بالأكسدة                                   | 87         |
| 2,3-6- أنظمة القص                                                             | 89         |
| 3,3-6- الأسلوب الفني للقص                                                     | 90         |
| 4,3-6- بعض أساليب القص للمدرفلات والرزم والألواح السميكة                      | 94         |
| 4-6- القص بالقوس البلازما                                                     | 96         |
| الفصل السابع : اللحام بالقوس الكهربائي                                        | 101        |
| 1-7- طبيعة تكوين القوس الكهربائي                                              | 103        |
| 2-7- قدح القوس الكهربائي وأقسامه                                              | 107        |
| 3-7- الخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي                                        | 109        |
| 4-7- تأثير المجالات المغناطيسية والكتل الفيرومغناطيسية في القوس الكهربائي     | 111        |
| 5-7- بنية معدن الدرزة اللحامية ومعدن منطقة التأثير الحراري                    | 113        |
| 6-7- تأثير الأكسجين والأزوت والهيدروجين في الخواص الميكانيكية للدرزة اللحامية | 116        |
| الفصل الثامن : تصنيف أساليب اللحام بالقوس الكهربائي.                          | 125        |
| 1-8- التصنيف حسب مستوى المكننة والأتمتة                                       | 127        |
| 2-8- التصنيف حسب نوع التيار وقطبيه                                            | 130        |

| الموضوع                                                                                                       | رقم الصفحة |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3-8- التصنيف حسب نوع القوس المشتعل                                                                            | 131        |
| 4-8- التصنيف حسب خواص الإلكترود                                                                               | 131        |
| 5-8- التصنيف حسب نوع الحماية المستخدمة لمنطقة اللحام                                                          | 131        |
| 6-8- التصنيف حسب ظروف تتبع اشتعال القوس                                                                       | 133        |
| الفصل التاسع: حساب أنظمة اللحام وأبعاد الدرزة اللحامية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي والقوس المحكم آلياً | 135        |
| 1-9- حساب أنظمة اللحام وأبعاد الدرزة اللحامية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي                              | 137        |
| 2-9- حساب أنظمة اللحام المحكم آلياً لأنواع مختلفة من الوصلات                                                  | 148        |
| 3-9- حساب أبعاد الدرزة اللحامية في حالة اللحام المحكم آلياً                                                   | 153        |
| 4-9- التقييم الحسابي للخواص الميكانيكية المتوقعة للدرزة اللحامية                                              | 170        |
| الفصل العاشر : اللحام الكهربائي الخبثي.                                                                       | 177        |
| 1-10- مفهوم اللحام الكهربائي الخبثي                                                                           | 179        |
| 2-10- أنظمة اللحام الكهربائي الخبثي                                                                           | 182        |
| الفصل الحادي عشر: اللحام في وسط من الغازات الواقية                                                            | 189        |
| 1-11- مفهوم اللحام في وسط من الغازات الواقية                                                                  | 191        |
| 2-11- تقانة اللحام في وسط من الغازات الواقية                                                                  | 193        |
| 3-11- الخواص التعدينية للغازات المستخدمة في الوقاية                                                           | 199        |
| الفصل الثاني عشر: اللحام بالبلازما.                                                                           | 205        |
| 1-12- تعريف البلازما                                                                                          | 207        |
| 2-12- طرق الحصول على البلازما                                                                                 | 208        |
| 3-12- مزايا تيار البلازما                                                                                     | 210        |
| 4-12- تقانة اللحام بقوس البلازما                                                                              | 211        |
| 5-12- تقانة اللحام بقوس ميكرو البلازما                                                                        | 215        |

| الموضوع                                                                     | رقم الصفحة |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6-12- تقانة اللحام بقوس البلازما وباستخدام الكترودين                        | 217        |
| الفصل الثالث عشر: اللحام بالأشعة الإلكترونية                                | 221        |
| 1-13- مبدأ توليد الأشعة الإلكترونية                                         | 223        |
| 2-13- مبدأ اللحام بالأشعة الإلكترونية                                       | 228        |
| 3-13- تقانة اللحام بالأشعة الإلكترونية في وسط مخلخل                         | 230        |
| الفصل الرابع عشر: اللحام بأشعة الليزر                                       | 237        |
| 1-14- المولدات الكوانتية ومبدأ توليد أشعة الليزر                            | 239        |
| 2-14- تقانة اللحام بأشعة ليزر المولدات الكوانتية الصلبة                     | 245        |
| الفصل الخامس عشر: اللحام بالهيدروجين الذري                                  | 251        |
| 1-15- مفهوم اللحام بالهيدروجين الذري وتقائنه                                | 253        |
| 2-15- مجالات استخدام اللحام بالهيدروجين الذري                               | 255        |
| الفصل السادس عشر : لحام الفولاذ متوسط وعالي نسبة الكربون والفولاذ السبائكي. | 257        |
| 1-16- تقانة لحام الفولاذ الكربوني متوسط وعالي نسب الكربون                   | 256        |
| 2-16- تقانة لحام الفولاذ السبائكي                                           | 260        |
| الفصل السابع عشر: لحام حديد الصب (الفونت)                                   | 265        |
| 1-17- تصنيف الفونت وخواصه                                                   | 267        |
| 2-17- قابلية اللحام عند الفونت                                              | 272        |
| 3-17- توصيات عامة للحام الفونت                                              | 273        |
| 4-17- اللحام بالقوس الكهربائي باستخدام تسخين مسبق (اللحام الساخن)           | 278        |
| 5-17- اللحام بالقوس الكهربائي بدون تسخين مسبق (اللحام البارد)               | 280        |
| 6-17- لحام الفونت عالي المتانة                                              | 284        |
| الفصل الثامن عشر: لحام المعادن الملونة وخلاتطها (المعادن غير الحديدية)      | 285        |
| 1-18- لحام الألمنيوم وخلاتطه                                                | 287        |

| الموضوع                                                                                            | رقم الصفحة |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 18-1,1- تحضير قطع الألمنيوم قبل اللحام                                                             | 288        |
| 18-1,2- لحام الألمنيوم وخلائطه بالقوس الكهربائي اليدوي                                             | 289        |
| 18-1,3- لحام الألمنيوم وخلائطه بالقوس الكهربائي الآلي                                              | 290        |
| 18-1,4- لحام الألمنيوم وخلائطه بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الأرجون                              | 290        |
| 18-1,5- اللحام الغازي للألمنيوم وخلائطه                                                            | 292        |
| 18-1,6- معالجة وصلات الألمنيوم اللحامية ميكانيكياً وحرارياً                                        | 293        |
| 18-2- لحام النحاس                                                                                  | 293        |
| 18-2,1- لحام النحاس بالقوس الكهربائي اليدوي                                                        | 294        |
| 18-2,2- لحام النحاس بالقوس الكهربائي المحكم آلياً                                                  | 295        |
| 18-2,3- لحام النحاس في وسط من الغازات الواقية                                                      | 296        |
| 18-2,4- اللحام الغازي للنحاس                                                                       | 297        |
| 18-2,5- معالجة وصلات اللحام النحاسية حرارياً                                                       | 298        |
| 18-3- لحام التيتان                                                                                 | 298        |
| 18-3,1- لحام التيتان وخلائطه بالقوس الكهربائي في وسط من غاز الأرجون                                | 299        |
| 18-3,2- لحام التيتان وخلائطه بالقوس المغمور بالفلكس                                                | 300        |
| 18-3,3- لحام التيتان وخلائطه بالتماس الكهربائي                                                     | 300        |
| 18-3,4- المعالجة الحرارية لوصلات التيتان وخلائطه                                                   | 304        |
| 18-4- لحام البرونز                                                                                 | 304        |
| الفصل التاسع عشر: اللحام والقص تحت الماء                                                           | 305        |
| 19-1- اللحام تحت الماء                                                                             | 307        |
| 19-2- القص تحت الماء                                                                               | 313        |
| الفصل العشرون: مميزات المنشآت المعدنية الملحومة واختيار نوع الفولاذ المخصص لإنتاج الوصلات اللحامية | 319        |
| 20-1- ميزات المنشآت المعدنية الملحومة بمقارنتها بمنشآت                                             | 321        |

|     |                                                                              |
|-----|------------------------------------------------------------------------------|
| 321 | 20-2- ميزات المنشآت المصنوعة باللحام على مثيلاتها<br>المصنوعة بالسكب         |
| 322 | 20-3- أهم سلبات عملية اللحام على متانة المنشآت واستثمارها                    |
| 322 | 20-4- اختيار نوع الفولاذ المخصص من أجل لحام المنشآت                          |
| 323 | 20-4,2- مفهوم قابلية الفولاذ للحام                                           |
| 325 | الفصل الحادي والعشرون: أنواع الوصلات الملحومة ومقاومتها<br>التصميمية         |
| 327 | 1- 21 تصنيف الوصلات الملحومة                                                 |
| 330 | 2- 21- المقاومات التصميمية للوصلات اللحامية (الاجهادات<br>المسموح بها)       |
| 335 | الفصل الثاني والعشرون: تصميم الوصلات اللحامية تبعاً لتأثير<br>القوى المحورية |
| 337 | 1- 22- تصميم الوصلات اللحامية التناكبية                                      |
| 340 | 2- 22- تصميم الوصلات اللحامية التراكبية                                      |
| 347 | 3- 22- تصميم الوصلات اللحامية المركبة                                        |
| 353 | 4- 22- تصميم الوصلات التي على شكل حرف T                                      |
| 355 | الفصل الثالث والعشرون: الإنشاءات القشرية الفولاذية                           |
| 357 | 1- 23- سمات وخصائص الإنشاءات القشرية                                         |
| 357 | 2- 23- خصائص الإنشاءات القشرية                                               |
| 358 | 3- 23- تصميم خزانات السوائل                                                  |
| 358 | 1, 23-3- تصميم الخزانات المقامة على سطح الأرض                                |
| 358 | 2, 23-3- خزانات الضغط المنخفض                                                |
| 367 | 3, 23-3- خزانات الضغط المرتفع                                                |
| 369 | 4- 23- الصوامع المعدنية                                                      |
| 373 | الفصل الرابع والعشرون: الإجهادات والنشوهات المتبقية الناتجة<br>عن اللحام     |



| الموضوع                                                                             | رقم الصفحة |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1-24- أسباب الإجهادات والتشوهات المتبقية الناتجة عن اللحام                          | 375        |
| 2-24- الإجراءات الضرورية لتقليل الإجهادات والتشوهات عند اللحام                      | 378        |
| الفصل الخامس والعشرون: حجم العمل اللازم لإنتاج القطع الإنشائية الملحومة.            | 389        |
| الفصل السادس والعشرون: إلكترونيات اللحام                                            | 395        |
| 1-26- الالكترونيات غير المنصهرة                                                     | 397        |
| 2-26- الالكترونيات المنصهرة                                                         | 398        |
| 3-26- تصنيف الالكترونيات                                                            | 402        |
| 4-26- أهم المزايا والاستخدام للالكترونيات المغلفة                                   | 405        |
| 5-26- توصيف الكترودات اللحام                                                        | 406        |
| الفصل السابع والعشرون: مساعدات الصهر (الفلكس).                                      | 411        |
| 1-27- خواص مساعدات الصهر وتركيبها                                                   | 413        |
| 2-27- تصنيف مساعدات الصهر                                                           | 415        |
| 1,2-27- مساعدات الصهر المخصصة للحام الفولاذ منخفض الكربون والسبائك منخفضة نسب الخلط | 415        |
| 2,2-27- مساعدات الصهر المخصصة للحام الفولاذ الخليط                                  | 416        |
| 3,2-27- مساعدات الصهر المستعملة في لحام المعادن الملونة وخليطها.                    | 417        |
| الفصل الثامن والعشرون: عيوب الوصلات اللحامية وطرائق علاجها                          | 419        |
| 1-28- العيوب الشائعة في الوصلات اللحامية                                            | 421        |
| 2-28- طرائق علاج عيوب الوصلات اللحامية                                              | 430        |
| الفصل التاسع والعشرون: السلامة المهنية في عمليات اللحام                             | 433        |
| 1-29- قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية                                          | 435        |
| 2-29- مخاطر الكهرباء في اللحام وطرق الوقاية منها                                    | 437        |

| الموضوع                                                            | رقم الصفحة |
|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 29-3- مخاطر الإشعاع الناتج عن القوس الكهربائية                     | 438        |
| 29-4- تلوث الهواء المصاحب لعمليات اللحام المختلفة                  | 439        |
| 29-5- مخاطر الحرائق والانفجارات في عمليات اللحام                   | 440        |
| 29-6- مخاطر تنظيف الوصلات اللحامية                                 | 441        |
| الفصل الثلاثون : ترميز اللحامات على المخططات طبقاً للنظام العالمي. | 443        |
| 30-1- معلومات عامة                                                 | 445        |
| 30-2- الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام                          | 446        |
| 30-3- الرموز التكميلية للوصلات اللحامية                            | 448        |
| 30-4- توضع الرموز على المخططات                                     | 449        |
| 30-5- أمثلة على كيفية استعمال الرموز                               | 454        |
| 30-6- أبعاد درزة اللحام على المخططات                               | 462        |
| 30-7- توضيحات إضافية                                               | 463        |
| الفصل الحادي و الثلاثون: اختبار جودة اللحام                        | 475        |
| 31-1- اختبار جودة المعدن الأساسي المخصص للتصنيع                    | 478        |
| 31-2- اختبار جودة الالكترودات                                      | 479        |
| 31-3- اختبار مهارة عمال اللحام                                     | 479        |
| 31-4- اختبار القطع                                                 | 480        |
| 31-5- اختبار تجمع القطع                                            | 480        |
| 31-6- اختبار جودة اللحام في القطع الجاهزة                          | 481        |
| 31-7- الاختبارات الميكانيكية لدرزات اللحام والقطع الجاهزة          | 484        |
| 31-8- الاختبارات اللاإتلافية لدرزات اللحام                         | 490        |
| 31-8,1- الفحص باستخدام الأشعة                                      | 490        |
| 31-8,2- الطريقة المغناطيسية                                        | 492        |
| 31-8,3- الفحص بالأمواج فوق صوتية                                   | 494        |
| 31-8,4- الفحص بالجهاز الالكتروني ذو العدسات                        | 496        |

| الموضوع                                                                                               | رقم الصفحة |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| الفصل الثاني والثلاثون: مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية المعدنية وأهم طرائق رفع متانة الوصلات اللحامية | 499        |
| 1-32- مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية                                                                  | 501        |
| 2-32- أهم طرائق رفع متانة الوصلات اللحامية بالطرق التصميمية                                           | 509        |
| - المصطلحات العلمية                                                                                   | 522        |
| - المراجع العلمية                                                                                     | 544        |



يبحث هذا الكتاب في علم طرائق التصنيع باللحام، حيث يعد علم اللحام محاور الصناعات الهندسية في وقتنا الحاضر ويلقى تطوراً سريعاً منذ عشرات السنين و حتى يومنا هذا ، فبعد أن كان معروفاً في النصف الثاني من القرن التاسع عشر والقرن العشرين مجموعة من طرائق اللحام البسيطة و التقليدية أصبح الآن ممكناً استخدام طرق وأساليب لحام حديثة خاصة يصعب الإلمام بها في كتاب واحد .

يعد اللحام من أفضل الطرق و أكثرها كفاءة في وصل المعادن فهو الطريقة الوحيدة التي يمكن بها وصل معدنين أو أكثر معا و جعلها مادة واحدة غير قابلة للتفكك و ذلك بإيجاد ارتباط مباشر بين سطحي القطعتين المراد وصلهما ، دون استخدام أي رابط وسيطي ، و يتم ذلك بتقريب السطحين من بعضهما لمسافة مساوية لطول ضلع الهيكل الشبكي أي ألا تزيد هذه المسافة على  $(5 \div 3)$  أنغستروماً .

تتمتع أساليب اللحام الحديثة بمجموعة كبيرة جداً من المزايا تجعلها رائدة في مجالات الصناعة المتعددة ، إذ تضمن هذه الأساليب الحصول على وصلات لحامية لا تتعدى سماكتها عدة ميكرونات ، بينما يمكن استخدام أساليب لحام أخرى ، إذ يمكن إنتاج وصلات لحامية تصل سماكتها عشرات و أحيانا مئات السنتيمترات ، و لهذا تتوافر اليوم تقانات حديثة متعددة للحام الدارات الإلكترونية الدقيقة و تقانات أخرى كثيرة للحام الإنشاءات الضخمة كالبواخر و الجسور الفولاذية و المراحل البخارية و الهياكل الخارجية للمفاعلات النووية و الأبراج المعدنية الكهربائية و التلفزيونية و الطائرات و الأقمار الصناعية و غيرها .

## الأسس الفيزيائية للحام المعادن

لا تقتصر تقانة اللحام في الوقت الحاضر على المعادن فحسب وإنما تتعداها إلى المواد غير المعدنية (كالزجاج و اللدائن و غيرها) و إلى لحام مواد مختلفة التركيب و الخواص مع بعضها (المعادن مع المواد غير المعدنية مثلاً). و مع كل هذا يبقى لحام المعادن الأكثر استخداماً عند إعداد أجزاء الآلات و الإنشاءات المختلفة، لهذا سوف يقتصر بحثنا في هذا الكتاب على لحام المعادن فقط .

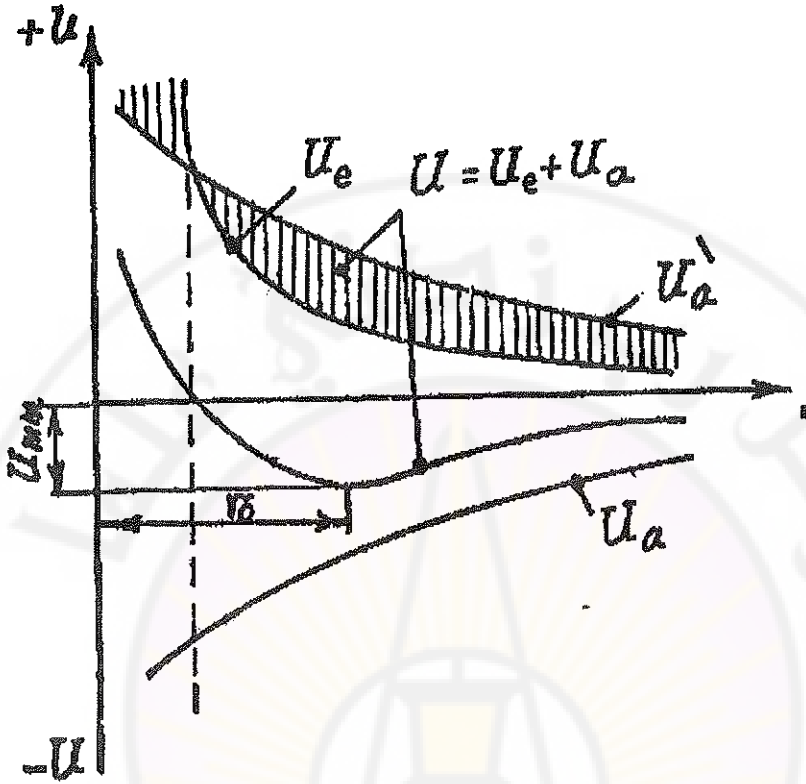
### 1-1 المفهوم الفيزيائي للإرتباط المعدني :

إن الهدف النهائي من هذه العملية التكنولوجية المعروفة باسم اللحام إيجاد ارتباط بين سطوح القطع المعدنية المراد وصلها ، إذ يؤدي هذا الارتباط للحصول على وصلات معدنية تكون خواصها مطابقة لشروط الاستثمار المطلوبة من هذه القطع .

من المعروف أن كل جسم سواء أكان صلباً أم سائلاً يتألف من مجموعة من الذرات أو الشوارد أو الجزيئات المرتبطة فيما بينها بقوى داخلية ، و تكون ارتباطات الجزيئات المادية مع بعضها إما تكافؤية أو أيونية (شاردية) أو جزيئية أو معدنية ، فالأنواع الثلاثة الأولى من هذه الارتباطات معروفة جيداً لدينا من علم الكيمياء و ليس لهذه الارتباطات مكاناً في لحام المعادن مع بعضها أما الارتباط المعدني فيمكن التعرف إليه من دراسة علم المعادن ، ويتبين أن الارتباطات المعدنية تحدث بواسطة قوى التجاذب الكهروستاتيكية التي تنشأ بين الأيونات الموجبة (أي الذرات التي فقدت إلكتروناتها الخارجية) و الإلكترونات الحرة السالبة التي تشكل ما يسمى الغاز الإلكتروني (الضباب الإلكتروني) و التي تشد الأيونات إلى بعضها الآخر . و بصفة عامة يمكننا القول إن قوى

الارتباط في المعدن تتحدد بقوى التنافر بين الأيونات الموجبة و قوى التجاذب بينها و بين الإلكترونات السالبة. يبين المخطط البسيط (شكل 1-1) كيف تتغير طاقة الارتباط لذرتين شحنتهما موجبة و تقعان في حقل إلكترونات سالبة و علاقة هذا الارتباط بالمسافة بين الذرتين.

نلاحظ من الشكل أن ازدياد قوى التجاذب (Attractive forces) عند اقتراب الذرتين من بعضهما يكون أبطأ من ازدياد قوى التنافر (expulsive forces) ، و أن قوى التنافر و التجاذب تتعادل عند مسافة معينة تسمى  $r_0$  إذ تكون الطاقة الكامنة عند هذه المسافة أصغر ما يمكن و تساوي قيمة معينة  $U_{min}$  . و نلاحظ من الشكل أن المساحة المهيشرة تمثل الفرق بين طاقة التجاذب ( $U_a$ ) و طاقة التنافر ( $U_e$ ) لذرتين فقط ، إذ تشكل هذه المساحة الفرق بين  $U_e = f(r)$  و  $U_a = f(r)$  (حيث  $U'_a$  يناظر  $U_a$  بالنسبة لمحور المسافة  $r$ ) ، فإذا بحثنا في عدد كبير من الذرات حيث تتوضع هذه الذرات لتشكل نظاماً هندسياً معيناً فيما بينها؛ فإن المسافة المماثلة لـ  $(r_0)$  هي طول ضلع هذا النظام الهندسي المسمى الهيكل الشبكي ، و من المعلوم حالياً أن طول ضلع الهيكل الشبكي لغالبية المعادن يراوح بين  $(3 \div 5)$  أنغستروماً. فإذا زادت المسافة بين هذه الذرات على هذا الحد فإن قوى الارتباط تقل بينها. فالمسافة  $r_0$  (التي كما ذكرنا آنفاً هي طول ضلع الهيكل الشبكي) لا تبقى ثابتة، فهي المسافة الوسطى بين الذرات ذاتها ، و هذه الذرات تبقى دائماً في حركة اهتزازية حول مكان تركزها، و يشكل مطال الاهتزاز عادةً وعند درجة الحرارة العادية نحو  $10 \div 5\%$  من المسافة الوسطى بين الذرات. و تزداد الاهتزازات بارتفاع درجة الحرارة تماماً، كما يزداد طول ضلع الهيكل الشبكي وهذا يؤدي عامةً إلى إضعاف الارتباط بين الذرات .



الشكل (1-1) : علاقة طاقة ارتباط ذرتين بالمسافة بينهما

ولكن ما يجب أن نعرفه هنا أن قوى ارتباط جميع ذرات القطعة المعدنية (عدا الذرات السطحية) متوازنة و متعادلة فيما بينها ، بينما يكون لذرات السطح ارتباطات حرة ، لهذا تستطيع هذه الذرات ضمن شروط معينة أن تتضم إليها ذرات أو جزيئات أخرى من الوسط المحيط ، فمثلاً تستطيع أن تمتص غازات مختلفة أو أن تدخل في ارتباط مع ذرات سطحية لجسم آخر صلباً سواءً أكان أم سائلاً . من هنا نستطيع أن نقول إنه لوصل جسمين ببعضهما و الحصول على جسم واحد لا بد من إيجاد ارتباط مباشر بين سطحيهما أو وصلهما ببعضهما عن طريق رابط وسيطي . و هذا يعني أنه لإيجاد الارتباط المباشر بين السطحين من دون استخدام أي رابط وسيطي يجب تقريب هذين

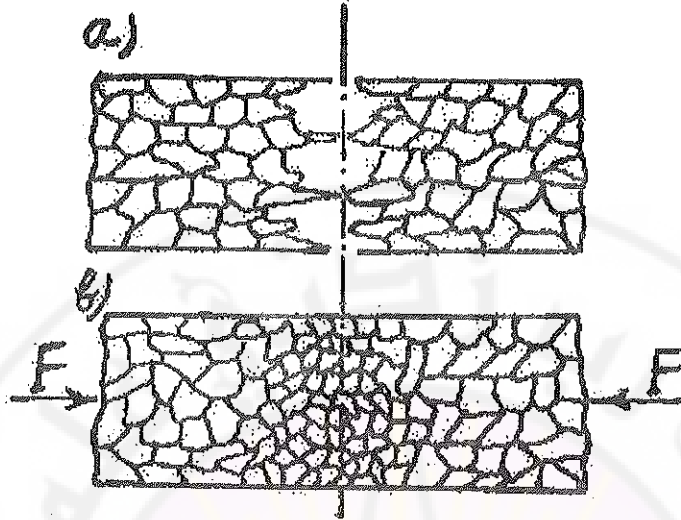


السطحين من بعضهما لمسافة مساوية طول ضلع الهيكل الشبكي \_ أي ألا تزيد هذه المسافة على (3÷5) أنغستروماً ، و هذا هو المبدأ الذي يعتمد عليه في فهم المعنى الفيزيائي لعملية اللحام .

## 2-1 - فيزياء اللحام باستخدام الحرارة والضغط :

لنبحث في إمكان إيجاد ارتباط بين سطحي قطعتين من المعدن نفسه موجودتين في الحالة الصلبة. نحن نعلم أن الطرق الحديثة لتشغيل السطوح (بما فيها تسوية هذه السطوح و صقلها) لا تستطيع أن تضمن الحصول عل سطوح لها الدقة الكافية حيث يمكن تقريب جميع نقاط السطحين من بعضهما لمسافة تساوي (3÷5) أنغستروماً،و إن أكبر دقة للتشغيل تضمن انحراف في أحرف السطوح بحدود ( $10^{-4} \div 10^{-5}$ ) سم ،لهذا عند تقريب هذه السطوح من بعضها فإن الارتباط سوف يحصل في نقاط محدودة من هذه السطوح ، و لا تشكل هذه النقاط بالمساحة سوى جزء صغير جداً من السطح الكلي ، و بالتالي فإن متانة الوصلة الناتجة تكون منخفضة إذا ما قورنت بمتانة المعدن الأساسي ، هذا إذا لم يعترض ارتباط الذرات السطحية أي عناصر معيقة لعملية الارتباط هذه مثل الغازات و القشور الأكسيدية و الزيوت و شوائب أخرى.

للتوضيح أكثر نحذف التأثير المعيق للشوائب السطحية ونفرض أنه بوجدنا إيجاد ارتباط بين البلورات الحدودية لسطحي القطعتين (شكل 1-2.a) شريطة أن تشمل هذه الارتباطات السطح كاملاً(انظر الشكل 1-2.b) وهذا يعني أنه يجب أن تتسلط قوى ضغط F حسب اتجاه السهمين في الشكل (1-2.b)، حيث تكون قوى الضغط هذه كافية لإزالة البروزات الميكروية على السطوح و إحداث ما يسمى الانفعال اللدن الموضعي و الكافي لتداخل البلورات السطحية مع بعضها بعضاً و الحصول على الوصلة اللحامية.



الشكل (1-2) : ارتباط سطحي قطعتين و تشكل الوصلة اللحامية

إن هذا النموذج الفيزيائي للحام و الذي بحثناه آنفاً يتطلب نشاطاً للسطوح المعدنية التي ستلتحم ، و يكون هذا النشاط ضرورياً ولاسيما عندما يوجد على هذه السطوح أوساخ و زيوت تعيق عملية اللحام . و يمكن لهذه الطاقة النشطة أن تعطى للسطوح إما على شكل حرارة و ذلك بتسخين القطع المراد لحامها \_ و تسمى في هذه الحالة الطاقة النشطة الميكانيكية .

و نود أن نذكر هنا أن استخدام التسخين حتى درجات حرارة معينة يقلل من مقاومة المعدن للتشوهات (الانفعالات) و يسرع من عمليات الانتشار و يؤدي أحياناً إلى إعادة التبلور . و طبقاً لهذا فإن رفع درجة حرارة القطع يسهل كل العمليات التي توفر الحصول على وصلة لحامية مكفولة و جيدة .

### 1-3 - العلاقة بين العناصر التكنولوجية للحام بالضغط :

تختلف العلاقة المتبادلة بين العناصر التكنولوجية لعملية اللحام بالضغط و التي بحثناها آنفاً وهي : درجة الحرارة التي يتم تسخين القطع إليها و مقدار قوى الضغط المطبقة على هذه القطع . و تختلف هذه العلاقة باختلاف نوعية المعدن المراد لحامه . و يوضح الشكل (1-3) هذه العلاقة في حالة لحام الحديد

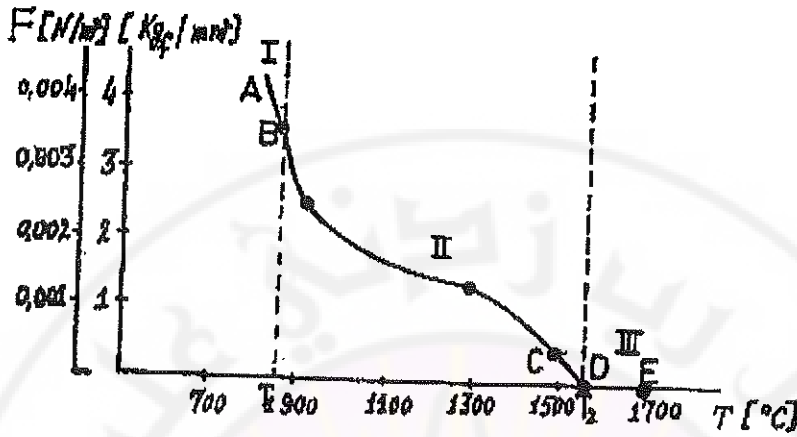
الصناعي و ضمن شروط تكفل عدم وجود أي شوائب أو زيوت أو أوساخ على سطوح القطع . من الشكل (1-3) نلاحظ أن المنحني ABCDE يقسم حقل العناصر التكنولوجية ( وهي الضغط  $F$  و درجة الحرارة  $T$  ) إلى مجالين :

الأول : هو مجال الحصول على وصلة لحامية لها خواص قريبة من خواص معدن الأساس \_ و هذا المجال واقع أعلى المنحني .

الثاني : هو مجال الحصول على وصلات رديئة ، و يسمى مجال انعدام إمكانية اللحام \_ و يقع هذا المجال تحت المنحني .

ونقسم المستقيمات الشاقولية (الخطوط المتقطعة) مجالات الحرارة. فمثلاً عندما تكون درجة حرارة الحديد أقل من  $T_1$  فإنه للحصول على وصلات لحامية ذات نوعية جيدة يجب تسليط قوى ضغط كبيرة جداً ، و هذا لا يمكن تحقيقه عملياً في أغلب الأحيان ، لهذا يسمى هذا المجال إمكان اللحام المحدود (I) . أما لإجراء عملية اللحام في مجالات الحرارة من  $T_1$  إلى  $T_2$  (حيث  $T_2$  درجة انصهار الحديد الصناعي ) ؛ فإنه من الضروري تسليط ضغط خارجي غير مرتفع نسبياً (المجال II) و كلما كانت درجة حرارة الحديد أعلى كان الضغط اللازم لإجراء عملية اللحام أقل، لهذا يمكن تسمية هذا المجال بمجال أنظمة اللحام بالضغط و بالنسبة للحديد الصناعي فقط، ذلك لأن لكل معدن من المعادن الأخرى أنظمة خاصة به و يمكن إيجادها تجريبياً . و نلاحظ من الشكل (1-3) أنه عندما تكون درجة حرارة الحديد أعلى من  $T_2$  فإن المنحني ينطبق على محور السينات \_ و هذا يعني أنه لا يلزم تسليط أي ضغط خارجي لإجراء عملية اللحام ( $F=0$ ).

و يسمى المجال III مجال اللحام بالصهر .



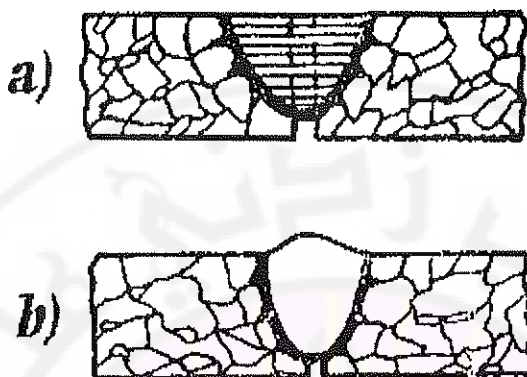
الشكل (1-3) : العلاقة بين العناصر التكنولوجية لعملية اللحام بالضغط

#### 1-4 - فيزياء اللحام بالصهر :

يمكن أن نتصور عملية اللحام على الشكل الآتي :

يتم صهر حواف القطعتين باستخدام مصدر حراري معين (انظر الخطوط المنقطعة على الشكل 1-4.a) ، و عندها يصبح المعدن السائل (انظر المنطقة المهيشرة على الشكل نفسه) واقعا بين حواف المعدن التي لم تنصهر ( أي كما لو أن هذا المعدن المصهور موجود في إناء ) . و تبدأ ذرات المصهور بالاقتراب من ذرات جدران الإناء إلى أقصر مسافة ممكنة و ذلك بسبب الاختلاط و توفر الطاقة اللازمة لارتباط هذه الذرات ، و ينساب المعدن المصهور على السطح النشط للجدران الصلبة مما يوفر تماسه الكامل مع هذه الجدران و ارتباطه معها . فإذا نزعنا المصدر الحراري فإن المصهور يبدأ بالتجمد ، و أول ما تتجمد طبقات المصهور القريبة و المتلامسة مع الجدران مما يؤدي إلى تشكل بلورات مشتركة ناتجة عن ارتباط المعدن المصهور مع المعدن الصلب بالإضافة إلى ارتباط المعدن الذي تجمد لتوه مع الصلب الموجود

أيضاً في درجات حرارة عالية . و نحصل بالتالي على الوصلة اللحامية دون تسليط أي ضغط خارجي .



الشكل (1-4): وصلة لحام بالصهر

## 5-1 - بعض من مزايا فيزياء لحام المعادن :

لأبد في نهاية هذا الفصل من ذكر بعض من مزايا فيزياء لحام المعادن التي من المفيد التعرف إليها قبل البدء بدراسة تكنولوجيا اللحام و طرقه المختلفة ، و هي :

1- تختلف مجالات درجات حرارة اللحام لمعدن عن آخر و لخليطة عن أخرى . فكما لاحظنا أن الحد الأدنى لدرجة حرارة تسخين الحديد الصناعي عند لحامه بالضغط هو :  $T_1 = 700^\circ C$  . هذا بالإضافة إلى أن هناك بعض المعادن مثل : الألمنيوم ، الرصاص ، النحاس .... و غيرها و التي ليس من الضروري تسخينها قبل أو في أثناء تسليط قوى الضغط ، و يكفي هنا إحداث انفعالات لدنة كبيرة نسبياً للحصول على الوصلة اللحامية .

2- لا يستخدم اللحام لوصل المعادن المتجانسة فحسب ، و إنما يمكن لحام المعادن و الخلائط المعدنية التي تختلف فيما بينها بالتركيب \_ أي تختلف نسب

تركيز العناصر المتجانسة الداخلة في تركيب هذه الخلائط أو أن يختلف المبدأ في تركيبها .

3- يمكن أن يحدث أثناء عملية اللحام بالضغط أن تنتشر ذرات بعض العناصر (بما فيها ذرات معدن الأساس) من سطح إلى آخر ، و تسمى هذه الظاهرة الانتشار . و يلعب الانتشار دوراً مهماً في لحام المعادن المتجانسة حيث يوفر الحصول على وصلات ذات خواص جيدة. أما عند لحام المعادن غير المتجانسة فإن انتشار الذرات من معدن في آخر يؤدي للحصول على وصلات رديئة و ذلك بسبب تشكل طبقات وسيطة هي اتحادات كيميائية هشة أو أن تكون على شكل قشور غير مرغوب بها ، لهذا ينصح عادةً بزيادة تسخين القطعتين عند لحام المعادن المتجانسة و ذلك لزيادة دور الانتشار ، بينما لا ينصح بزيادة التسخين عند لحام المعادن المختلفة (غير متجانسة التركيب) و ذلك للإقلال من دور الانتشار .

#### تعريف اللحام :

بتعميم ما ورد آنفاً يمكن أن نعطي اللحام التعريف الآتي :  
اللحام هو عملية تكنولوجية هدفها الحصول على وصلات لحامية غير قابلة للتفكك و ذلك بإيجاد ارتباط بين ذرات سطحي القطعتين المراد وصلهما . و يتم ذلك :

- 1- إما بالصهر الموضعي أو الكامل .
- 2- أو بإحداث انفعالات لدنة .
- 3- و إما بالتسخين (سواء الموضعي أو الكامل) مع إحداث انفعالات لدنة في الوقت نفسه .

## **الفصل الثاني**

### **تصنيف أنواع اللحام**

- 1- تصنيف أنواع اللحام حسب نوع الطاقة المستخدمة .
- 2- تصنيف أنواع اللحام حسب حالة المعدن في منطقة اللحام.





## تصنيف أنواع اللحام

يمكننا أن نصنع سمات مختلفة عند تصنيف أنواع اللحام المعروفة حالياً. ولكن أكثر هذه السمات شيوعاً وأهمية هي: نوع الطاقة المستخدمة عند اللحام، وحالة المعدن في منطقة اللحام أثناء إجراء عملية اللحام.

### 1-2- تصنيف أنواع اللحام حسب نوع الطاقة المستخدمة:

يمكن حسب الطاقة المستخدمة تقسيم كل أنواع اللحام المعروفة في الوقت الحاضر إلى المجموعات الآتية: الميكانيكية، الكيميائية، الكهربائية، الكهروميكانيكية، الكيمياءميكانيكية. وسوف نبين فيما يأتي السمة الأساسية لكل مجموعة من هذه المجموعات.

أ- في طرق اللحام التي تستخدم فيها الطاقة الميكانيكية يجب أن تسبب هذه الطاقة في منطقة اللحام انفعالات لدنة، حيث تكون هذه الانفعالات كافية للحصول على الوصلة اللحامية. ومن أمثلة استخدام الطاقة الميكانيكية في عملية اللحام هناك: اللحام على البارد واللحام الاحتكاكي واللحام بالانفجار.

ب- تتميز طرق اللحام التي تستخدم فيها الطاقة الكيميائية بأن تسخين المعدن في هذه الحالة يتم بتحويل الطاقة الكيميائية إلى حرارية، وتوصل هذه الطاقة المعدن إلى حالة الانصهار، وعندها يمكن إجراء عملية اللحام من دون تسليط أي ضغط خارجي. ومن أمثلة استخدام الطاقة الكيميائية للحام هناك اللحام الغازي بالصهر.

ج- تركز طرق اللحام الكهربائية على مبدأ تحول الطاقة الكهربائية إلى حرارية، ويتم هذا التحول: إما باستخدام القوس الكهربائي أو نتيجة لانتشار حرارة عالية عند مرور تيار كهربائي بالخشب، أو بسبب تحول الطاقة الحركية لحزمة الإلكترونات إلى طاقة حرارية، وإما بتحريض تيار كهربائي ذي ترددات عالية .... إلخ. وتعد الطرق الكهربائية التي توصل المعدن إلى حالة

الانصهار عند لحامه هي أكثر طرق اللحام استخداماً ومردوداً في مجالات الصناعة المختلفة.

د- تعتمد طرق اللحام الكهروميكانيكية على مبدأ تسخين المعدن إلى درجة حرارة اللحام المطلوبة وذلك بتحويل الطاقة الكهربائية إلى حرارية، ثم يتبع هذا التسخين إحداث انفعالات لدنة في المعدن المسخن وذلك بتسليط قوى ضغط خارجية على القطعتين المراد وصلهما. وأكثر أنواع اللحام الكهروميكانيكية شيوعاً واستخداماً في الوقت الحاضر اللحام الكهربائي بالنماس، ولاسيما أن أساليبه المختلفة تستخدم على نحو واسع في الإنتاج الكمي في الصناعات المختلفة.

هـ - تعد طرق اللحام الكيمياءميكانيكية معروفة منذ زمن بعيد، إذ بتحويل الطاقة الكيميائية إلى حرارية يتم تسخين المعدن إلى درجة حرارة اللحام المطلوبة، ويتبع هذا التسخين إحداث انفعالات لدنة في المعدن المسخن وذلك بتسليط قوى ضغط خارجية على القطعتين المراد وصلهما. ومن أمثلة طرق اللحام الكيمياءميكانيكية لحام التطريق واللحام بالغاز والكبس وغيرها.

## 2-2- تصنيف أنواع اللحام حسب حالة المعدن في منطقة

### اللحام:

حسب حالة المعدن في منطقة اللحام أثناء إجراء عملية اللحام فإن كل أنواع اللحام تقسم إلى مجموعتين كبيرتين، هما: مجموعة لحام الضغط مجموعة لحام الصهر.

مجموعة لحام الضغط: تتم عملية الضغط عند درجة حرارة أقل من درجة حرارة انصهار المعدن المراد لحامه، إذ بتسليط ضغوط خارجية يمكن لحام القطعتين وهما في الحالة الصلبة شريطة أن تكون هذه الضغوط كافية لإحداث

الانفعالات اللدنة المطلوبة. وللحام الضغط ميزات محدودة إذا ما قورن بلحام الصهر، ومن ميزاته:

1-تسخين المعدن إلى درجة حرارة أقل من تلك في لحام الصهر، وهذا يعني أن المعدن سوف يخضع لتأثير حراري أقل، إذ إن التأثير الحراري يمكن في أغلب الأحيان أن يسئ إلى خواص المعدن المراد لحامه.

2-إن التسخين إلى درجات حرارة غير مرتفعة نسبياً يوفر في الطاقة الحرارية المصروفة على عملية اللحام.

ولكن هناك بعض العوامل التي تحد من الاستخدام الواسع للحام الضغط. وينسب إلى هذه العوامل:

1) ضرورة استخدام قوى ضغط كبيرة، وبالتالي ضرورة توفير آلات ومعدات كبيرة ومعقدة وذلك من أجل تثبيت ( أي قبض ) القطع المراد لحامها من جهة، وتسهيل قوى الضغط اللازمة لإجراء اللحام من جهة أخرى.

2) ضرورة تنظيف السطوح قبل اللحام - أي إزالة طبقة الأكاسيد والزيوت وأوساخ أخرى. ويبين لنا المثال التالي (وبالأرقام ) الناحية العملية لاستخدام قوى ضغط كبيرة عند لحام الضغط لقطع غير كبيرة نسبياً:

لإجراء لحام الضغط التناكبي لقضيبين من الفولاذ قطر كل منهما ( 100mm ) أي أن مساحة المقطع لكل منهما ( 8000mm<sup>2</sup> ) ، وبفرض أن أقل ضغط يلزم لإجراء عملية اللحام ( 2 kgf/mm<sup>2</sup> ) فإن قوة الضغط الكلية اللازمة هي ( 16000 kgf ) أو ( 16 Tons ). وبما أن القوة اللازمة لقبض القطع ومنعها من الانزلاق عند ضغطها محورياً هي أكبر بمرتين من قوة الضغط المحسوبة - أي إن قوة القبض تساوي ( 32 Tons ) . فإن المعدات اللازمة لقبض القطع وضغطها يجب أن تتحمل جميع هذه القوى دون أن يحدث بها أي انفعالات أو تشوهات، وبالتالي يمكن القول إن آلات اللحام بالضغط المعدة

لوصل هذه المقاطع تكون كبيرة جداً، وغالباً ما تكون هذه الآلات معدة خصيصاً لهذه الأغراض، ويجب أن نعلم أن مساحة المقطع الذي درسناه في المثال السابق هي مساحة غير كبيرة بالنسبة إلى أكثر الإنشاءات اللحامية. ومن الواضح أن الصعوبات سوف تكون أكبر من ذلك كثيراً عند لحام المقاطع الكبيرة.

بقي أن نعلم أن ضرورة توافر سطوح نظيفة لإجراء لحام الضغط تقضي ليس فقط تنظيف هذه السطوح مسبقاً ( أي قبل عملية اللحام )، وإنما يتطلب في بعض الحالات وقاية هذه السطوح من التأكسد عند تسخين القطع. وكل هذا يؤدي إلى وجود صعوبات إضافية عند لحام الضغط لبعض المعادن، ومن هذه الصعوبات مثلاً: ضرورة استخدام مساعدات صهر أو غازات واقية أو أن تجري عملية اللحام في وسط مفرغ تماماً من الهواء (أي وسط مخلخل).

**مجموعة لحام الصهر:** يتم لحام الصهر عادة بإحداث صهر موضعي للقطع المراد لحامها ، و كما عرفنا من الفصل الأول أن إجراء عملية لحام الصهر يتطلب فقط توافر مصدر حراري ذي استطاعة كافية لإحداث الصهر الموضعي . و عندما يكون المصدر الحراري متحركاً فإن عملية الصهر تتم من جزء إلى آخر، لهذا فإن زيادة مقطع القطع المراد لحامها لا يتطلب ضرورة استخدام آلات لحام خاصة و كبيرة. و لكن يجب أن نعلم أن صهر المعدن يرافقه ازدياد ارتباطات بعض ذرات هذا المعدن مع الوسط المحيط مما يؤدي إلى حدوث مجموعة تفاعلات تشابه العمليات التعدينية التي تحدث عند إنتاج المعادن ، و تؤثر هذه التفاعلات في أغلب الحالات سلباً في خواص المعدن في منطقة اللحام ،لهذا تستخدم أحياناً مساعدات الصهر أو الغازات الواقية و ذلك لضبط العمليات التعدينية التي تحدث في منطقة اللحام أثناء لحام الصهر ، و يمكن أن يتم لحام الصهر في بعض الحالات في وسط مخلخل . يبين الجدول

(1-2) تصنيفاً عاماً لطرق اللحام المعروفة حتى يومنا هذا. نلاحظ من هذا الجدول أن هناك بعض الطرق معروفة أو يمكن التعرف إليها في مراجع اللحام وهناك بعض الطرق الحديثة ، و التي مازالت ثقاتتها و مبادئ عملها غير معروفة بسبب عدم توافر المراجع العربية المختصة في هذا المجال لهذا فإن اهتمامنا في هذا الكتاب انصب ليس فقط على طرق اللحام التقليدية و إنما على طرق اللحام الحديثة و الخاصة ، إضافة إلى مواضيع مهمة أخرى.





## **الفصل الثالث**

### **اللحام على البارد و اللحام**

### **الاحتكاكي**

1- تقانة اللحام على البارد.

2- تقانة اللحام الاحتكاكي.





## اللحام على البارد و اللحام الاحتكاكي

### 1-3- تقانة اللحام على البارد:

يعد اللحام على البارد إحدى طرق لحام المعادن ، و هي في طورها الصلب و عند درجة الحرارة العادية. و تتلخص تكنولوجيا اللحام بإحداث انفعالات لدنة في القطع المراد لحامها ، و ذلك بتسليط قوى ضغط عمودية على سطوح هذه القطع . و للحصول على وصلات لحامية ذات نوعية جيدة من الضروري أن يؤدي إحداث الانفعالات اللدنة إلى توافر سيولة كبيرة للمعدن في منطقة اللحام ، حيث تؤدي هذه السيولة إلى :

1-تحطيم و إخراج طبقة الأكاسيد من منطقة اللحام.

2-تسوية البروزات الميكروية السطحية.

3-تشكل مراكز نشطة ناتجة من خروج الانخلاعات و تجمعها على سطوح تماس القطعتين و مقدرة هذه المراكز على التشابك مع بعضها البعض، و يبين الشكل (1-3) مخططات اللحام على البارد لوصلات تراكيبية (a) و تناكيبية (b).

### 2-3 - استخدامات اللحام على البارد :

يستخدم اللحام على البارد للحصول على وصلات لحامية من معادن متجانسة و غير متجانسة . فمثلاً بهذه الطريقة يمكن الحصول على صفائح مؤلفة من طبقتين أو عدة طبقات : أي صفائح رقيقة وضغطت فوق بعضها لتمر هذه الصفائح عبر آلة تنظيف و ذلك لتنظيف سطوح التماس ، ثم عبر آلة درفلة و لتحديث هذه الآلات في الصفائح انفعالات لدنة كافية لإتمام عملية اللحام. و لقد تم بهذه الطريقة الحصول على وصلات لحامية مؤلفة من ثلاث طبقات ( نيكل

إلى خارج منطقة التناكب ، و تنجرف معها جميع الشوائب الدهنية و الأوساخ الأخرى.

يقطع التسخين بالإيقاف المفاجئ للدوران ، لهذا نلتحم في منطقة التماس السطوح النظيفة التي سخن معدنها إلى درجات حرارة عالية .  
للحصول على وصلة متينة فإنه يكفي أن نسلط على المعدن المعد للحم قوة ضغط كبيرة ، و يتحقق ذلك بزيادة مدة تأثير القوة المحورية بعد أن نوقف الدوران .

و تتعلق متانة الوصلة اللحامية الناتجة مباشرة بما يأتي :

1-قيمة الانفعالات اللدنة على سطوح تماس القطعتين.

2-نظام الضغط (الكبس) المستخدم .

### 1-3-3 - العناصر الأساسية لنظام اللحام الاحتكاكي :

إن العناصر الأساسية لنظام اللحام الاحتكاكي هي :

1- تردد الدوران النسبي للقطع أي عدد الدورات في واحدة الزمن للقطعة.

2- مقدار القوة المحورية المؤثرة أثناء الدوران (أي أثناء عملية التسخين

السطحي للقطعتين).

3- مقدار القوة المحورية اللازمة للضغط.

4- زمن تأثير هذه القوة المحورية .

وتتعلق قيم هذه العناصر الأساسية بخواص المعادن و بأبعاد المقاطع

العرضية للوصلات . و تتحدد هذه القيم تجريبياً و تعد على شكل جداول

تكنولوجية تسمى بجداول أنظمة اللحام الاحتكاكي .

و يبين الجدول (1-3) بعض أنظمة اللحام المستخدمة عادةً عند اللحام

الاحتكاكي لقطع من الفولاذ منخفض نسب الكربون أو متوسط هذه النسب .

### 2-3-3 - مجالات استخدام اللحام الاحتكاكي و مزاياه :

يستخدم اللحام الاحتكاكي على نحو واسع في لحام أذرع التوصيل و الأسطوانات و محاور الدوران و في محركات الديزل و في لحام كثير من قطع السيارات و الجرارات و في بعض الصناعات الكهربائية و في صناعة العدد ،

و يبين الشكل (3-3) أكثر وصلات اللحام الاحتكاكي شيوعاً في مجالات الصناعة المختلفة . و هناك للحام الاحتكاكي سرعة كبيرة من المزايا أهمها :

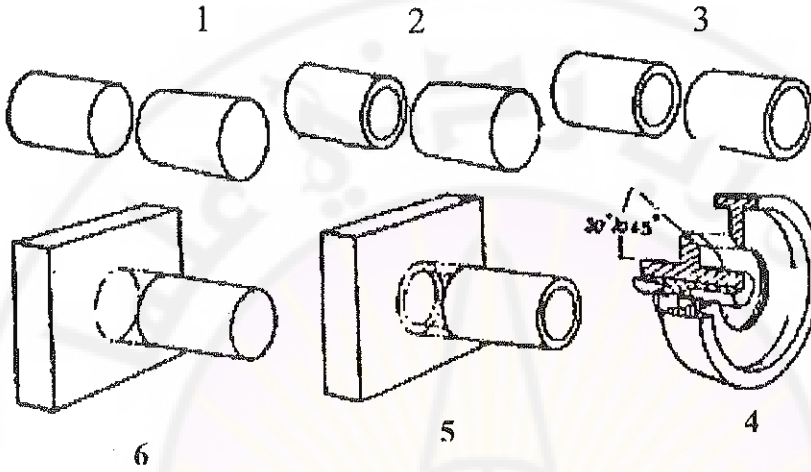
1- الإنتاجية العالية لطريقة اللحام الاحتكاكي ، و تكون الوصلات اللحامية الناتجة ذات جودة عالية جداً.

2- إمكانية الحصول على وصلات لحامية من معادن و خلائط معدنية متجانسة و غير متجانسة.

| عناصر إضافية                                     |                          | العناصر الأساسية لنظام اللحام |               |                      |               | قطر القطع المراد لحامها (mm) |    |
|--------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------|---------------|------------------------------|----|
| زمن الآلة الكلي اللازم لإجراء عملية اللحام (sec) | الاستطاعة المستخدمة (KW) | الزمن (sec)                   |               | القوة المحورية (Kgf) |               | تردد الدوران دورة/دقيقة      |    |
|                                                  |                          | للكبس                         | أثناء الدوران | للكبس                | أثناء الدوران |                              |    |
| 6.5 - 7.5                                        | 4                        | 1.5                           | 5-6           | 3000                 | 1500          | 1000                         | 20 |
| 22                                               | 2.5                      | 2.0                           | 20            | 20000                | 10000         | 400                          | 50 |

الجدول (3-1) أنظمة اللحام الاحتكاكي لقطع من الفولاذ منخفض نسب الكربون أو متوسط هذه النسب .

- 3- صحية \_ إذ لا ينتج من عملية اللحام أي نوع من الغازات أو الإشعاعات التي تلوث الوسط المحيط كما في أساليب اللحام الأخرى .
- 4- عدم الحاجة إلى استخدام مواد لحام أو غازات واقية .
- 5- عدم وجود صعوبة في مكنة طريقة اللحام الاحتكاكي و آليتها.



الشكل (3-3): وصلات اللحام الاحتكاكي الأكثر استعمالاً

- 1-وصلة قضيب مع قضيب
- 2-وصلة قضيب مع انبوب
- 3-وصلة انبوب مع انبوب
- 4-وصلة حلقيّة
- 5-وصلة انبوب مع صفيحة
- 6-وصلة قضيب مع صفيحة

# **الفصل الرابع**

## **لحام التماس الكهربائي**

### **(لحام المقاومة)**

- 1- لحام التماس التناكبي.
- 2- لحام التماس النقطي و التدريزي.
- 3- أنواع وصلات اللحام التدريزي و مجالات استخدامها.



## لحام التماس الكهربائي

يعد لحام التماس الكهربائي أحد أنواع اللحام بالضغط ، إذ تسخن القطع المراد لحامها بتمرير تيار كهربائي عبرها مع إحداث انفعالات لدنة في منطقة تماس القطعتين بتأثير قوى ضغط خارجية على هاتين القطعتين و يضم لحام التماس مجموعة كبيرة من الطرق المختلفة و يمكن تلخيص المزايا الرئيسية لهذه الطرق بما يأتي :

- أ- الجودة العالية للوصلات اللحامية الناتجة .
  - ب- المستوى الرفيع في المكننة و الأتمتة المستخدمة في آلات اللحام .
  - ج- الإنتاجية العالية .
- يلقى لحام التماس حالياً استخداماً واسع النطاق في الصناعات الحديثة ، إذ تشكل الوصلات الناتجة بهذا النوع من اللحام بحدود ٣٠% من مجموع الوصلات اللحامية و في مجالات الصناعة المختلفة و تتنوع السماكات الملحومة بهذه الطريقة ، إذ تتراوح ما بين عدة ميكرونات حتى (30 mm) .

أهم طرائق لحام التماس :

\_ لحام التماس التناكبي.

\_ لحام التماس النقطي.

\_ لحام التماس التدريزي.

### 1-4 - لحام التماس التناكبي :

يتم في هذه الطريقة لحام مساحة التماس بين القطعتين كاملةً و طبقاً لحالة المعدن في منطقة اللحام يمكننا أن نميز شكلين للحام بهذه الطريقة؛ و هما لحام التماس بالمقاومة و لحام التماس بالصهر.

#### 1-1-4- لحام التماس بالمقاومة :

تثبت القطع المراد لحامها 1 في فكوك الآلة 2 و 3 إذ تتصل هذه الفكوك بمنبع التغذية الكهربائي كما يوضح الشكل (4.1-a)، شريطة أن يكون الفك (2) قابلاً للحركة و مرتبطاً مع ناقل قوة الضغط من الآلة. وعند لحام المقاومة تُضغَط القطعتان بقوة كبيرة (f) ثم تُغذَّى الوشيعَة الأولى من محولة اللحام 4 بالتوتر الكهربائي، مما يؤدي إلى مرور تيار كهربائي في الوشيعَة الثانوية .

و بما أن القطع المراد لحامها هي جزء من الوشيعَة الثانوية، فإن التيار الكهربائي يمر فيها مسبباً بالتدريج تسخين المعدن في منطقة التناكب إلى درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الانصهار ( أي حوالي 0.8-0.9 من درجة حرارة انصهار المعدن ) . نرفع بعد ذلك من قيمة قوة الضغط مما يؤدي إلى زيادة الانتقال (S) للفك القابل للحركة و هذا يؤدي إلى احداث انفعالات لدنة في منطقة التناكب فتتشكل الوصلة اللحامية .

عند لحام المقاومة لا يتم عل نحو كافٍ إزالة القشور الأكسيدية ، و من الصعب أيضاً الحصول على تسخين منتظم للقطع بكامل مقطعها، لهذا يكون استخدام لحام المقاومة محدوداً، و يقتصر على لحام القضبان و الأنابيب التي لا يزيد مقطعها على  $(200-250 \text{ mm}^2)$  و مصنوعة من الفولاذ قليل نسب الخلط .

#### 2-1-4 - لحام التماس بالصهر :

يتم تقريب القطعتين من بعضهما ببطء وذلك بتسليط قوى ضغط صغيرة (أنظر الخط المتقطع على الشكل 4.1-a) شريطة أن تكون محولة اللحام موجودة في الوقت نفسه في وضع التشغيل.

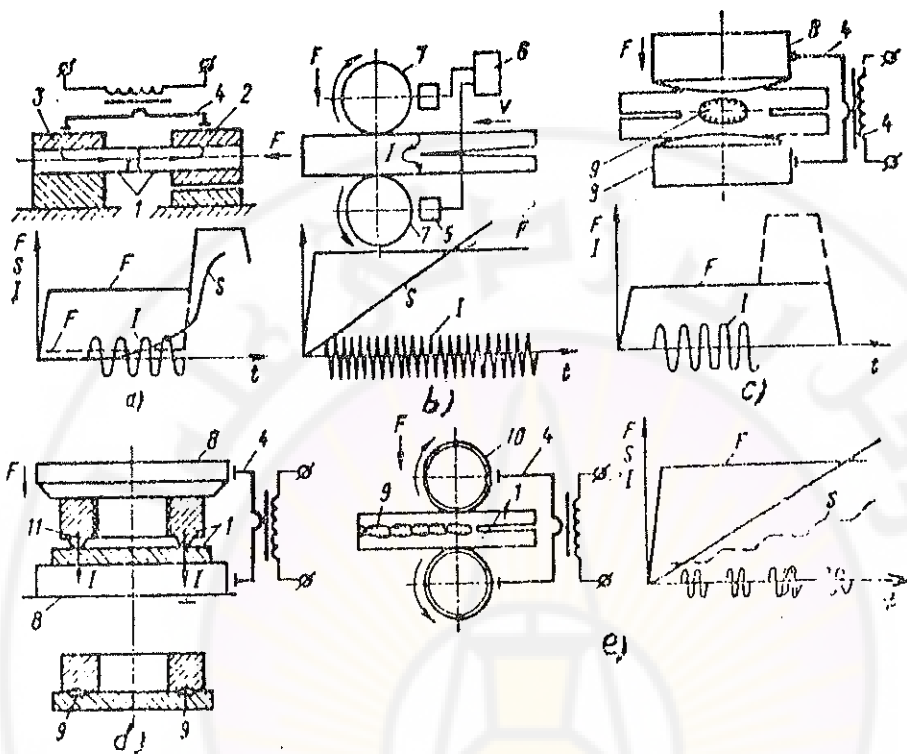
تتصهر حواف القطعتين نتيجة التماس بين هذه الحواف، إذ تتشكل طبقة كاملة من المعدن المنصهر تضغط إلى خارج منطقة التناكب جارفة معها القشور الأكسيدية، وبذلك نحصل على الوصلة اللحامية وللحصول على تسخين منتظم



للقطع المراد لحامها يستخدم التسخين المسبق بتيار كهربائي يغذي هذه القطع بشكل مستمر.

يستخدم لحام التماس بالصهر للحصول على وصلات مختلفة ذات مقاطع صغيرة وكبيرة ( تصل أحياناً مساحة مقطع الوصلة إلى  $100000\text{mm}^2$  ) ويمكن بهذه الطريقة لحام قطع طويلة كالأنابيب والسكك الحديدية والمحاور، ويستخدم أيضاً في الحصول على وصلات معقدة من قطع بسيطة.

وفي آلات اللحام الآلية ذات الإنتاجية العالية المستخدمة للحام الدرزات الطويلة في الأنابيب رقيقة الجدران المصنوعة من معادن مختلفة ( فولاذ أو نحاس أصفر.... إلخ ) يستخدم ما يسمى باللحام ذي الترددات الصوتية، ويتميز هذا النوع من اللحام من غيره بأن التسخين يتم باستخدام تيارات كهربائية ذات تردد عالي يتراوح  $70 - 450 \text{ KHz}$  ويتمركز التسخين في منطقة اللحام بالذات ( أنظر الشكل 4-1.b ). وينتج هذا التسخين عند استخدام المحرض 5 الموصل مع المولد 6. أما ضغط المعدن المنصهر فيتم بواسطة ضغط الأسطوانتين 7.



الشكل ( 4.1 ) : الطرائق الرئيسية في لحام التماس الكهربائي  
 F: قوة الضغط، S: انتقال (حركة) القطع المراد لحامها، I: تيار اللحام.

#### 4-2: لحام التماس النقطي:

يتم اللحام في نقاط تماس معينة وليس على المقطع كاملاً. ولهذا الغرض تجمع القطعتان المراد لحامها بالشكل التراكمي ( كما هو موضح في الشكل 4- ) (1.c)، ثم تضغط هاتان القطعتان بالإلكترودات (8) التي تقوم في الوقت نفسه بنقل التيار الكهربائي إلى القطع من محولة اللحام ٤، فعند تشغيل محولة اللحام فإن القطع تسخن بتيار كهربائي ذي نبضات قصيرة، حيث يراوح زمن النبضة الواحدة (0.01÷0.5 sec)، ويستمر تسخين القطع حتى ظهور المنطقة المرنة،

تسمى عادة بنواة النقطة اللحامية ويشكل قطر النواة وعمق صهرها أبعاد هذه النواة، إذ يتم اختيار قطر النواة طبقاً لسماكة القطع المراد لحامها. بينما يشكل عمق الصهر عند لحام قطع لها السماكة نفسها نحو  $(30 \div 80 \%)$  من سماكة القطعة، ويحصر المعدن المنصهر في النواة، ويتم وقايته من التفاعل مع الوسط المحيط بوساطة الحزام الكثيف المتشكل نتيجة الانفعالات اللدنة الكثيفة في المعدن المجاور للنواة.

يحافظ على قوة الضغط المؤثرة على القطع مدةً زمنيةً معينةً بعد قطع التيار الكهربائي وذلك حتى يتم تبلور المعدن بتأثير القوى الضاغطة، إذ يمكن بهذا الشكل الحد من تشكل العيوب ذات الطابع التبلوري (مثل الشقوق والمسامات وغيرها). وعند لحام قطع ذات سماكات كبيرة تزيد عن  $(1.5 \div 2 \text{ mm})$  ومصنوعة من معادن منخفضة اللدونة (مثل سبائك الألمنيوم عالية نسب الخلط أو الفولاذ وغيرها)؛ فإن قوة الضغط ترفع بمقدار  $(1.5 \div 2)$  مرة من قيمتها (بعد قطع التيار الكهربائي مباشرةً وذلك من أجل الحصول على قوة كبس إضافية للنواة).

يُعدُّ لحام البروز أحد طرق لحام النقطة وذلك عندما تكون مساحة التماس للقطعتين محددة ببروزات، ويأخذ مقطع هذه البروزات أشكالاً مختلفة (منها نصف الدائري وشبه المنحرف وغيرها). ويتم تشكيل البروزات على القطع المراد لحامها ميكانيكياً وقبل إجراء عملية اللحام.

أن وجود البروز 11 أثناء المرحلة الأولى من مراحل عملية اللحام (كما موضح على الشكل (4-1.d)) يسمح بتسخين مركز في مكان التماس من أجل كثافات تيار كهربائي عالية. وتتشوه فيما بعد هذه البروزات، وفي مرحلة معينة من مراحل عملية اللحام ينصهر معدن البروز وتتشكل نواة النقطة اللحامية، يتم عادةً صنع عدة بروزات على سطح القطعتين المراد لحامهما، وأحياناً يصنع

بروز مستمر على شكل حلقة، لهذا ينتج لحام القطعتين في عدة نقاط أو يكون على شكل درزة لحامية حلقية مستمرة.

يستخدم اللحام النقطي في وصل قطع مختلفة، ويشغل اللحام النقطي ولحام البروز حجماً كبيراً في الصناعات الإلكترونية، وذلك عند جميع عناصر الدارات الإلكترونية، وتعد إنتاجية اللحام النقطي عالية جداً ويمكن أن تصل إلى 200 نقطة لحام في الدقيقة الواحدة.

### 3-4: لحام التماس التدريزي:

تتشكل بهذه الطريقة الوصلة للحامية المستمرة ( الدرزة للحامية ) نتيجة لوضع نسق متتابع من نقاط اللحام، إذ تغطي كل واحدة منها جزءاً من سابقتها، وتستخدم الإلكترونيات القرصية الدورانية (10) لإيصال التيار الكهربائي إلى القطع المراد لحامها ولتحريك هذه القطع، بالإضافة إلى إيصال القوة الضاغطة إلى هذه القطع أيضاً. ويتم جمع القطعتين المراد لحامهما تراكيباً كما في حالة اللحام النقطي، وتُسخن هذه القطع بتيار كهربائي من دون استخدام أي وسائط خاصة لوقاية المعدن من التفاعل مع الوسط المحيط. وطبقاً لوضع الإلكترونيات في أثناء مرور التيار الكهربائي فيها يمكننا تمييز نوعين من اللحام التدريزي وهما: اللحام التدريزي المستمر، واللحام التدريزي المتقطع، ففي النوع الأول يمر التيار الكهربائي عندما تكون الإلكترونيات في حالة حركة دورانية، وأما في النوع الثاني فيمر التيار الكهربائي عندما تكون الإلكترونيات ثابتة أي بدون حركة ( أنظر الخط المتقطع على الشكل 4.1,e ).

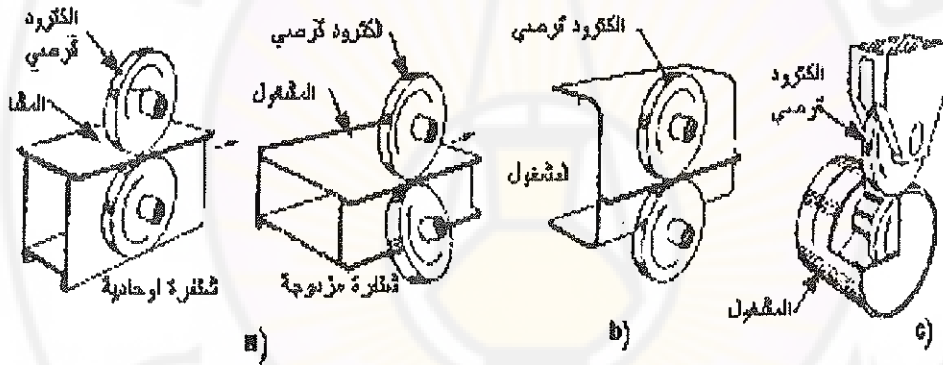
### 1-3-4 - أنواع وصلات اللحام التدريزي و مجالات استخدامها:

يتضمن اللحام التدريزي أنواعاً مختلفة لوصلات اللحام هي : التراكيبية و التناكبية و الرقعية و وصلات لحام التدريز بالهرس ، إلا أن الوصلات الأساسية منها التراكيبية و التناكبية:

#### أ- لحام التدريز التراكيبي :

وهو أكثر التطبيقات العملية استعمالاً ، و فيه تركيب الصفائح فوق بعضها إذ لا تسمح بانبثاق المعدن المصهور من بينها . ومن تطبيقات اللحام التدريزي التراكيبي ختم العلب المعدنية غير القابلة للفساد كخزانات الماء و الوقود الصغيرة و كائنات الصوت و الغاز .

و يستخدم اللحام التدريزي التراكيبي في لحام الوصلات ذات الشفة البسيطة أي الوصلات التي لها طرف مستقيم و آخر ذو شفة كما هو مبين في الشكل (4.2-a) . هذا ويمكن أن يكون الجزءان الموصلان مشفهين من الخارج أي لهما شفة خارجية .

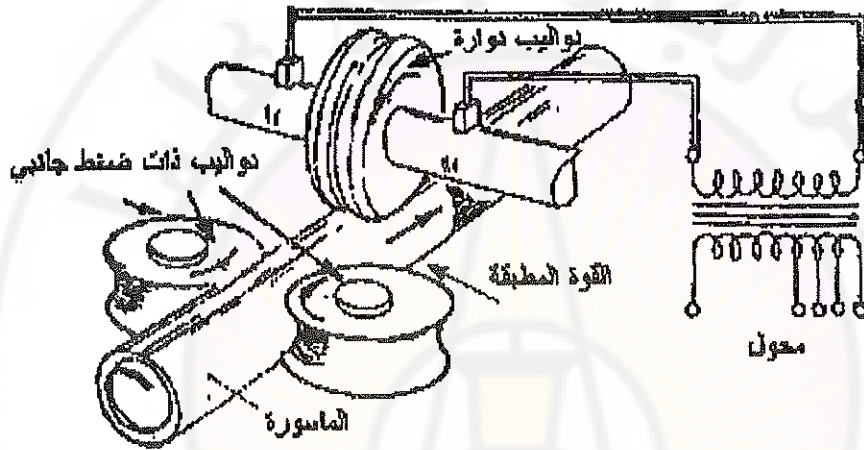


الشكل (4-2) : بعض من أشكال لحام التدريز التراكيبي

#### ب- لحام التدريز التناكبي :

يتم اللحام التدريزي التناكبي بواسطة عملية تكنولوجية خاصة تقوم فيها بإحداث تناكب لطرفي القطعتين المستقلتين و المسخنيتين و ذلك بتقريبهما من بعضهما مع تطبيق ضغط خفيف عليهما . و يزداد الضغط تدريجياً في أثناء عملية اللحام .

يستخدم لحام التدريز التناكبي خاصة لصناعة المواسير و الأنابيب كما هو مبين على الشكل (4.3) و يوضح آلة لحام تدريزي تناكبي مؤلفة من دولابين دوارين يستعملان لتحريك الأنبوب حركة مستقيمة و دولاب آخر يضغط على الأنبوب و يتم لحامه (انظر الشكل 4.3) .



الشكل (3-4): صناعة أنبوب بواسطة لحام التدريز التناكبي

## **الفصل الخامس**

### **طرائق لحام الضغط الحديثة**

- 1- اللحام بالانفجار و تقانته و مجالات استخدامه.
- 2- اللحام بالانتشار و تقانته و مزاياه و مجالات استخدامه.
- 3- اللحام بالاهتزازات فوق صوتية.





## طرائق لحام الضغط الحديثة

إن أكثر طرق لحام الضغط ( مثل اللحام على البارد و اللحام الاحتكاكي و لحام التطريق و اللحام الكهربائي بالتماس و اللحام الكهربائي ) تم التعرف عليها كما وردت في الفصلين الثالث و الرابع ، أما بعض طرق لحام الضغط (مثل اللحام بالانفجار و اللحام بالانتشار و اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية) فهي طرق حديثة نسبياً إذا ما قورنت بطرق اللحام السابقة ، لهذا سوف نقوم في هذا الفصل بالتعرف إلى مفهوم كل طريقة من هذه الطرق الثلاث و تقاناتها و بعض مجالات استخدامها.

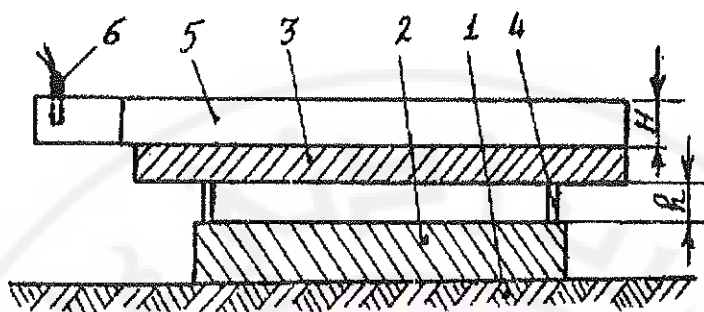
### 5-1 - اللحام بالانفجار:

#### 5-1-1 - مفهوم اللحام بالانفجار و تقانته:

ينسب اللحام بالانفجار إلى مجموعة الطرق الميكانيكية للحام المعادن ، إذ تتحول الطاقة الكيميائية (الناجمة عن تحول شحنة المادة المتفجرة إلى نواتج غازية) إلى طاقة ميكانيكية تمنح إحدى القطعتين المراد لحامهما سرعة تحرك عالية جداً. وتصرف الطاقة الحركية (الناجمة عن تصادم القطع المتحركة مع سطح القطعة الثابتة) على عمل الانفعالات اللدنة المشتركة لطبقات المعدن المتماسة مما يؤدي إلى تشكل الوصلة اللحامية . و يتحول عمل الانفعالات اللدنة إلى حرارة تسخن المعدن إلى درجات حرارة عالية .

يبين الشكل (5-1) مخطط اللحام بالانفجار ، حيث توضع إحدى القطعتين 2 المراد لحامهما فوق القاعدة 1 . و تكون القاعدة أرضية ترابية أو خشبية أو معدنية . و توضع فوق القطعة 2 القطعة الأخرى 3 إذ تكون موازية لها و تشكل معها خلوص  $h$  و تستند القطعة 3 إلى مساند تكنولوجية 4 ، و توضع على سطحها الخارجي شحنة المادة المتفجرة 5 ذات السماكة المعينة  $H$  بينما

تساوي مساحتها مساحة القطعة 3 . ويوضع الفتيل 6 في إحدى نهايتي المادة المتفجرة.



الشكل )

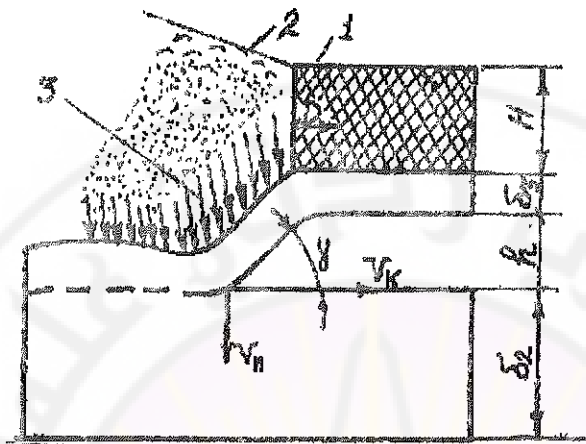
-1

الشكل (1 - 5) : مخطط اللحام الانفجاري

في لحظة انفجار شحنة المادة المتفجرة تنتشر جبهة موجة الانفجار عبر هذه الشحنة بسرعة  $D$  ، و تراوح هذه السرعة للمواد المتفجرة الموجودة حالياً بين  $(2000-8000 \text{ m/sec})$  ، وتتعلم بالتركيب الكيميائي و الحالة الفيزيائية للشحنة.

تحتفظ نواتج الانفجار الغازية المتشكلة خلف هذه الموجة خلال فترة زمنية قصيرة و طبقاً لمبدأ العطالة ؛ تحتفظ هذه النواتج بالحجم السابق نفسه للمادة المتفجرة ، وتوجد الغازات في هذا الحجم بضغط يصل إلى  $(200 \div 100)$  ألف ضغط جوي ، و تنتشر بعد ذلك هذه الغازات عمودياً على السطوح الحرة للشحنة و بسرعة تساوي :  $(0,5 \div 0,75D)$  وتمنح المعدن الذي تحت هذه الشحنة نبضة . إذ تكسب هذه النبضة القطعة المعدنية العلوية تسارعات باتجاه القطعة الثابتة و لتصطدم بها بسرعة عالية جداً ويتحرك الجزء المائل من هذه القطعة بسرعة  $(V_k = D)$  وراء جبهة موجة الانفجار ، أما الجزء الذي أمام

هذه الجبهة فإنه يحافظ على وضعه الأولي بالإضافة لجزء الشحنة الذي لم يتفجر بعد (انظر الشكل 2-5) .



الشكل (2-5): مخطط عملية اللحام بالانفجار بعد استقرارها

- 1- جبهة موجة الانفجار -2- جبهة تطاير نواتج انفجار المادة المتفجرة
- 3- جبهة موجة تفريغ الانفجار

D سرعة انفجار المادة المتفجرة ،  $V_n$  المركبة العمودية لسرعة ارتطام  
السطوح المتماسية ،  $V_k$  سرعة تحرك رأس الزاوية الديناميكية  $\gamma$  باتجاه اللحام ( $V_k=D$ )

إن الاصطدام عالي التمدد بين الجزء المقذوف و الجزء الثابت يرفع من قيمة الضغط بالقرب من رأس الزاوية ( $\gamma$ ) . ويؤدي هذا إلى وجود قوى ضغط موزعة دون انتظام، و تتوافر الشروط الملائمة لحدوث سيولة المعدن اللدن باتجاه عملية اللحام و ذلك بسبب وجود سطح حر أمام رأس الزاوية ( $\gamma$ ) وظهور مركبة جانبية للسرعة مما يجبر معدن الطبقات السطحية لكلا الجزئين المصطدمين أن يتشوه بهذا الاتجاه وبسرعة انفعال ( $V_k$ ) . ويؤدي هذا كله إلى تقريب السطوح من بعضها إلى أقصى حد ممكن، لهذا تتحطم الأكاسيد

و الأوساخ السطحية الأخرى وتتجمع في منطقة معينة حيث تجرف خارج رأس الزاوية (٧).

## 2-1-5 - مجالات استخدام اللحام بالانفجار:

تتعلق مجالات الاستخدام بمقدرة طريقة اللحام هذه على تكوين وصلات لحامية متينة وهي في حالتها الصلبة ، كما تتعلق بسرعة إجراء العملية اللحامية وعلى سطوح كبيرة جداً. فمثلاً يمكن إجراء وصلات لحامية تصل مساحة سطوحها إلى  $(15 \div 20 m^2)$ .

تسمح مزايا اللحام بالانفجار التي ذكرناها آنفاً باستخدام هذه الطريقة في إنتاج وصلات لحامية متينة من معادن وفولاذ و خلائط معدنية أخرى ، و يمكن أن تكون هذه الوصلات متجانسة أو غير متجانسة ، بالإضافة إلى أنه يمكن أن تكون هذه الوصلات على شكل تصافيح مؤلفة من طبقتين أو طبقات عدة.

## 2-5 - اللحام بالانتشار:

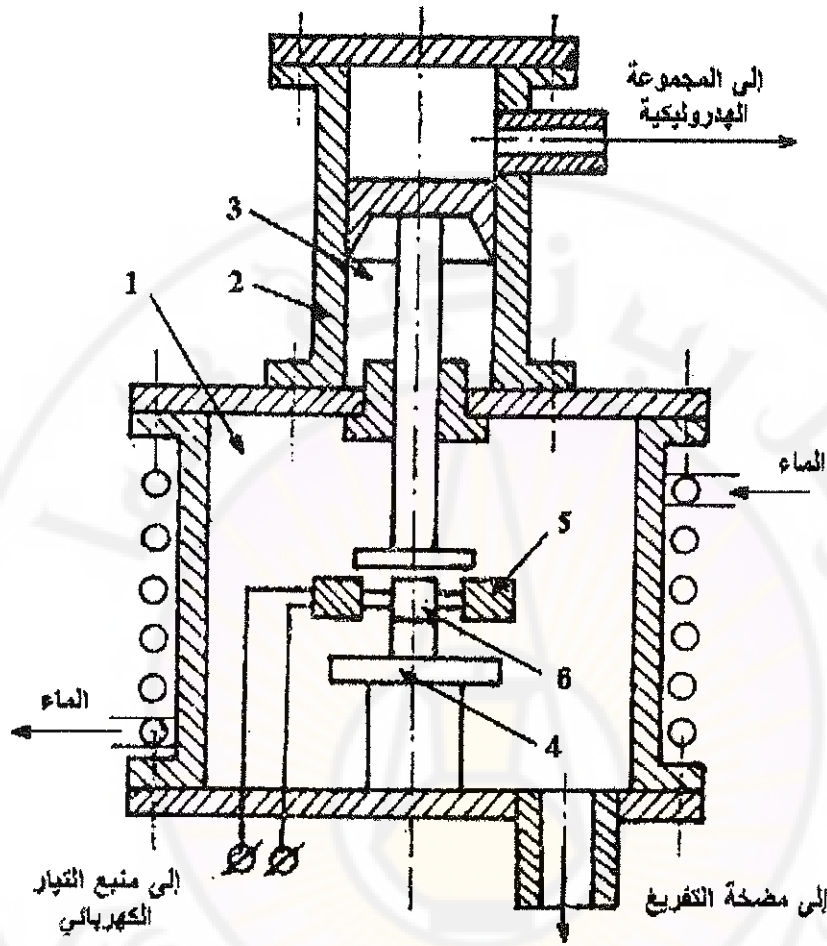
### 1-2-5 - مفهوم اللحام بالانتشار و تقائته:

تعدُّ طريقة اللحام بالانتشار من طرق اللحام التي تلقى تطوراً سريعاً في الوقت الحاضر لما لها من أهمية في مجالات الصناعة المختلفة، فلقد تم بفضل هذه الطريقة حلّ عددٍ كبير من مشكلات التقانة الحديثة، إذ أمكن الحصول على وصلات لحامية ذات تقانة عالية ومختلفة في أشكالها و مجالات استخدامها و يعد اللحام بالانتشار عملية تكنولوجية ذات اقتصادية عالية حيث لا تتطلب عملية اللحام هذه مواد لحام خاصة غالية الثمن، ولا يلزم في أغلب الأحيان إجراء أي معالجة ميكانيكية على الوصلات اللحامية، وليس هناك أي ضياع في معدن الوصلات أثناء اللحام . وتوفر طريقة اللحام بالانتشار الحصول على وصلات لحامية ذات جودة عالية.

تعد طريقة اللحام بالانتشار إحدى طرق لحام الضغط ، وتتم عملية اللحام نتيجة لوجود انتشار متبادل بين ذرات السطوح المتلامسة، وعند درجة حرارة مرتفعة ومؤثرة لمدة زمنية طويلة نسبياً، بالإضافة إلى توافر انفعالات لدنة غير كبيرة.

تتم عملية اللحام بالانتشار عادةً في آلات لحام خاصة (انظر الشكل 3-5) إذ توضع القطعتان المراد لحامهما في حجرة مغلقة تماماً و يُحافظ على التخلخل في الحجرة عند تسخين القطع وذلك لحماية سطوح هذه القطع من الأكسدة و النتrede. ويتم التسخين بوساطة مولد ذي ترددات عالية، أما تسليط الضغط اللازم فيتم بوساطة مجموعة هيدروليكية ، وتنبرد الوصلات اللحامية إلى درجة حرارة الغرفة في الحجرة المغلقة نفسها. يتعلق تشكل الوصلة اللحامية بدرجة حرارة القطع ومقدار الضغط المسلط عليها وبزمن تأثير كل من درجة الحرارة و الضغط.

تشكل درجة الحرارة اللازمة للحام المعادن و الخلائط المتجانسة نحو  $(0,5 \div 0,7)$  من درجة حرارة انصهار المعدن أو الخليطة، بينما تشكل درجة الحرارة هذه نحو  $(0,5 \div 0,7)$  من درجة حرارة انصهار المعدن ذي درجة حرارة الانصهار الأقل وذلك في حالة لحام المعادن غير المتجانسة. وتعد درجة الحرارة هذه درجة الحرارة الضرورية لتسارع الانتشار المتبادل للذرات المعدنية عبر سطوح التناكب، كما تؤدي درجة الحرارة هذه إلى تطرية المعدن مما يسهل حدوث الانفعالات اللدنة و بالتالي تسوية التعرجات على السطوح.



الشكل (3-5): مخطط آلة اللحام بالانتشار في وسط مخلخل.

1- الحجرة المخلخلة - 2- اسطوانة لتوصيل الضغط الهيدروليكي

3 - مكبس - 4- طاولة لتثبيت القطع المراد لحامها - 5- محرض

6 - القطع المراد لحامها .

يستخدم الضغط لغرض واحد فقط ، ألا وهو توفير التماس التام لسطوح

التناكب. ويجب أن يكون الضغط كافياً لدرجة أنه نتيجة لانفعالات سطوح

التماس تُملاً كل الفراغات في منطقة التناكب ، فإذا كان الضغط غير كافٍ فإن الفراغات تحتفظ بوجودها في أثناء عملية اللحام وبعدها مما يقلل إلى حد كبير من متانة الوصلة اللحامية ، والضغط اللازم لإتمام عملية اللحام يراوح من  $(0.3 \div 10 \text{ kg/mm}^2)$  ويتعلق بخواص المعدن ودرجة حرارة اللحام وتوجه قوى الضغط لعملية اللحام عندما تصل درجة حرارة التسخين من  $(800^\circ\text{C} \div 100)$  بالنسبة لأنواع الفولاذ . وعند تبريد القطع الملحومة تحرر هذه القطع من قوى الضغط عند وصول درجة حرارتها بحدود  $(100 \div 400^\circ\text{C})$  .

يجب ألا يزيد الضغط في الوسط المخلخل على  $10^{-2}$  مم زئبقي وذلك لإنجاح عملية اللحام بالانتشار ، ويمكن أن تتم عملية اللحام هذه في وسط من الغازات الخاملة ويُستخدم أحياناً الهيدروجين و لإجراء عملية اللحام من الضروري توافر تماس جيد ، لهذا فإن سطوح القطع يجب أن تكون ملساء وأن تلتصق إحداها بالأخرى تماماً.

عند لحام المعادن التي تنتشوه بسهولة مثل الألمنيوم والنحاس والمغنيزيوم والقصدير والذهب ، فإنه ليس من الضروري إجراء تحضير مسبق لسطوح التماس قبل البدء بعملية اللحام بينما يلزم معالجة مسبقة خاصة للسطوح في حالة لحام المواد القاسية (كالخلائط الصلدة والمعادن صعبة الانصهار و الخلائط التي تحافظ على متانتها عند درجات الحرارة المرتفعة وفولاذ العدد والمواد غير المعدنية).

## 2-2-5- مزايا اللحام بالانتشار:

هناك عدد من المحاسن الهامة للحام بالانتشار بالمقارنة مع طرق اللحام الأخرى، نذكر منها:

1- الجودة العالية للوصلات اللحامية، إذ تحافظ الوصلة اللحامية على خواص المعدن الأساس نفسها.



2- بما أن عملية اللحام بالانتشار تتم عند درجة حرارة تساوي  $(0.7 \div 0.5)$  من درجة حرارة انصهار المعدن المراد لحامه وفي زمن قليل (من 1 إلى 5 دقائق)؛ فإن الطاقة الكهربائية المستهلكة لعملية اللحام أقل بـ  $(4 \div 6)$  مرات منها في عملية لحام التماس الكهربائي.

3- تعد عملية اللحام بالانتشار صحية ، بسبب عدم وجود الإشعاعات فوق البنفسجية وانعدام إفرازات الغازات الضارة والغبار، أو تناثر قطرات ساخنة ، إذ يعد كل هذا ضرورياً للحفاظ على صحة عمال اللحام .

4- يمكن بسهولة برمجة العناصر الأساسية لنظام اللحام بالانتشار وهي: درجة الحرارة \_ الضغط \_ التخلخل \_ زمن عملية اللحام .

إن آلات اللحام بالانتشار هي بصيغة عامة إما نصف آلية (أي أن استخدام العمل اليدوي فيها يكون أقل ما يمكن) أو آلية إذ تجري عمليات اللحام دون أن يشارك العامل بأي جهد فعلي.

تم في الوقت الحاضر إنتاج آلات لحام متعددة الحجرات، إذ يحافظ على التخلخل فيها باستمرار، و زوّد هذه الحجرات بالقطع المراد لحامها آلياً . وقد صُممت أيضاً آلات لحام مبرمجة، وأخرى تتركب حجراتها مباشرة على القطع المراد لحامها.

### 3-2-5 - مجالات استخدام اللحام بالانتشار:

تستخدم طريقة اللحام بالانتشار في لحام الوصلات الصعبة والدقيقة في بعض الأجهزة الحديثة وفي صناعة فوهات اللحام المعدة من معدن التنغستين وفي صناعة الصمامات الكيميائية والغازية. ويستخدم اللحام بالانتشار على نحو واسع في الصناعات الإلكترونية وذلك للحام بعض القطع والعقد في الأجهزة الإلكترونية.



ولقد ضمنت طريقة اللحام بالانتشار الحصول على وصلات لحامية مقاومة للاهتزازات ودرجات الحرارة المرتفعة نسبياً مع الحفاظ على الدقة العالية في أبعاد وشكل القطع الملحومة. ويمكن بهذه الطريقة لحام سماكات رقيقة جداً (من 3 إلى 8 ميكرونات) من معدن النيكل أو الألمنيوم مع سماكات كبيرة. وباختصار تراوح السماكات التي يمكن لحامها بهذه الطريقة من ميكرونات عدة إلى سنتيمترات عدة.

### 3-5- اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية:

#### 1-3-5- تعدد مجالات استخدام الاهتزازات فوق الصوتية:

تستخدم الاهتزازات فوق الصوتية عملياً للبحث في بعض الظواهر الفيزيائية وفي دراسة خواص المواد ، وصناعياً لتنظيف قطع التشغيل ولمعالجة بعض المواد صعبة المعالجة . ولقد اكتُشف مؤخراً تأثير هذه الاهتزازات إيجابياً في عملية تبلور بعض الخلطات المعدنية، إذ تؤدي هذه الاهتزازات إلى تصغير حجم الحبيبات ، وبالتالي تحسين الخواص الميكانيكية للسبائك المعدنية. حصل الباحثون على نتائج إيجابية فيما يتعلق بإزالة الإجهادات المتبقية في الوصلات بعد عملية اللحام ، وذلك باستخدام الاهتزازات فوق الصوتية، ويمكن استخدام هذه الاهتزازات على نحو واسع لتسريع التفاعلات الكيميائية البطيئة. وهناك حالياً أجهزة مختلفة تعمل بمبدأ الاهتزازات فوق الصوتية، وتستخدم لقياس مستوى السائل وسرعة جريانه... الخ . وتستخدم الاهتزازات فوق الصوتية بنجاح كبير لاختبار جودة السبائك المعدنية والوصلات اللحامية وخلوها من العيوب المختلفة.

تستخدم الاهتزازات فوق الصوتية في تقانة اللحام لأغراض مختلفة. فبتأثير هذه الاهتزازات في حوض اللحام أثناء تبلوره يمكن تحسين الخواص الميكانيكية

للوصلة اللحامية ، وذلك عن طريق تصغير حجم حبيبات معدن الدرزة اللحامية و انطلاق الغازات من هذه الدرزة على نحو أفضل . ويمكن أن تكون الاهتزازات فوق الصوتية مصدراً للطاقة وذلك لإجراء وصلات لحامية نقطية أو على شكل درزات ، وتستطيع الاهتزازات فوق الصوتية أن تكسر القشور الطبيعية والمصطنعة مما يسمح باستخدام هذه الاهتزازات في لحام المعادن التي يغطي سطحها أكاسيد أو طبقة دهان ... الخ ، ويمكن بهذه الاهتزازات إزالة الإجهادات الذاتية الناتجة عن عملية اللحام، إذ يمكن بواسطة هذه الاهتزازات تنظيم توزيع مكونات معدن الوصلة اللحامية، وإبعاد إمكان التشوه الذاتي للإنشاءات اللحامية مع الزمن.

وتلقى طريقة اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية استخداماً واسع النطاق في الوقت الحاضر، فهي تفضل عن طريقة لحام النقطة واللحام على البارد بمجموعة من المزايا، وتلقى هذه الطريقة تطوراً سريعاً في مجال الصناعات الإلكترونية وتطوراً أسرع كثيراً في مجال الصناعات البلاستيكية، ويمكن بهذه الطريقة الحصول على وصلات بلاستيكية ذات جودة عالية مع العلم أن عملية لحام المواد البلاستيكية بطرق لحام أخرى تكون صعبة وأحياناً كثيرة غير ممكنة.

إن الوصلة الناتجة من اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية هي حصيلة تأثير مشترك لاهتزازات ميكانيكية ذات تردد عال وقوى ضغط غير كبيرة نسبياً.

### 2-3-5 - مفهوم الاهتزازات فوق الصوتية:

إن الاهتزازات التي تحدث في وسط ما وتظهرها الانفعالات المرنة لهذا الوسط تُسمى الاهتزازات المرنة. ويمكن أن يكون للاهتزازات المرنة أشكال مختلفة ، ولكن أكثر هذه الأشكال شيوعاً هو الشكل الدوري (أي الاهتزازات التي يمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية):

$$A = A_m \sin(wt + \varphi) \quad (5,1)$$

حيث A - مقدار الإزاحة أو الانفعال في عنصر ما من الوسط وفي لحظة زمنية معينة (t).

$A_m$  - القيمة العظمى للإزاحة أو الانفعال.

$w$  - التردد الدائري.

$\varphi$  - زاوية الإزاحة البدائية.

$t$  - الزمن.

إن الاهتزازات المرنة التي يزيد ترددها على حد معين تسمى الاهتزازات فوق الصوتية. ومن المعروف أن سمع الإنسان العادي لا يستقبل الأصوات التي يكون تردد اهتزازاتها المرنة المتناسقة يزيد على (17000-20000Hz).

ويراوح تردد الاهتزازات التي تستعمل في الحياة العملية بين (8000Hz) وحتى الملايين Hz. وأما في حالة اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية فإن مجال تردد هذه الاهتزازات هو (18÷80 KHz).

تتعلق سرعة انتشار الاهتزازات فوق الصوتية بالخواص الفيزيائية للمادة. فعلى سبيل المثال تتعين سرعة انتشار الأمواج الطولية في قضيب بالعلاقة الآتية:

$$c = \sqrt{E / \rho} \quad [m/sec] \quad (5,2)$$

حيث: E - عامل المرونة للمادة (عامل يونغ).

$\rho$  - كثافة المادة.

تراوح سرعة انتشار الأمواج الصوتية في أغلب الأجسام الصلبة في حدود (2000÷6000m/sec) وتتغير بتغير درجة الحرارة والضغط وكثافة الصوت ويحدد طول الموجة الموافق لتردد ما بالعلاقة الآتية:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (5,3)$$

حيث  $c$  - سرعة الصوت.

$f$  - التردد.

فعندما يكون التردد في حدود (20KHz) فإن طول الموجة في الفولاذ يساوي (28cm).

تُحدد كثافة الموجة الصوتية الطولية المستوية وفي وسطٍ ما بالعلاقة الآتية:

$$J = KA^2 f^2 \rho c \quad (5,4)$$

حيث:  $A$  - سعة الاهتزازات.

$f$  - تردد الاهتزازات.

$\rho$  - كثافة الوسط.

$K$  - عامل التناسب.

$C$  - سرعة الصوت.

ويعين تيار طاقة الموجة المخترقة لسطح ما بالعلاقة الآتية:

$$\phi = \int_s J ds \cos \beta \quad (5,5)$$

حيث:  $\beta$  - الزاوية المحصورة بين الناظم على السطح  $ds$  واتجاه انتشار الموجة.

إن طاقة الاهتزازات فوق الصوتية والتي يمكن أن تُعطي من خلال وسط تتعلق بالخواص الفيزيائية لهذا الوسط. فإذا زادت الإجهادات في مناطق الضغط والتشقق على حد المتانة للجسم الصلب فإن هذا الجسم الصلب يتشقق (يتصدع) ، وإذا كانت دون هذا الحد فإنها تستخدم في عملية اللحام.

5-4 - آلات وتقانة اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية:

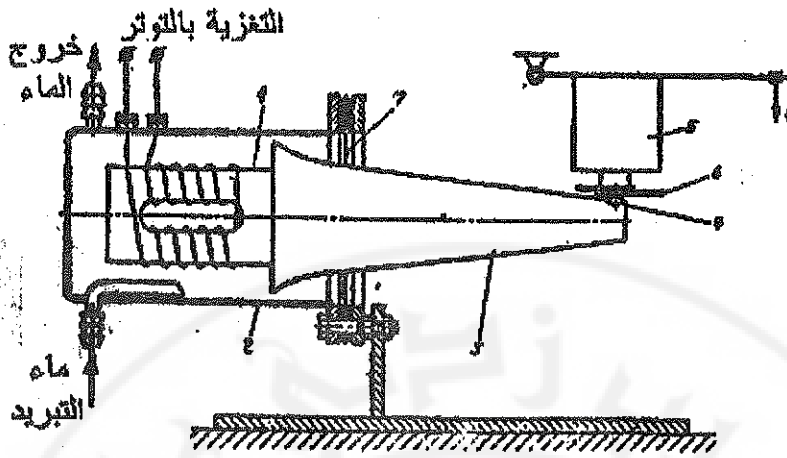
تتألف آلة اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية من العناصر الآتية:  
منبع تغذية بالتيار الكهربائي، جهاز تحكم، نظام اهتزاز ميكانيكي، موصل للضغط.

ويقوم نظام الاهتزاز الميكانيكي بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية وتوصيل هذه الطاقة إلى منطقة اللحام وتركيز هذه الطاقة وبالتالي الحصول على القيمة اللازمة لسرعة اهتزازات المشع.

ويتألف نظام الاهتزاز (شكل 4-5) من مبدل كهروميكانيكي (1) لُفَّت عليه وشائع ووضع ضمن هيكل معدني (2) يتم تبريده بالماء، ومن محول الاهتزازات المرنة (3)، ورأس لحام (4)، ومن دعائم مجهزة بألة ضغط (5)، ومن قطع الوصلة اللحامية (6). ويتم تثبيت نظام الاهتزاز بواسطة زلقة (7) ... أي يتم زلق النظام عليها إلى الأعلى والأسفل. وتشتع آلة اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية في لحظة لحام النقطة من الوصلة فقط.

ويبين الشكل (5-5) رسماً تخطيطياً لآلة لحام الدرزة بالاهتزازات فوق الصوتية والتي يمكن أن تستعمل للحصول على درزات متشابهة على الوصلة. يستعمل تنوير نظام الاهتزازات في هذه الآلة بواسطة موصل خاص. وعند اللحام تضبط الوصلة بين نهاية محوّل دوراني للاهتزازات المرنة والمجهز على شكل بكرة علوية وبين بكرة سفلية مثبتة.

وتشتع الاهتزازات فوق الصوتية بشكل مستمر في أثناء عملية اللحام. ويعد المبدل الكهروميكانيكي عنصر نظام الاهتزاز الذي يحرّض الاهتزازات المرنة مغناطيسياً. ويتم ذلك على النحو الآتي: يُولد التوتر المتناوب في وشيعة المبدل تياراً مغناطيسياً، ويحرّض هذا التيار في جسم المبدل حقلاً مغناطيسياً. فعند تغير قيمة توتر الحقل المغناطيسي في الجسم تتغير أبعاد هذا الجسم دورياً، لذا فإن تردد الاهتزازات المرنة يصبح مساوياً لضعف تردد التيار.

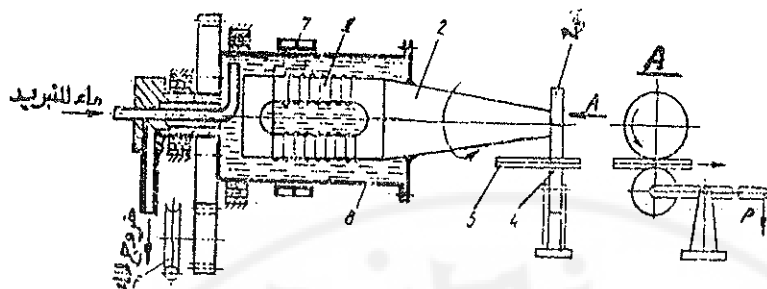


الشكل (4-5): رسم تخطيطي لآلة لحام النقطة بالاهتزازات فوق الصوتية  
تتم عملية اللحام بالاهتزازات فوق الصوتية عادةً تحت تأثير مشترك لثلاث  
عوامل هي:

- 1- الاهتزازات ذات التردد العالي.
- 2- الضغط، ويكون اتجاهه عمودياً على سطح الوصلة.
- 3- التأثير الحراري الذي يرافق عملية اللحام.

لقد أثبتت التجارب أن الزمن تأثير الاهتزازات فوق الصوتية أثراً كبيراً في  
إجراء عملية اللحام، فإذا كان هذا الزمن أقل من قيمة معينة؛ فإن عملية اللحام  
لن تتم. ولقد ثبت تجريبياً أن هذا الزمن يجب ألا يقل عن (0.4sec).

إن متانة الوصلة اللحامية الناتجة من عملية اللحام بالاهتزازات فوق  
الصوتية لا تقل قيمةً عن متانة معدن الأساس للوصلة، ولا تتغير متانة الوصلة  
اللحامية بازدياد زمن تأثير الاهتزازات فوق الصوتية.



الشكل (5-5): رسم تخطيطي لآلة لحام تدريزي بالاهتزازات فوق الصوتية

1- مبدل كهرو ميكانيكي . 2- محول الاهتزازات المرنة. 3- البكرة اللاصقة. 4- البكرة المثبتة. 5- الوصلة اللحامية. 6- آلة الوصل. 7- مأخذ للتيار الكهربائي من مولد للاهتزازات فوق الصوتية. 8- الغطاء المعدني للمبدل. يبين الجدول الآتي أنظمة اللحام المستخدمة لبعض السماكات من معادن و خلائط معدنية مختلفة. كما يبين هذا الجدول درجات الحرارة العظمى في منطقة اللحام.

| درجة الحرارة العظمى في منطقة اللحام °C | نظام اللحام   |           | سماكة قطعتي الوصلة mm | مادة الوصلة          |
|----------------------------------------|---------------|-----------|-----------------------|----------------------|
|                                        | قوة الضغط kgf | الزمن sec |                       |                      |
| 200-300                                | -             | 0,5       | 0,5+0,5               | الألمنيوم            |
| 300-350                                | 440           | 1,5       | 1+1                   | النحاس               |
| 100-150                                | 220           | 0,6       | 0,85+0,8<br>5         | التوتياء             |
| 800-900                                | 260           | 0,4       | 0,4+0,4               | الحديد               |
| حتى 730                                | 19,0          | 1,6       | 10,0+0,6<br>5         | الحديد + الكونستنتان |
| حتى 450                                | 40,0          | 1,0       | 0,3+0,65              | النحاس + الكونستنتان |





## اللحام والقص بالغاز

### 1-6- تعريف الغازات المستخدمة:

#### أولاً: الأكسجين:

يكون الأكسجين في شكله النقي، عند درجة الحرارة  $20^{\circ}\text{C}$  وفي الضغط الجوي النظامي (1atm)، عبارة عن غاز شفاف لا رائحة له ولا لون ولا طعم، وهو أثقل من الهواء بقليل وتساوي كتلة حجم 1 م<sup>3</sup> من الأكسجين عند درجة  $20^{\circ}\text{C}$  وعند الضغط الجوي النظامي 1.33 كغ. ويتميع الأكسجين عند الضغط الاعتيادي بدرجة حرارة ( $-182.9^{\circ}\text{C}$ ) ويكون الأكسجين المائع شفافاً بلون مائل للسماوي، وتعادل كتلة ليتر واحد من الأكسجين المائع 1.14 كغ، وعند تبخر لتر واحد من الأكسجين المائع يتشكل 860 ليترًا من الغاز. يتم الحصول على الأكسجين بتحليل الماء بالتيار الكهربائي أو بالتبريد للهواء الجوي. ويُنتج الأكسجين الصناعي بثلاثة أصناف: الأول يحوي على ما لا يقل عن 99,7% من الأكسجين النقي، والثاني يحوي على ما لا يقل عن 99,5%، والثالث يحوي على ما لا يقل عن 99,2% (النسب تؤخذ بالحجم). وما تبقى يتألف من الآزوت و الأرغون وغيره. ولنقاوة الأكسجين أهمية كبيرة، ولا سيما بالنسبة إلى القص بالأكسجين، إذ إن انخفاض نقاوة الأكسجين يسيء إلى جودة تشغيل المعدن ويزيد من استهلاكه. عندما يتلامس الأكسجين المضغوط مع الزيوت والشحوم يؤكسدها بسرعات كبيرة وينجم عن ذلك أنها تشتعل ذاتياً أو تتفجر. لذلك فمن الضروري وقاية الاسطوانات الحاوية على الأكسجين من تلوثها بالزيوت.

#### ثانياً: الغازات المشتعلة :

تنتمي إلى الغازات المشتعلة، الأسيتيلين و البروبان والغاز الطبيعي وغيرها، وتستخدم كذلك أبخرة الكيوسين:

- يُستخدم غالباً الأسيتيلين في عمليات اللحام والقص بالغاز، فهو يعطي أعلى درجة عند اشتعاله في الأكسجين ( $3050 \div 3150^\circ\text{C}$ ). وقد يستبدل الأسيتيلين بالمواد المشتعلة الأخرى مثل البروبان والميثان وأبخرة الكيروسين وغيرها، دون إلحاق الضرر بجودة القص وإنتاجيته. ويمتاز الأسيتيلين الصناعي ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) بأنه عديم اللون، ويتمتع برائحة كريهة وشديدة بسبب ما يحتويه من شوائب، وهو أخف من الهواء بمقدار 1,1 مرة وينحل في السوائل. وأهم الغازات المشتعلة هي:

### 1- الأسيتيلين :

هو غاز خطر من حيث الانفجار، فإذا وجد بضغط :  $0,15 \div 0,2$  ميغا باسكال ينفجر بسبب الحرارة الكهربائية أو النار ، وكذلك عند التسخين السريع أعلى من ( $200^\circ\text{C}$ ) ، وفي درجة الحرارة التي تزيد عن ( $530^\circ\text{C}$ ) يحصل تفكك انفجاري للأسيتيلين . إن خليط الأسيتيلين مع الأكسجين أو الهواء ، بنسب ضئيلة جداً من الأسيتيلين ، قادر على الانفجار في الضغط الجوي و لذا فإنه يجب على عمال اللحام مراعاة القواعد الإلزامية لاستثمار الأجهزة الغازية. ويحصل الاشتعال الذاتي لمزيج الأسيتيلين النقي مع الأكسجين عند خروجه من مشعل اللحام عند درجة حرارة تساوي ( $428^\circ\text{C}$ ).

يتم الحصول على الأسيتيلين في الصناعة بثلاث طرق : بتفكيك كربيد الكالسيوم ( $\text{CaC}_2$ ) بالماء وبالتحليل الحراري للغاز الطبيعي الممزوج مع الأكسجين ، وبتفكيك الهيدروكربونات السائلة (النفط ، الكيروسين) بالقوس الكهربائي ، ويتم الحصول على الأسيتيلين للحام والقص من كربيد الكالسيوم ، ويكون الكربيد الصناعي ملوثاً بشوائب ضارة تنتقل الى الأسيتيلين ، وتقلل من جودة اللحام ، لذا يجب إبعادها من الأسيتيلين بتنظيفه كيميائياً .

## 2-الغازات البديلة للأستيلين:

إن مزيج البروبان و البوتان هو مزيج من البروبان مع 5 ÷ 30% بوتان ، ويتم الحصول على هذا المزيج عند استخراج الغازات الطبيعية وعند تكرير النفط ، وتكون درجة حرارة لهب البروبان مع الأكسجين منخفضة ، وتصل حتى (  $2400^{\circ}\text{C}$  ) ولذلك يستخدم فقط للحام الفولاذ بسماكة لا تزيد على 3 مم ) ولتسخين الأجزاء قبل تجليدها ، وللتطهير الناري للسطوح المعدنية ، وكذلك للحام المعادن سهلة الانصهار ، ولا تقل جودة اللحام بالبروبان و الأكسجين للفولاذ الذي لا تزيد سماكته على 3 مم من جودة اللحام بالأستيلين و الأكسجين

### 3-الغاز الطبيعي:

يتألف الغاز الطبيعي على نحو رئيسي من الميثان (77 ÷ 98%) وكميات قليلة من البروبان و البوتان وغيرها ، وهو من دون رائحة تقريباً ، لهذا تضاف إليه مواد ذات رائحة شديدة كي يسهل اكتشاف تسربه .

تعادل درجة حرارة لهب الأكسجين و الميثان (  $2100-2200^{\circ}\text{C}$  )، وهي أخفض من الأكسجين و البروبان ، وكذلك يمكن استخدام الغاز الطبيعي في حالات محدودة ، على نحو رئيسي للقص الحراري .

## 2-6- تقانة اللحام الغازي بالأكسي أستيلين :

يكمن سبب عدم التوسع في استخدام اللحام الغازي مقارنةً مع اللحام بالقوس الكهربائي ، بأن الأول يُنفذ بسرعات بطيئة للتسخين و التبريد للمعدن الملحوم ، مما يؤدي إلى تضخيم الحبيبات في المنطقة المجاورة للدرزة اللحامية (منطقة التأثير الحراري) وتكون متانة الوصلة اللحامية منخفضة مقارنةً بالمعدن الأساسي ، وتحدث تشوهات كبيرة في المنتج الملحوم ، إضافةً أن كلفة اللحام الغازي للصفائح الفولاذية التي تزيد سماكتها على 2 مم ، تفوق كلفة اللحام بالقوس الكهربائي بالإلكتروودات المغلفة .

إن إنتاجية اللحام الغازي للمنتجات المصنوعة من الفولاذ ذي السماكة الأقل من (1,5مم) ، تكون أعلى بـ 1,5 مرة مقارنة مع اللحام القوسي بالإلكتروودات المغلفة ، أما عند لحام ألواح ذات سماكة تزيد على 3 mm ، فإن اللحام الغازي يتراجع أمام اللحام بالقوس الكهربائي .

يستخدم اللحام الغازي (الأكسي أستيلين) حالياً في إصلاح المسبوكات المصنوعة من حديد الزهر و المعادن غير الحديدية ، وعند تركيب التمديدات الصحية الفولاذية التي تقل سماكة جدرانها عن (2mm) وفي لحام و تعبئة المعادن منخفضة درجة الانصهار (سهلة الانصهار) ، وغير ذلك . ويستخدم اللهب الغازي بالتسخين بفرض المعالجة الحرارية للمعدن وتنظيفه من الصدأ .

#### 1-2-6- تحضير القطع و تجميعها قبل اللحام :

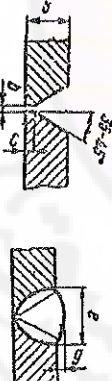
تُحضّر القطع قبل عملية اللحام بشنفرة حواف القطع و تنظيف مكان اللحام من الأوساخ ، وتتم هذه العملية إما بطريقة ميكانيكية مثل القص أو بوساطة القص باللهب الأوتوماتيكي . تنظف حواف القطع المراد لحامها بعرض 25-30 مم قبل عملية اللحام من الصدأ و الدهان و الزيوت ... الخ . لأنه في حال وجود هذه الأوساخ يمكن أن تحدث بعض العيوب داخل الدرزة اللحامية . ويبين الجدول رقم (6.1) تحضير الحواف للقطع المراد لحامها .

تجمع القطع قبل اللحام في مثبتات و معدات خاصة بوساطة نقاط اللحام (لقاطات) يتعلق طول اللقطة و المسافة بين اثنتين مجاورتين بشكل القطعة و أهميتها و سماكتها و طول الدرزة اللحامية المطلوب تنفيذها عند تجميع القطع و لا يتجاوز طول اللقطة اللحامية (5مم) وتكون المسافة بين اللقاطات (50 ÷ 100 مم) هذا بالنسبة للدرزات ذات الأطوال القصيرة والمتوسطة وسماكة القطع 3 ÷ 4 مم.

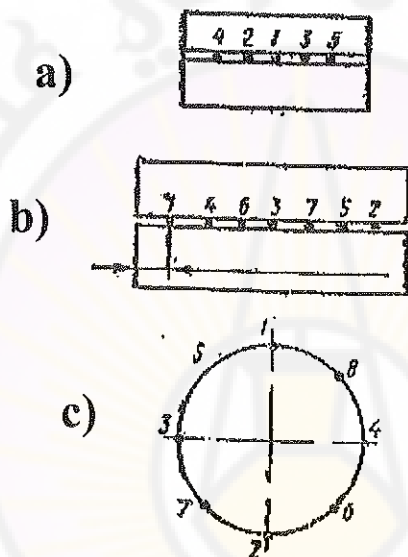
واذا كان طول الدرزات كبيراً فيكون طول اللقطة يراوح (20÷30 مم)  
وتراوح المسافة بينهما من (300÷500 مم) ، وارتفاع اللقطة يجب أن يساوي (0,5-0,7) من سماكة المعدن الأساسي .



جدول (6-1) أشكال القطع و أبعادها قبل عملية اللحام و أبعاد البرزات بعدها

| ارتفاع البرزات<br>gmm | عرض البرزات<br>e mm | مقدار الخدوش<br>b mm | عرض الحافة<br>العامودية (C)<br>mm | سمك<br>المعدن<br>S mm | الإشكال                                                                            | نوع البرزات  | شكل<br>الحواف              |
|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|
| -                     | 1-2                 | 0-1                  | -                                 | 1.0-0.5               |  | من جهة واحدة | مع طبعج الحافتين           |
| 1-1.5                 | 5-7                 | 0.5-2                | -                                 | 5.0-1.0               |  | من جهتين     | تتألف من شقيرة             |
| 1-2                   | 6-8                 | 1-2                  | -                                 | 6.0-3.0               |  | من جهة واحدة | تتألف من شقيرة             |
| 1-2.5                 | 8-12                | 1.5-3                | 1-2                               | 10.0-5.0              |  | من جهتين     | تتألف من شقيرة من طرف واحد |
| 1.5-2                 | 12-20               | 2-4                  | 1.5-3                             | 15.0-6.0              |  | من جهة واحدة | تتألف من شقيرة من الجهتين  |
| 2-2.5                 | 20-34               | 2-4                  | 4-2                               | 25.0-15.0             |  | من جهتين     | تتألف من شقيرة من الجهتين  |

ويجب الانتباه عند إنجاز اللقطات إلى انصهار جذر الدرزة لأنه عند عملية اللحام يبقى الجذر عند اللقطة غير مصهور أحياناً .  
و يبين الشكل (6-1) نظام تتابع إنجاز اللقطات حسب شكل القطع و أبعادها .  
و من المهم أن يقوم بإنجاز اللقطات عامل اللحام نفسه الذي سيجري عملية اللحام .



الشكل (6-1) شكل نقل توضع اللقطات

- a - درزات قصيرة .
- b - درزات طويلة .
- c - درزات دائرية .

## 2-2-6- الأسلوب الفني للحام الغازي :

عند اللحام اليساري (شكل 6-2 a) يتم تحريك المشعل من اليمين نحو اليسار ،  
أما عند اللحام اليميني (شكل 6-2 b) فمن اليسار نحو اليمين ، ففي الحالة

الأولى سلك الإضافة أمام لهب المشعل ، و في الحالة الثانية يقع سلك الإضافة خلف اللهب ، و في الطريقة اليسارية يكون اللهب موجهاً إلى القسم غير الملحوم من الدرزة ، و بقصد التسخين المنتظم للحواف ، و للخلط الأفضل لمعدن حوض اللحام نقوم بحركة متعرجة لرأس المشعل و سلك الإضافة .

يضمن اللحام اليساري ارتفاعاً و عرضاً منتظمين لدرزة الوصلة الملحومة ، و يضمن أعلى إنتاجية و أقل كلفة في لحام الألواح التي تقل سماكتها عن ( 5 مم ) . و يفسر ذلك بأن اللهب يسخن مسبقاً المعدن الأساسي المطلوب لحامه ، عدا أن اللحام اليساري أبسط في التنفيذ ، و لا يتطلب من عامل اللحام اكتساب مهارة عالية . و يُستخدم اللحام اليساري كذلك للمعادن سهلة الانصهار ، و عند لحام الفولاذ بالطريقة اليسارية تحدد قدرة اللهب بمقدار ( 100-120 ) لتر/ساعة من الاستلين لكل 1 مم من سماكة المعدن المراد لحامه ، و يمكن رفع سرعة اللحام اليساري أكثر من اليميني ، مادام امتصاص الحرارة من قبل المنتج (الفقدان) غير كبير ، و هذا ممكن فقط عند لحام الألواح الرقيقة و عندما تزيد سماكة الألواح عن 5 مم يتراجع اللحام اليساري من حيث السرعة أمام اللحام اليميني ، ففي اللحام اليميني يكون التسخين في حوض اللحام أكثر غزارة ، و تأتي إلى حوض اللحام كمية أكبر من الحرارة ، و يمكن تقريب نواة اللهب إلى سطح حوض اللحام ، و هذا بالإضافة إلى أن اللهب يسخن المعدن المصهور تَوّاً ، و هذا التسخين ينتشر على مسافة قصيرة من حوض اللحام .





يجوز تلامس طرف النواة مع معدن المنتج و سلك الإضافة ، فهذا يؤدي إلى كربنة المعدن في الحوض يساهم في ظهور الضربات و رجوع اللهب ، و يمكن ضبط سرعة إحماء المعدن أثناء اللحام الغازي بواسطة احناء رأس اللحام المشعل بالنسبة إلى سطح المعدن. و تزداد زاوية ميل رأس اللحام كلما ازدادت سماكة المعدن ، كما موضح على (الشكل C 2,6). أو زاوية سلك المعدن المضاف بالنسبة إلى سطح المعدن ، فتكون عادة من (30° - 40°)، و يمكن تغييرها تبعاً لوضع الدرزة في الفراغ وتبعاً لعدد الطبقات في الدرزات عديدة الطبقات .

و كقاعدة عامة، يجب أن يكون طرف سلك المعدن المضاف دوماً غاطساً في حوض اللحام، الذي تحميه غازات منطقة الإرجاع باللهب من الهواء المحيط. و لا ينصح باستخدام ما يسمى بعملية اللحام بالقطرات، أي عندما يتم إنزال السلك دورياً في حوض اللحام، و ذلك بسبب خطر تأكسد معدن السلك في لحظة إبعاده عن الحوض اللحام.

### 3-2-6- أسس تقانة اللحام الغازي :

يمكن بواسطة اللحام الغازي تنفيذ الدرزات اللحامية مهما كان و وضعها في الفراغ، و أصعب هذه الأنواع تنفيذ الدرزات السقفية، إذ إن المعدن السائل يسعى للسيلان من حوض اللحام بشكل قطرات.

توضع الدرزات على شكل طبقة واحدة أو طبقات عدة. فعندما تكون سماكة الفولاذ (8-10 mm) تتفذ الدرزات بطبقتين، أما الألواح ذات السماكة أكثر من 10 mm فتلحم بثلاث طبقات و أكثر .

يضمن اللحام عديد الطبقات الحصول على متانة أعلى لمعدن الدرزة و الوصلة الملحومة مقارنة مع اللحام بطبقة واحدة، حيث نحصل على قسم من المعدن

المفترط في التسخين بجوار الدرزة و يتم التوصل كذلك إلى تطبيع (تليدين) الطبقات السفلية عند تعبئة الطبقات السابقة ذات حبيبات صغيرة.

و ينصح بتليدين معدن الطبقة العلوية بوساطة اللهب الغازي دون استخدام السلك الإضافي، و يجب تنظيف سطح معدن الطبقة السابقة من الخبث و الصدأ بفرشاة فولاذية، وذلك قبل وضع كل طبقة جديدة.

و تنفذ الدرزات الأفقية و السقفية عادةً بالطريقة اليمينية للحام، و تلحم الدرزات الرأسية و المائلة من الأسفل نحو الأعلى بالطريقة اليسارية.

و في اللحام اليميني تستخدم أسلاك اللحام بقطر مساوٍ لنصف سماكة المعدن المطلوب لحامه على أن لا يزيد على (6 mm)، و في اللحام اليساري يؤخذ قطر سلك اللحام أكبر بـ (1 mm) مما في اللحام اليميني.

تلحم عادة الألواح ذات السماكات 3 مم بلهب طبيعي، أما الألواح ذات السماكة الأكبر فتلحم باللهب يحوي فائضاً قليلاً من الأكسجين أي بتركيب يعادل

$$O_2/C_2H_2 = 1.4$$

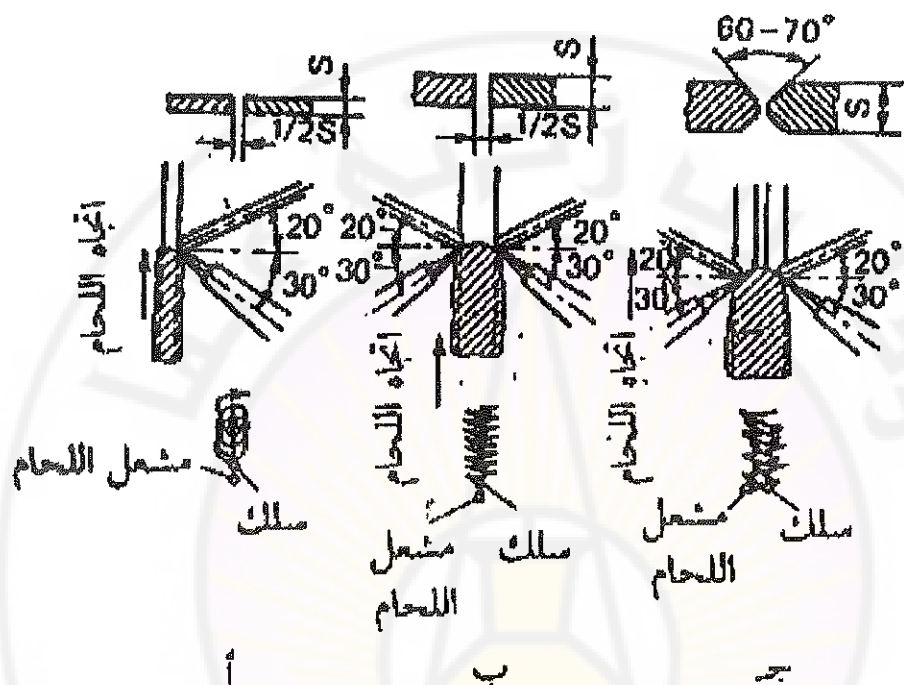
و في هذه الحالة ينصهر المعدن على عمق أكبر و يكون اللحام أعلى إنتاجية.

#### 4-2-6 - الأنواع الخاصة للحام الغازي:

ينفذ اللحام بالاتجاه من الأسفل نحو الأعلى، و ذلك عند لحام الوصلات في - الوضع الرأسي و يبين (الشكل 3-6) زاوية ميل المشعل و سلك الإضافة، وكذلك كيفية تحريك المشعل و السلك في أثناء تنفيذ الدرزة.

وعند لحام الأنابيب المتوضعة بشكل أفقي، يجري اللحام على أقسام بغض النظر عن كون الوصلة دوارة أو ثابتة، و ذلك بعد تجميع الوصلة عادة بوساطة لقطات لحامية و التي توضع في (3 ÷ 6) أماكن تبعاً لقطر الأنبوب، و تبعد عن بعضها بشكل متساو. و عند لحام الأنابيب مع تدويرها يكون القسم الجاري

لحامه عادة في الأعلى، و يشغل مكاناً يقع بين القطر الرأسي (الشاقولي) والقطر الذي يميل عليه بزاوية  $45^\circ$  .



شكل (3-6): مخططات اللحام بالجذع النافذ عند سماكات :

أ- من 2 إلى 6 mm ، ب- من 6 إلى 12 mm ،

ج- من 12 إلى 20 mm

أما الأنابيب الثابتة فتلحم على أقسام في الوضع السفلي والمائل و السقفي ، مع مراعاة مبدأ لحام التدرج العكسي ، بهدف التخلص من الإجهادات و التشوهات .

### 3-6- تقانة القص الغازي للمعادن :

#### 1-3-6- الشروط الأساسية لقص المعادن بالأكسدة :

لا تخضع جميع المعادن والسبائك للقص بالأكسدة. فالقص التأكسدي يتطلب توافر الشروط الآتية:

1- درجة التهاب المعدن (درجة بدء الاحتراق) يجب أن تكون أخفض من درجة انصهاره، وفي هذه الحالة يحترق المعدن في حالته الصلبة و يتم الحصول على سطح قص أملس، و لا تتصهر الأطراف العلوية للحواف، و يكون من السهل إبعاد نواتج الاحتراق الخبثية من منطقة القص بتيار من الأكسجين، و يبقى شكل القص ثابتاً. و تلبى هذه الشروط أنواع الفولاذ الكربوني و الحديد. فالحديد الصناعي يحترق بالأكسجين بدرجة حرارة ( $1050 \div 1360^{\circ}C$ ) تبعاً لحالته. بينما تساوي درجة انصهاره ( $1539^{\circ}C$ ). و لا يخضع الألمنيوم و سبائكه للقص بالأكسدة، إذ إن درجتي احتراقه و انصهاره هي على التوالي :  $900^{\circ}C$  و  $600^{\circ}C$ .

2- يجب أن تكون درجة انصهار الخبث و الأكاسيد المتشكلة في أثناء القص أخفض من درجة انصهار المعدن، و في هذه الحالة تصبح الأكاسيد سائلة و يتم إبعادها بسهولة من منطقة القص بتيار الأكسجين. و تخضع أنواع الفولاذ منخفض و متوسط الكربون للقص بالأكسدة. أما أنواع الفولاذ الحاوي على أكثر من 0,65 % كربون، فتتصهر بدرجة أخفض من درجة حرارة انصهار أكاسيد الحديد، و لذا يصعب قصها بالأكسدة في الظروف العادية .

وتشكل بعض المعادن إكاسيد ذات درجات انصهار عالية ، مثلاً تكون درجة انصهار إكاسيد الألمنيوم ( $2050^{\circ}C$ ) وأكسيد الكروم حوالي ( $2270^{\circ}C$ )، و إكاسيد النيكل ( $1985^{\circ}C$ ) و إكاسيد النحاس ( $1230^{\circ}C$ ) وتعد هذه الأكاسيد صعبة الانصهار مقارنة مع المعدن الجاري قصه .

عند قص أنواع الفولاذ الكرومي والنيكل كرومي والنحاس وسبائكه وحديد الزهر وغيرها ، فالأكاسيد أنفة الذكر لا يمكن إبعادها من منطقة القص عند

القص الاعتيادي بالأكسيد، وذلك لأنها تحجب مكان تأكسد المعدن المسخن حتى درجة الالتهاب بواسطة تيار الأكسجين، ويصبح القص غير ممكن.

3- يجب أن تتمتع المعادن بموصلية حرارية غير كبيرة، كي لا يحصل سحب شديد للحرارة من مكان القص، وإلا فإن عملية القص ستتوقف، فالنحاس و الألمنيوم و سبائكهما تتمتع بموصلية حرارية عالية مقارنة مع الحديد و الفولاذ، و لا يمكن عملياً تركيز التسخين لهذه المعادن حتى درجة الاشتعال بواسطة اللهب المسخن على كامل سماكة اللوح. و لهذا لا تخضع هذه المعادن للقص العادي بالأكسجين.

قابلية القص لأنواع الفولاذ : تتشكل في أثناء القص بالأكسجين، كما في اللحام، منطقة بجوار القص تسمى منطقة التأثير الحراري، وهذا يساعد على تشكيل التشققات عند تبريد الحواف.

عند قص أنواع الفولاذ عديم الصدأ يمكن حدوث التأكسد (الصدأ) بين البلورات (ترسب كربيدات الكروم من المحلول الصلب) بعد القص.

ولهذا غالباً ما تشغل بالفارزة حواف الأجزاء المصنوعة من هذه الأنواع من الفولاذ، بعد قصها بالأكسجين، أو نقشط حتى عمق  $(0,5 \div 3\text{mm})$  عندما تصل السماكة حتى 100 mm. و بالنسبة إلى بعض أنواع الفولاذ عالي السبائكية تستخدم بعد القص معالجة حرارية لاستعادة بنية المعدن في الحواف، و قد اتفق على تسمية خاصية الفولاذ الذي يقص بالأكسجين دون تشكيل منطقة مقساة بجوار القص، بقابلية القص. و تقدر قابلية القص، تبعاً للتركيب الكيميائي للفولاذ، بنظام التقدير الرباعي :

1- قابلية جيدة للقص.

2- قابلية للقص بشكل مقبول.

3-قابلية محدودة للقص.

4-قابلية رديئة للقص. كما هو موضح في الجدول (6,2)

### 2-3-6- أنظمة القص :

الدلائل الأساسية لنظام القص هي: ضغط أكسجين القص و سرعة القص، و هما يتعلقان بسماكة الفولاذ المطلوب قصه و بنقاوة الأكسجين و بتصميم الحمل، و لضغط أكسجين القص أهمية كبرى، فعندما يكون الضغط غير كاف، لا يستطيع تيار الأكسجين نفخ الخبث من مكان القص، و لا يقص المعدن على كامل سماكته. أما إذا كان ضغط الأكسجين زائداً فإن استهلاكه يزيد، و مكان القص لا يكون نظيفاً على نحو كاف .

جدول (6.2) قابلية القص لأنواع الفولاذ الكربوني و الفولاذ منخفض السبائكية

| مجموعة قابلية القص                                                                         | تسمية الفولاذ                               | نسبة الكربون %             | شروط القص                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                          | الفولاذ الكربوني                            | أقل من 0,3                 | تقص في أية ظروف إنتاجية دون تحديد السماكة ودرجة حرارة الهواء                                                                    |
| 2                                                                                          | الفولاذ منخفض السبائكية                     | أقل من 0,2                 | تقص مع بعض التحديدات : عند قص السماكات الكبيرة (أكثر من 100 مم) يجب تطبيق التسخين على خط القص حتى درجة لا تقل عن $120^{\circ}C$ |
| 3                                                                                          | الفولاذ الكربوني<br>الفولاذ منخفض السبائكية | 0,4 - 0,5<br>0,3 - 0,4     | يحتاج القص إلى تسخين حتى $200 \div 300^{\circ}C$ على خط القص )                                                                  |
| 4                                                                                          | الفولاذ الكربوني<br>الفولاذ منخفض السبائكية | أكثر من 0,5<br>أكثر من 0,4 | يحتاج القص إلى تسخين حتى $(300 \div 450)^{\circ}C$                                                                              |
| ملاحظة: يمكن أن تقدر قابلية القص أيضاً بواسطة الكربون المكافئ، التي تحدد طبقاً لصيغة معينة |                                             |                            |                                                                                                                                 |

ومن الثابت أن إنقاص نقاوة الأكسجين بمقدار 1 % يخفض سرعة القص و سيطاً بمقدار 20%. و لا ينصح باستخدام أكسجين نقاوته أقل من 99 %



بسبب انخفاض سرعة القص وجودة السطح، و يفضل استخدام الأكسجين النقي بنسبة 99,5 % و أكثر، و هذا مبرر اقتصادياً لاسيما عند القص بوساطة المكينات. و تؤثر كذلك في سرعة القص درجة مكنة العملية (القص اليدوي أو الآلي و شكل خط القص - القص المستقيم أو التشكيل)، وجودة سطح القص.

إذا كانت سرعة القص صغيرة، فإنه سيحصل صهر جزئي للحواف أما إذا كانت سرعة القص كبيرة جداً، فإنه سوف تتشكل أقسام لم تقص بشكل نافذ بسبب تأخر تيار الأوكسجين و يحصل خلل في استمرار القص. و يبين الجدول (3-6) أنظمة القص الآلي للأجزاء ذات الحواف المستقيمة، التي لا تحتاج إلى المعالجة الميكانيكية اللاحقة، و المحضرة من أجل اللحام.

و عند القص التشكيلي تخفض السرعة مقارنة مع السرعات المبينة بالجدول و عند قص الأغفال تؤخذ السرعة بمقدار  $(10 \div 20 \%)$  أكثر مما ذكر في الجدول، تأخذ معطيات الجدول في الحسبان أن نقاوة الأكسجين 99,5 %، فعندما تكون نقاوة الأكسجين أقل من ذلك، يزداد استهلاك الأسيتلين و الأكسجين، أما سرعة القص فتتناقص، و عند قص الألواح ذات السماكات القريبة من 100 مم يبرر اقتصادياً استخدام لهب التسخين مع فائض من الأكسجين للحصول على التسخين الأسرع لسطح المعدن .

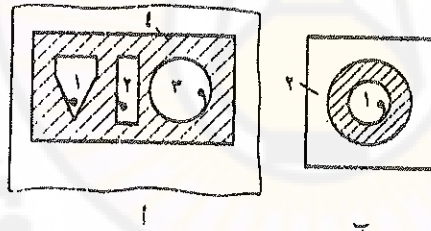
### 3-3-6- الأسلوب الفني للقص :

يجب البدء بالقص عند حواف القطعة، وعندما يكون القص في داخل القطعة يجب فتح ثقب في القسم المعدني ثم بدء القص منه، ويتم خرق المعدن قليل السماكة (أقل من 10 مم) بوساطة حملاج القص، و يجب أن تكون بداية القص حسب الكونترا (شكل 4.6A) دوماً على الخط المستقيم، مما يضمن الحصول على خط نظيف للقص عند التدويرات، و يمكن أن تكون بداية القص في



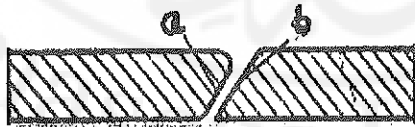
الكونسترا في أي مكان ما عدا الزوايا، و عند قص الحلقة (شكل 6.4.B) يقص أولاً القسم الداخلي 1 من المعدن الذاهب مع التشريك، ومن ثم يقص الكونتر 2. جدول رقم (6.3) أنظمة القص الآلي بالأكسجين

| سماعة الفولاذ المطلوب قصه (مم) |         |         |         |         |         |         | الدلائل                       |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------------------|
| 200                            | 100     | 60      | 30      | 20      | 10      | 5       |                               |
| 6                              | 4       | 4       | 3       | 2       | 1       | 1       | رقم البرياز (الفالة)          |
| 1,05                           | 1,05    | 0,60    | 0,45    | 0,45    | 0,45    | 0,35    | ضغط الأكسجين<br>(ميغا باسكال) |
| 340-200                        | 340-260 | 330-300 | 380-350 | 420-390 | 520-480 | 640-590 | سرعة القص<br>(مم/دقيقة)       |
| 3920                           | 1180    | 560     | 250     | 160     | 95      | 65      | الاستهلاك (لتر/م)<br>للأكسجين |
| 125                            | 62      | 42      | 27      | 23      | 15      | 12      | للأستيلين                     |

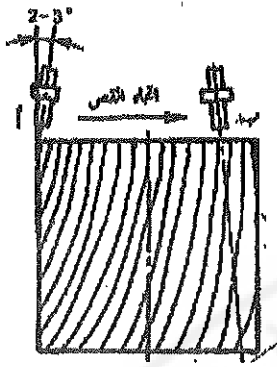


شكل (6-4) أساليب القص داخل الكونتر في القطعة :

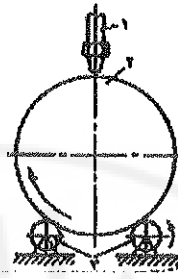
A- بداية القص B- قص الفلانات، -4-3-2-1- تسلسل خطوط القص.



الشكل (6-5) شكل السطوح للقص المائل



شكل (6-11) وضع البزباز عند قص الفولاذ



شكل (6-10) مخطط القاعدة الدحرجية

للسماكات الكبيرة :

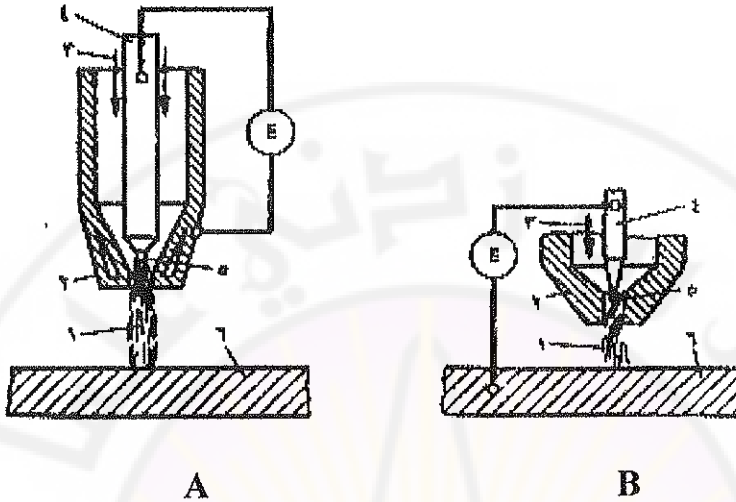
لقص الأنابيب:

1- حملاج، 2- أنبوب، 3- دحارج استنادية أ- في بدء القص، ب- في نهاية القص

٤-6- القص بالقوس البلازمي:

1- الحصول على القوس البلازمي : إذا وجهنا تياراً من غاز ما إلى القوس الكهربائي، بعد تمريره عبر ثقب صغير لمنفتح تشكيل البلازما فإن جذع القوس سوف تضغط، حيث البلازما المتشكلة تكون عبارة عن منبع حراري مركز تراوح درجة حرارته بين  $(2000 \div 5000^\circ C)$  و يسمى الغاز الذي يضغط جذع القوس بـغاز تشكيل لبلازما كما يوضح الشكل (6-12) ويستخدم لتشكيل البلازما غازات وحيدة الذرة مثل لأرغون أو الغازات الثنائية الذرة مثل (هيدروجين، آزوت) ويستخدم كذلك خليط غازين وأكثر، والهواء أيضاً. إن الغازات ثنائية الذرة التي تشكل البلازما تولد قوساً بلازمياً تطلق عند مصعده حرارة أكثر مما تنطلق عند القوس البلازمي المولد من الغازات لوحيدة الذرة ويفسر ذلك بأن الغازات الثنائية الذرة تنقل للمنتج كمية أكبر من حرارة لقوس بسبب تشكل جزيئات الغاز مع انطلاق كمية إضافية من الحرارة. لقد انتشر القص بالقوس البلازمي على نطاق واسع عند معالجة نفس المعادن والسبائك التي لا تخضع للقص بالأكسجين، مثل أنواع الفولاذ عالي السبائك والألومنيوم و التيتان الذي تقل سماكته عن 50mm مم. و إن القص بالقوس

البلازما عبارة عن صهر المعدن على قسم ضيق بموجب خط القص مع إبعاد المعدن المنصهر بتيار البلازما المتشكل في القوس.



شكل (6-12) مخطط الحصول على النافورة البلازمية (A)، و القوس البلازما (B)  
1- تيار البلازما ، 2- المنفت الذي يشكل البلازما ، 3- غاز ، 4- الإلكتروود،  
5- جذع القوس، 6- قطعة التشغيل، E- ننبع التيار

٢- أسس تكنولوجيا القص بالقوس البلازما:

إن عناصر نظام القص بالقوس البلازما هي: قطر المنفت، و شدة التيار، وجهد القوس البلازما مقدراً بالفولت، وسرعة القص، واستهلاك الغاز. و يتم اختيار الغاز المولد للبلازما طبقاً للمعدن المراد قصه. كما يوضح الجدول (6-4).

الجدول (6-4) اختيار غاز توليد البلازما تبعاً لظروف القص

| الغاز                       | المعدن المراد قصه                            |
|-----------------------------|----------------------------------------------|
| هواء، أكسجين                | أنواع الفولاذ منخفض الكربون، والفولاذ لسبائك |
| أزوت صناعي                  | أنواع الفولاذ عديم الصدأ، النحاس و سبائكه    |
| خليط: أرغون صناعي، هيدروجين | الألمنيوم و سبائكه                           |

و يبين الجدول رقم (6-5) أنظمة تقريبية لقص المعادن بالقوس البلازما مع استخدام الهواء المضغوط.

الجدول رقم (5-6) الأنظمة التقريبية للقص الآلي البلازمي بالهواء المضغوط

| سمكة<br>المسند<br>(مم)                            | قطر<br>المنفذ<br>(مم) | شدة التيار<br>(أمبير) | جهد القوس<br>(فولط) | استهلاك<br>الهوام<br>المضغوط<br>(ليتر/دقيقة)<br>( | سرعة<br>القص<br>(م/دقيقة) | القيمة الوسطى<br>لعرض القص<br>(مم) |
|---------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| الفولاذ منخفض الكربون                             |                       |                       |                     |                                                   |                           |                                    |
| 10                                                | 3                     | 300                   | 145-150             | 80-90                                             | 2,2-2,5                   | 3                                  |
| 40                                                | 3                     | 300                   | 190-195             | 80-90                                             | 0,3-0,6                   | 5                                  |
| الألمنيوم و سبائكه                                |                       |                       |                     |                                                   |                           |                                    |
| 5-15                                              | 3                     | 120-200               | 170-180             | 70                                                | 1-2                       | 3,5                                |
| 50-30                                             | 3                     | 280-300               | 170-190             | 40-50                                             | 1,2-0,6                   | 5,5                                |
| النحاس                                            |                       |                       |                     |                                                   |                           |                                    |
| 10                                                | 3                     | 300                   | 160-170             | 40-60                                             | 3                         | -                                  |
| 60                                                | 3.5                   | 300                   | 160-180             | 40-60                                             | 0,4                       | -                                  |
| ملاحظة: قطر الإلكترود التنفستيني يساوي قطر المنفذ |                       |                       |                     |                                                   |                           |                                    |

و من المفضل استخدام القص بالقوس البلازمي على الآلات على نحو رئيسي،  
و ذلك لأن السرعة العالية للقص تجعل التحكم بالعملية صعباً.  
فمثلاً، يقص الفولاذ بسماكة 1,5 مم، بجهاز قدرته 50 كيلوواط وبسرعة 20 م/د  
أما الفولاذ بسماكة 10 مم فيقص بسرعة (3 ÷ 4 م/د). و تزداد سرعة القص  
بازدياد القدرة الكهربائية للبلازما و تمتاز المولدات الحديثة للبلازما بقدرة  
كهربائية 150 كيلوواط و أكثر و تفوق سماكة الألواح المقصوفة 100 مم.

## **الفصل السابع**

### **اللام بالقوس الكهربائي**

- 1-طبيعة تكوين القوس الكهربائي .
- 2-قدح القوس الكهربائي وأقسامه .
- 3-الخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي .
- 4-تأثير المجالات المغناطيسية و الكتل الفيرومغناطيسية في القوس الكهربائي .
- 5-بنية معدن الدرزة اللحامية ومعدن منطقة التأثير الحراري .
- 6-تأثير الأوكسجين و الازوت و الهيدروجين في الخواص الميكانيكية للدرزة اللحامية .



## اللحام بالقوس الكهربائي

### مفهوم اللحام بالقوس الكهربائي :

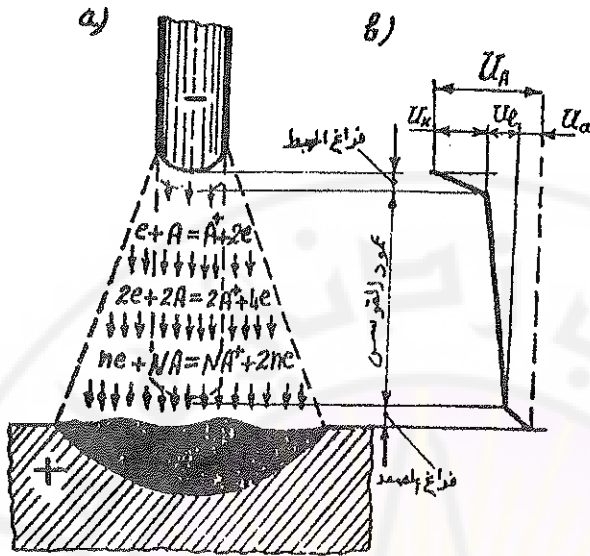
تتفوق طريقة اللحام بالقوس الكهربائي على سائر الطرق الاخرى حتى انها تبلغ نحو 90% من مجموع استخدامات طرق لحام الصهر المختلفة ، و يتم في هذه الطريقة تحويل الطاقة الكهربائية الى حرارية تستخدم في الصهر الموضعي لحافتي الوصلة ، ولإدراك جوهر هذه الطريقة لابد من دراسة طبيعة تكوين القوس الكهربائي .

### 1-7- طبيعة تكوين القوس الكهربائي :

يعرّف القوس الكهربائي على أنه : عملية تفريغ مستمرة للتيار الكهربائي في وسط غازي متأين موجود بين إلكترودين صلبين أو سائلين ويغذيهما توتر كهربائي، وتعد عملية التفريغ هذه المنبع الحراري المركز و المستخدم للصهر الموضعي للمعدن عند اللحام، و يبدأ التفريغ الكهربائي بخلق انبعاث الكتروني من قطب سالب ساخن يمثل المهبط نحو قطب موجب آخر يمثل المصعد ، فالعوامل الأساسية في خلق القوس الكهربائي إذاً هي : الحرارة ، التأين ، الانبعاث

#### 1- الحرارة :

عند اتصال الكترود باللحام بالمشغول المراد لحامه ثم انفصاله عنه تدريجياً تبدأ ممرات التيار بالانقطاع فترتفع شدة التيار في الممرات الباقية بالتدريج حتى تصل إلى مقدار يتيح لها (نظراً لكبر المقاومة في منطقة التماس) أن تسخن إلى درجة الغليان جزء من ذراتها ثم انفجارها .  
يتم بهذه الظروف تحرر تيار من الالكترونات السطحية للذرات المتلامسة ( انطلاق ايوني حراري ) . غير إن الالكترونات المنبعثة من المصعد لا تلبث



الشكل (7-1): مخطط القوس الكهربائي

a — عملية التفريغ في القوس. B — توزيع انخفاض الجهد في القوس

حيث:

$U_k$ : انخفاض الجهد في منطقة فراغ المهبط.

$U_a$ : انخفاض الجهد في منطقة فراغ المصعد.

$U_z$ : انخفاض الجهد في عمود القوس.

— الانبعاث :

كي تتم عملية التأين التي سبق شرحها بتسخين الغاز بواسطة المجال الكهربائي لابد من وجود بعض الالكترونات لتقوم بمهمة تحويل طاقة المجال إلى طاقة حركية. فالالكترونات المنبعثة من المهبط و المتحركة بسرعة متزايدة نحو المصعد تصدم ذرات الغاز وتكسبها جزءاً من طاقتها . و بتوالي الاصطدامات ترتفع درجة حرارة ذرات الغاز إلى درجة يسهل معها نزع بعض



الكثرونهاها الخارجية محولة الهواء بذلك إلى خليط من الأيونات و الالكثرونات الحرة ، التي ليست هي إلا دقائق مشحونة (أنظر الشكل a 7.1 ) .

تتحرك الالكثرونات الحرة نحو المصعد و تصطدم به في حين تتحرك الأيونات الموجبة في اتجاه المهبط و تصطدم به أيضاً و بذلك يصبح الهواء موصلاً للتيار الكهربائي ، و نتيجة هذه الاصطدامات تتحول طاقة حركة الدقائق إلى طاقة حرارية تحافظ على درجة حرارة المصعد و المهبط مرتفعة . و يجب أن يكون فرق الجهد بين الإلكترودين في لحظة اشتعال القوس عالياً و ذلك لإكساب الالكثرونات طاقة حركية تزيد من تأين الهواء . ولكن بعد لحظة الاشتعال ، عندما يصبح الفراغ الهوائي ساخناً و متأيناً ، فإن فرق الجهد اللازم لاستمرار اشتعال القوس يقل .

## 2-7- قدح القوس الكهربائي و أقسامه :

يمكن أن يتم قدح القوس بالطرق التالية :

- 1-جتلامس الإلكتروود مع المشغول لحظياً و سحبه مسافة قليلة .
- 2-بواسطة جهاز يسبب شرارة تقفز من الإلكتروود إلى المشغول .
- 3-بواسطة جهاز يكون و يحافظ على إبقاء قوس ثانوي يمهّد طريقاً مؤيئاً للقوس الرئيس .

و تستعمل هذه الطريقة عندما يكون التيار متناوباً . أما أقسام القوس الكهربائي فهي ثلاثة أقسام (أو مناطق) — أنظر الشكل (b 7,1) :

- 1-فراغ المهبط : وهو الحيز الذي تتبعث منه الالكثرونات باتجاه المصعد . و تكتسب هذه الإلكترونات سرعة نتيجة لوقعها في المجال الكهربائي لمنطقة المهبط ، و لتقع في نهاية المطاف في منطقة عمود القوس ، و هناك تصطدم بذرات الهواء المعتدلة وتسبب تأينها وفق المعادلة :

$$e + A = A^+ + 2e$$

وكما نلاحظ يؤدي هذا الاصطدام إلى الحصول على إلكترونين يتحركان ببطء باتجاه المصعد ، و يمكن أن يصطدما في طريقهما ذرات معتدلة أخرى و يسببا تأينها ، و على أيونات موجبة تتجه إلى المهبط .

و يجب أن ننوه إلى أن جزءاً كبيراً من جهد القوس الكلي يتمركز في منطقة المهبط و التي يساوي طولها نحو 10-5 cm فقط ، و يسمى انخفاض الجهد في هذه المنطقة انخفاض الجهد في فراغ المهبط و يرمز له  $(U_k)$  .

2- فراغ المصعد :و يقع هذا الحيز بالقرب من المصعد (أي سطح مشغول) و يساوي طول هذا الحيز مقدار الانتقال الحر للإلكترون، ويسمى الجهد المتمركز في هذه المنطقة انخفاض الجهد في فراغ المصعد  $(U_a)$  .

3- عمود القوس :وهو الجزء الأساسي للقوس الكهربائي و فيه يحدث تأين ذرات الهواء كما أسلفنا ، ولهذا يحتوي هذا الجزء من القوس على مزيج من الإلكترونات السالبة و الأيونات الموجبة و الذرات التي لم تتأين بعد (الذرات المعتدلة).

لقد ثبت بالتجربة أن انخفاض الجهد في منطقة عمود القوس يتغير وفق قيم ثابتة . فمثلاً عند اللحام بالكتروودات من الفولاذ منخفض الكربون فإن انخفاض الجهد في عمود القوس يساوي  $20 \div 40$  فولطاً لكل 1 cm من طول العمود ولهذا يتعلق انخفاض الجهد

في عمود القوس بطول هذا العمود :

$$U_A = U_k + U_a + U_e$$

$$U_A = a + bl \quad \text{أو} :$$

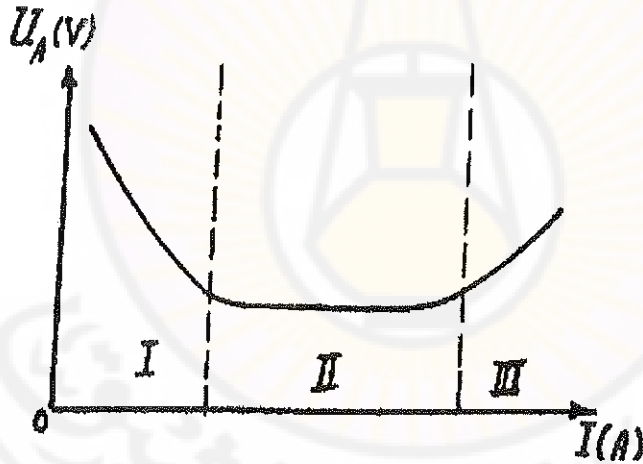
حيث : a - مجموع انخفاض الجهد في منطقتي المهبط و المصعد (فولطاً)

b - مقدار انخفاض الجهد لكل 1 mm من عمود القوس (فولطاً/مم).

L - طول عمود القوس (mm)

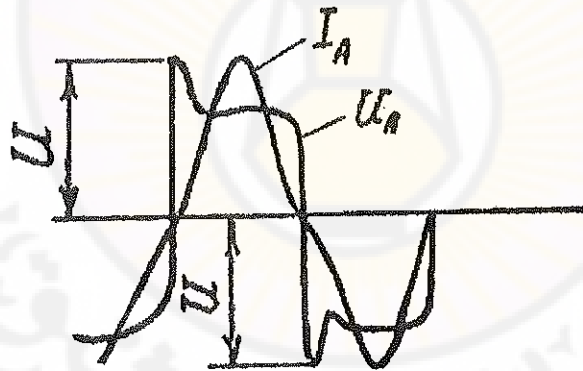
### 3-7- الخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي :

تدعى العلاقة بين جهد القوس وشدة التيار المار به بالخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي . ويوضح الشكل (2 - 7) الخاصة الستاتيكية للقوس بشكل عام . من الشكل نلاحظ أن الجزء الأول للمنحني ( المنطقة I ) يتناقص التوتر بسرعة كلما ازدادت شدة التيار من الصفر و حتى قيمة معينة و غير كبيرة نسبياً . وعندما تكون شدة التيار متوسطة ( المنطقة II ) فإن جهد القوس لا يتعلق بشدة التيار أثناء عملية اللحام (سواء أكان اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي أم بالقوس المغمور بالفلاكس) . و يتعلق جهد القوس في هذه الحالة بطول القوس و ذلك حسب المعادلة التي ذكرناها في البند (2-7) .



الشكل (2-7): الخاصة الستاتيكية للقوس الكهربائي عند اللحام بالتيار المستمر أما في ( المنطقة III ) فإن توتر القوس يزداد عندما تكون شدة التيار عالية جداً (ويحصل هذا عند اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس أو عند اللحام بالقوس في وسط من الغازات الواقية) . إن الخاصة الستاتيكية التي توقفنا على شرحها آنفاً تصلح فقط في حالة اللحام بتيار مستمر . أما عند اللحام بتيار متناوب

(تردد 50 هرتزاً مثلاً) فإن شدة التيار اللحظية سوف تمر بالصفر 100 مرة في الثانية وسوف يؤثر ذلك في عملية انبعاث الإلكترونات من فراغ المهبط و بالتالي في عملية التأين في عمود القوس — أي أن التأين غير منتظم و القوس الكهربائي غير مستقر . إذ كلما مرت شدة التيار بنقطة الصفر فإن قطبية التيار تتغير و تتطفئ القوس في بداية كل نصف طول ونهايته ، و تنخفض درجة حرارة كل من القوس نفسه و البقع النشطة (البقعة النشطة التي على سطح الإلكترود و البقعة النشطة التي على سطح حوض اللحام). و يؤدي هذا كله إلى انخفاض مستوى التأين و بالتالي إلى انخفاض الناقلية الكهربائية لعمود القوس ، و نتيجة لذلك فإن إعادة اشتعال القوس في بداية كل نصف طور تتم فقط عندما يكون الجهد بين الإلكترودين مرتفعاً — أي إن الجهد في هذه اللحظة سوف يكون أكبر من الجهد اللازم لاستمرار اشتعال القوس في الزمن المتبقي من نصف الطور (أنظر الشكل 7-3)



الشكل (7-3): منحنيات تغير شدة التيار و التوتر في القوس الكهربائي عند اللحام في القوس الكهربائي بتيار متناوب :  
 $I_A$  : شدة تيار القوس

$U_A$  : جهد القوس  
 $U$  : التوتر اللازم لإعادة اشتعال القوس

#### 4-7- تأثير المجالات المغناطيسية و الكتل الفيرومغناطيسية في

##### القوس الكهربائي :

يلاحظ عند اللحام بتيار مستمر أن القوس الكهربائي غالباً ما ينحرف عن وضعه الطبيعي مما يؤدي الى عدم اكتمال الصهر الموضعي للدرزة ، وتتشكل بالتالي بعض العيوب في الوصلة اللحامية .

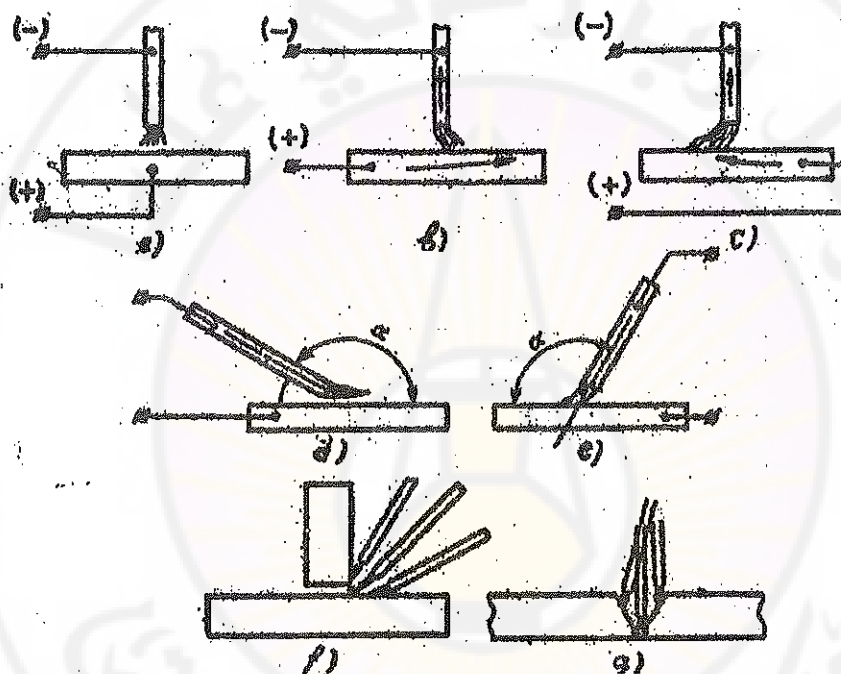
ويحدث انحراف القوس نتيجة لانحراف مجاله المغناطيسي، إذ يمكن أن يتفاعل المجال المغناطيسي للقوس مع المجال المغناطيسي المتشكل حول الوصلة اللحامية ، أو قد تؤثر كتلة الوصلة نفسها في المجال المغناطيسي للقوس إذا كانت هذه الوصلة فيرومغناطيسية .

يظهر المجال المغناطيسي حول الإلكترود و حول القوس الكهربائي كما هي الحال عند مرور تيار كهربائي في سلك معدني ، و تتوضع خطوط القوى لهذا المجال عمودياً على اتجاه التيار . و تظهر مجالات مغناطيسية أخرى أيضاً حول الوصلة اللحامية . ويمكن في بعض الأحيان أن تتفاعل هذه المجالات (مجال القوس ومجالات الوصلة ) مع بعضها ، مما يسبب الانحراف الواضح في القوس الكهربائي (انظر الشكل 4-7). تسمى هذه الظاهرة ظاهرة النفخ المغناطيسي . و يتلخص سبب ظهور النفخ المغناطيسي بما يأتي :

يمكن ان نتصور عمود القوس على أنه سلك مرن يقع تحت تأثير مجال كهرومغناطيسي ،و يمكن لهذا السلك المرن ان ينحرف تحت تأثير خطوط القوى المغناطيسية الأكثر كثافةً باتجاه خطوط القوى المغناطيسية الأقل كثافةً ، فإذا كانت نقطة وصل التيار الكهربائي الى الوصلة تقع مباشرةً أسفل القوس الكهربائي (انظر الشكل a 4,7) فإن القوس يقع في مجال مغناطيسي منتظم ولن يحدث أي انحراف لهذا القوس ، أما إذا كانت نقطة وصل التيار إلى الوصلة تقع على يسار القوس أو يمينها فإن خطوط القوى المغناطيسية الناتجة في الوصلة

سوف تؤثر في المجال المغناطيسي للقوس مما يسبب انحرافه (انظر الشكل 7,4 b+c).

تؤثر زاوية ميل الإلكترود على سطح الوصلة في مقدار انحراف عمود القوس الكهربائي ، إذ كلما ازدادت زاوية ميل الإلكترود ازداد انحراف القوس بالاتجاه المعاكس لميل الإلكترود (انظر الشكل 7,4 d+e).

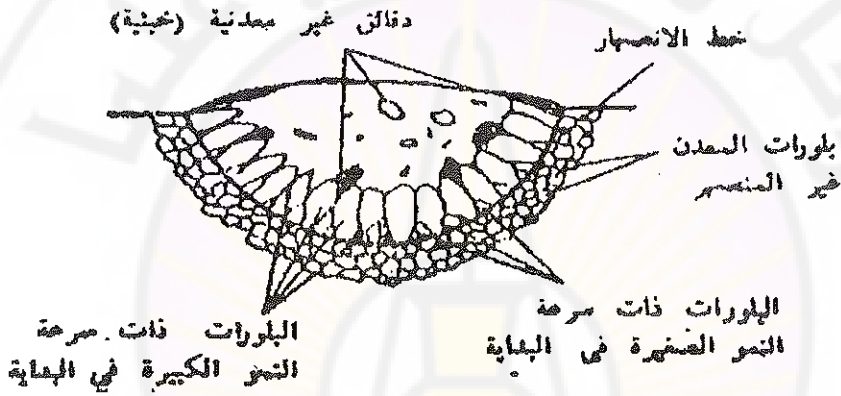


الشكل (7-4): تأثير المجالات المغناطيسية والكتل الفيرومغناطيسية في القوس الكهربائي .

وللكتل الفيرومغناطيسية تأثير كبير في عمود القوس الكهربائي . فإذا وقع القوس الكهربائي بالقرب من كتلة فيرو مغناطيسية ضخمة فإن هذه الكتلة سوف تحرف عمود القوس نحوها ، و يحدث مثل هذا عند لحام الوصلات الفولاذية المتعامدة أو التناكبية المشنفرة على شكل Y (انظر الشكل 7,4 f.g).

## 5-7- بنية معدن الدرزة اللحامية ومعدن منطقة التأثير الحراري :

إن الدرزة اللحامية هي حصيلة انصهار معدن الأساس و الإلكتروود وتبلورها معاً . فالشكل (5-7) يمثل رسماً تخطيطياً لتبلور المعدن في حوض اللحام . و من المعلوم أنه كلما ابتعد القوس انخفضت درجة حرارة المعدن نتيجة تسرب الحرارة الى المعدن الأساس عن طريق التوصيل والإشعاع في الوسط المحيط .



الشكل (5-7) : رسم تخطيطي لتبلور المعدن في حوض اللحام

تبدأ البلورات في التكون عند الحد الفاصل بين حوض اللحام ومعدن الأساس الصلب ذي درجة الحرارة المنخفضة نسبياً ، وتنمو البلورات بدرجات مختلفة لاختلاف ظروف نموها ، فبعضها ينمو بسرعة و الآخر ينمو ببطء . وتدفع البلورات النامية باضطراب نموها الدقائق الخبيثة التي في حوض اللحام باتجاه سطح الدرزة اللحامية . أما في المناطق القريبة من الدرزة اللحامية (أي المتاخمة لها مباشرة ) فتحدث تغيرات بنيوية مهمة و ذلك بسبب تأثير هذه المنطقة بحرارة القوس ، و تدعى هذه بمنطقة التأثير الحراري .

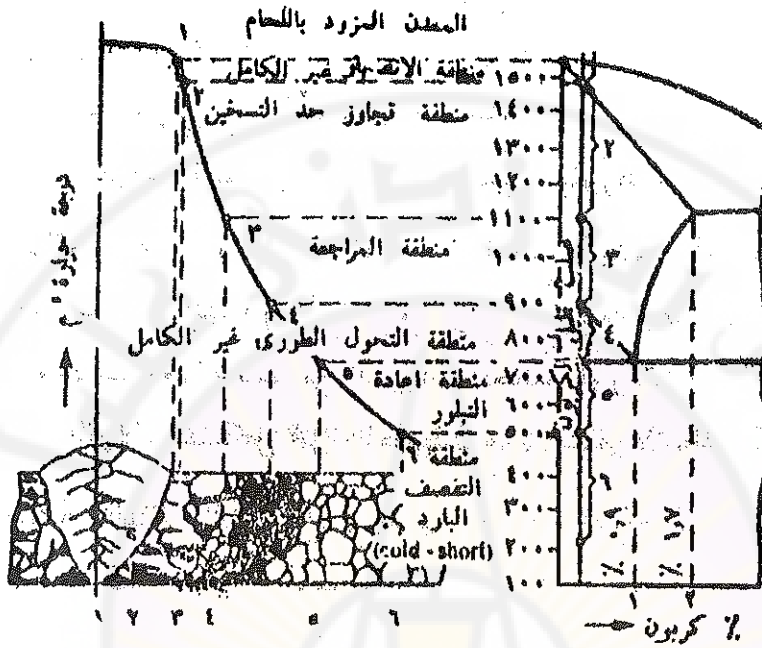


و يمكننا أن نبين ما هي التغيرات البنيوية التي تحدث في منطقة التأثير الحراري باستعراضنا لمقطع في وصلة لحامية من الفولاذ منخفض الكربون وتمت عملية اللحام تتاكبياً و بدرزة لحام و حيدة و لقد رسمنا في الأعلى كيف تتوزع درجات الحرارة العظمى في أثناء اللحام ، و بمقياس الرسم نفسه بيئنا جانباً جزءاً من مخطط توازن الحديد و الكربون ، فبالمقارنة يمكن أن نحصل تقريباً على حدود كل جزء من التأثير الحراري (انظر الشكل 6-7). و طبقاً لدرجة حرارة التسخين و بالتالي للتغيرات البنيوية و الفيزيائية يمكننا القول إن منطقة التأثير الحراري تتألف من عدة مناطق صغيرة هي :

- منطقة الاتصهار غير الكامل (1): وهي منطقة متاخمة تماماً للدرزة اللحامية وتتكون من معدن الأساس فقط و درجة حرارتها أقل من درجة حرارة خط السيولة و أعلى من درجة - منطقة خط التجمد - أي إنها توجد في حالة تجمع بين الصلابة و السيولة ، وتسهل في هذه المنطقة عملية الانتشار بين الطورين الصلب و السائل ، ولهذا يختلف التركيب الكيميائي لهذه المنطقة عن التركيب الكيميائي لكل من معدن الأساس و معدن الدرزة اللحامية ، و يتعلق عرض هذه المنطقة بتركيب المعدن ونوعية مصدر التسخين المستخدم ، و يتراوح عرضها بين  $0.1 \div 0.4$  mm و لخواص هذه المنطقة تأثير حاسم في عمل الوصلة اللحامية بشكل كامل .

منطقة تجاوز حد التسخين (2) : يحدث للحديد في هذه المنطقة تحول أوتروبي . و بما أن معدن هذه المنطقة سخن إلى درجة أعلى كثيراً من درجة حرارة الخط  $Ac_3$  ، فإنه يلاحظ نمو حبيبات الأوستينيت ، فإذا كان نمو هذه الحبيبات كبيراً فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض لدونة الوصلة اللحامية بشكل عام . و يتراوح عرض هذه المنطقة بين  $(1 \div 3 \text{ mm})$ .





الشكل (6-7): بنية المنطقة القريبة من الدرزة اللحامية

- منطقة المراجعة (3) : وتضم هذه المنطقة المعدن المسخن الى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الخط  $Ac_3$  ولكن أقل من  $1100C^\circ$  وتكون حبيبات المعدن صغيرة في هذه المنطقة و خواصه الميكانيكية أفضل من الخواص الميكانيكية لمعدن الأساس الذي لم يتعرض للتسخين أثناء اللحام . و تبعاً لطريقة اللحام و نظامه المستخدمين فإن عرض هذه المنطقة يتراوح بين  $mm(1.2 \div 4)$  .

- منطقة التحويل الطوري غير الكامل (4): و تضم هذه المنطقة المعدن المسخن إلى درجة حرارة أعلى من  $Ac_1$  ولكن أقل من  $Ac_3$  : و يحدث لهذا المعدن إعادة تبلور جزئي ، لهذا تحتوي هذه المنطقة ، بالإضافة إلى

حبيبات المعدن التي لم تتغير في أثناء التسخين ، على حبيبات أعيد تبلورها.

- **منطقة إعادة التبلور (5):** و تظهر هذه المنطقة عند لحام الفولاذ الذي سبق و تعرض لعمليات التشكيل المختلفة ، ففي هذه المنطقة وعند درجة حرارة تراوح بين  $500 \div 700^{\circ}C$  تنمو من البلورات المحطمة بلورات جديدة كاملة أما إذا لم يتعرض الفولاذ للتشكيل قبل اللحام فإن هذه المنطقة لا تملك مكاناً هنا .

- **منطقة التقصف البارد (6):** وتتميز بانخفاض لدونة الصدم عندها و السبب في ذلك كما يبدو هو انفصال الكربون و الآزوت من المحلول الصلب وتجمعها على شكل نتريدات و كربيدات حول عيوب الهياكل الشبكية مما يؤدي إلى زيادة المتانة و انخفاض اللدونة .

## 6-7- تأثيرا لأكسجين و الآزوت و الهيدروجين في الخواص الميكانيكية للدرزة اللحامية :

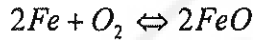
يحدث عند اللحام بالقوس الكهربائي تفكك كل من الهيدروجين و الأكسجين و الآزوت و تحولها من الحالة الجزيئية الى الحالة الذرية و يؤثر كل من الأكسجين و الآزوت و الهيدروجين على مجرى العمليات التعدينية التي تحدث أثناء اللحام بالقوس الكهربائي و سندرس فيما يلي تأثير كل من هذه الغازات :

اولاً - تأثير الاوكسجين :

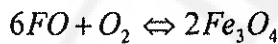
يؤثر الاوكسجين بشكل خاص على مجرى العمليات التعدينية التي تحدث أثناء اللحام بالقوس الكهربائي ، و يحدث تأكسد معدن حوض اللحام إذا توفرت في الوسط الغازي أكسجين حر أو جزيئات غازية تحوي الأكسجين مثل (  $H_2O$  ،  $CO_2$  ) والتي تكون قادرة أن تعطي الأكسجين عند تفككها ، أو عندما

يوجد في الخبث أكسيد يمكن أن تذوب في الحوض المعدني ، أو عند توافر عناصر نشطة كيميائياً يمكن أن تدخل في تفاعلات أكسدة وإرجاع مع معدن حوض اللحام ، و يكون التأكسد أكثر شدة عندما يكون المعدن ذا ميل كبير للاتحاد مع الأكسجين ، فمثلاً عند لحام الخلائط الحديدية، فإن الحديد يتحد مع الأكسجين مشكلاً ثلاثة أنواع من الأكسيد :

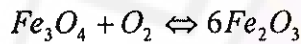
- أكسيد الحديد الذي يحتوي على 22 % أكسجين .



- أكسيد الحديد المغناطيسي الذي يحتوي على 27.2 % أكسجين

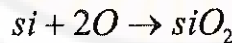
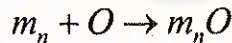
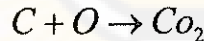


- أكسيد الحديد الذي يحتوي على 30 % أكسجين .

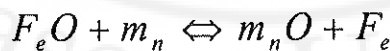


إن الأكسيد الذي يذوب في الحديد من بين الأكاسيد أنفة الذكر هو أكسيد الحديدي (FeO) و تتخفف نسبة ذوبانه بانخفاض درجة الحرارة .

و بالإضافة إلى تأكسد الحديد فإن هناك مكان لتأكسد عناصر أخرى يحتويها معدن الإلكترود و حوض اللحام مثل C, Mn, Si ويحدث تأكسد هذه العناصر بالأكسجين الذري وذلك عندما تنتقل قطرات الإلكترود المنصهر عبر القوس

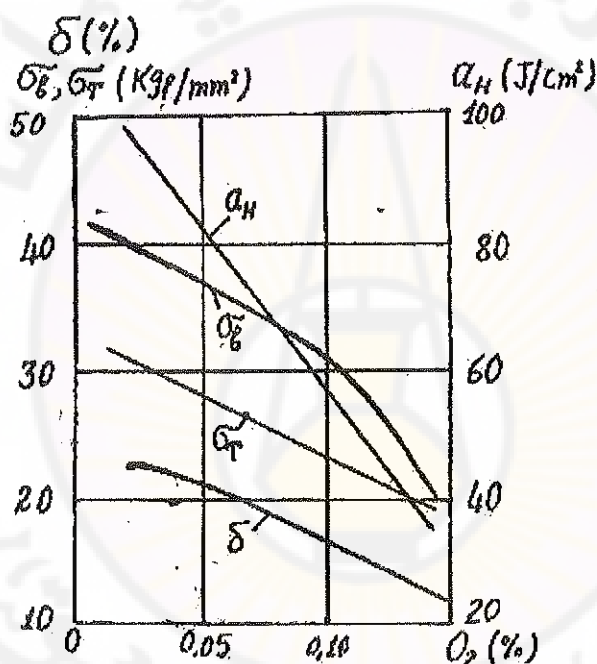


أو بسبب تفاعل هذه العناصر مع أكسيد الحديد المتوافر في حوض اللحام :



وتؤدي تفاعلات التأكسد هذه إلى أن نسبة العناصر المفيدة في المعدن المنصهر سوف تنخفض بينما تزداد كمية الأكسجين فيه مما يسبب انخفاض الخواص الميكانيكية والمزايا التقنية للوصلة اللحامية الناتجة ويبين الشكل (7-7) تأثير الأكسجين في الخواص الميكانيكية لمعدن الدرزة اللحامية .

من الشكل نلاحظ أن ازدياد محتوى الأكسجين في معدن الدرزة اللحامية يؤدي إلى انخفاض أكثر الخواص الميكانيكية أهمية وهي : حد المتانة ( $\sigma_b$ ) وحد الخضوع ( $\sigma_T$ ) و متانة الصدم ( $a_H$ ) والاستطالة النسبية ( $\delta$ )

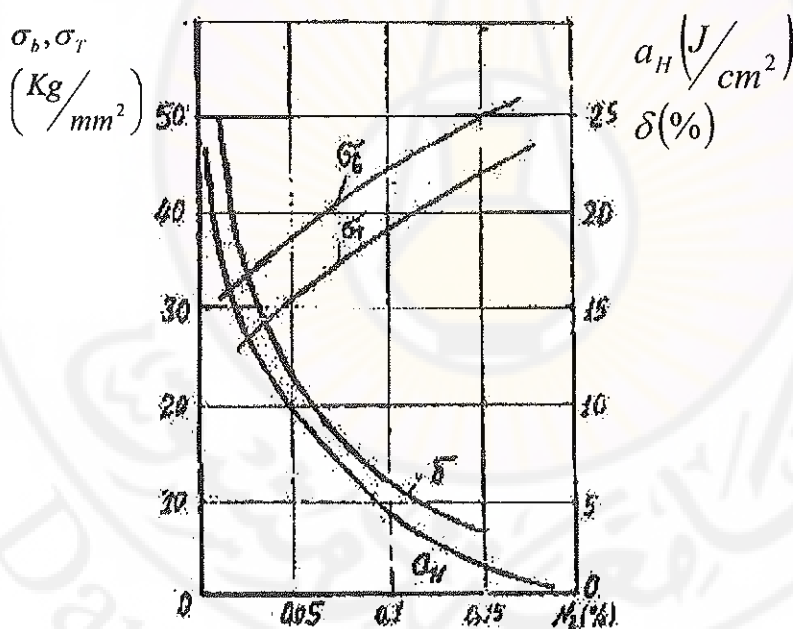


الشكل (7-7) تأثير الأكسجين في الخواص الميكانيكية للدرزة اللحامية

هذا بالإضافة إلى انخفاض قابلية معدن الدرزة للطرق ومقاومته للصدا، و تنخفض متانته في درجات الحرارة المرتفعة .

ثانياً : تأثير الآزوت:

يدخل الآزوت في مجال القوس الكهربائي من الهواء المحيط و تبعاً لدرجة حرارة هذا المجال فإن الآزوت يوجد فيه إما في الحالة الجزيئية أو الذرية أو الأيونية . و يذوب الآزوت في المعادن التي يمكن أن يتحد معها مشكلاً نتريدات هذه المعادن . ومن هذه المعادن : الحديد و المغنيز و الموليبيدوم و غيرها . فمثلاً يتحد الآزوت مع الحديد معطياً نتريدات الحديد (  $Fe_2N$  ،  $FeN$  ) . و يمكن للأزوت أن يذوب في الحديد من دون أن يشكل معه نتريدات . و يؤثر الآزوت في خواص الفولاذ ، فازدياد محتوى الآزوت فيه يؤدي إلى تغير خواصه الميكانيكية . كما يوضح الشكل (7-8) حيث ترتفع قيم كل من حدي المتانة و الخضوع و تنخفض متانة الصدم و الاستطالة النسبية .



الشكل (7-8) تأثير الآزوت في الخواص الميكانيكية للدرزة اللحامية

وللإقلال من محتوى الآزوت في معدن الدرزة اللحامية يفضل اتباع ما يأتي عند اللحام بالقوس الكهربائي .

- إبعاد الآزوت عن مجال القوس الكهربائي وذلك بإجراء عملية اللحام في وسط من الغازات الواقية .

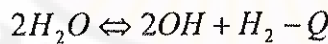
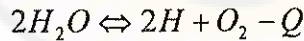
- أن يضاف إلى معدن الدرزة بعض العناصر التي عندها ميول كبيرة للاتحاد مع الآزوت (مثل المنغنيز و التيتانيوم) إذ تشكل هذه العناصر مع الآزوت المذاب في المعدن نتريدات تخرج من المعدن المنصهر إلى الخبث بسبب وزنها النوعي المنخفض نسبياً إذا ما قورن بالوزن النوعي للمعدن .

### ثالثاً : تأثير الهيدروجين :

بالإضافة إلى الآزوت و الأكسجين فإن معدن الدرزة اللحامية يمكن أن يمتص الهيدروجين أيضاً أثناء عملية اللحام .

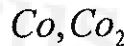
ويدخل الهيدروجين إلى منطقة القوس الكهربائي من مصادر مختلفة . إذ يمكن أن يكون مصدره رطوبة الهواء المحيط أو إذا تمت عملية اللحام بالكترودات رطبة أو استخدمت مساعدات صهر رطبة .

وتتحول الرطوبة إلى بخار ماء بتأثير حرارة القوس الكهربائي حيث يتفكك هذا البخار وفق المعادلات الآتية :



و يمكن أن يكون مصدر الهيدروجين من بعض العناصر الداخلية في تركيب أغلفة الإلكتروودات (مثل النشا و السيللوز) و غيرهم .

و يؤدي تفكك هذه العناصر في أثناء انصهار الإلكتروود إلى انطلاق الهيدروجين إضافة إلى غازات مثل :

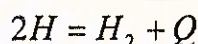


يوجد الهيدروجين في منطقة القوس الكهربائي إما في الحالة الجزيئية أو الذرية أو الأيونية و ذلك تبعاً لدرجة حرارة هذه المنطقة .

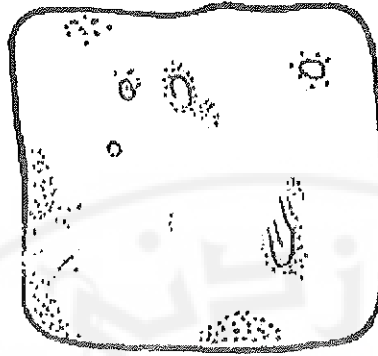
إن الميزة الأساسية لذرات و أيونات الهيدروجين تكمن في مقدرة هذه الذرات و الأيونات على النفاذية ، و بسهولة في الهياكل الشبكية للحديد و حتى عند درجة حرارة الغرفة وذلك لأن أقطار هذه الذرات أو الأيونات هو أقل بكثير من أبعاد الفراغات الكائنة بين الذرات في الهيكل الشبكي .

يختلف حجم الهيدروجين المذاب في الحديد باختلاف درجة حرارة الأخير حيث يبلغ الحد الأعظمي  $8\text{Cm}^3/100\text{g}$  عند درجة حرارة  $1530\text{C}^\circ$  وعند درجة حرارة الانصهار يرتفع إلى  $28\text{Cm}^3/100\text{g}$  و عند درجة حرارة  $2400\text{C}^\circ$  يصل إلى  $43\text{Cm}^3/100\text{g}$  .

يؤثر الهيدروجين كثيراً في خواص المعدن . فعندما يبدأ المعدن المنصهر بالتبلور فإن حوض الصهر سوف يحوي في الوقت نفسه معدن متجمد و منصهر ، و سوف تكون سرعة انتشار الهيدروجين أعظمية و يتوزع الهيدروجين بين البلورات المتشكلة و المعدن الذي لا يزال في حالة الانصهار . و بالتالي يكون المعدن المنصهر مشبعاً بالهيدروجين مما يؤدي إلى انفصاله و وفق التفاعل الآتي :



و بما أن الهيدروجين الجزيئي لا يذوب في المعدن فإن انفصاله عن المعدن المتبلور سوف يكون السبب الرئيسي في تشكل الفجوات في الدرزة للحامية الناتجة ، فالهيدروجين هو المسؤول في هذه الحالة عن تشكل الشقوق و تشكل فجوات تشبه عيون السمك و غير ذلك من العيوب الأخرى كما يوضح الشكل (7-9) .



الشكل (7-9) المظهر الخارجي للفجوات التي على شكل عيون السمك في مقطع الدرزة اللحامية

إن السبب في تشكل الشقوق الميكروية في معدن الدرزة اللحامية هو أن انفصال الهيدروجين من المعدن لا ينتهي بانتهاء تجمد هذا المعدن و حتى عند تبريده إلى درجة حرارة الغرفة ، إذ يتابع الهيدروجين انفصاله ، و يتجمع في الفجوات الميكروية الموجودة دائماً في المعدن الصلب ، و يشكل تجمعه ضغوط عالية تؤدي إلى تصدع المعدن .

يمكن أن يؤثر الهيدروجين في معدن الأساس و بسبب ظهور تشقق فيه. فلقد أثبتت التجارب أن نفاذية الهيدروجين في المعدن الصلب خاصة من الأجزاء ذات درجات الحرارة المرتفعة إلى الأجزاء الباردة، يؤدي هذا إلى انخفاض لدونة المعدن ، و يتجمع الهيدروجين على شكل جزيئات في الأماكن الفارغة من هذا المعدن مسبباً وجود إجهادات عالية تفوق حد متانة المعدن خاصة في مناطق التأثير الحراري ، و يؤدي هذا كله إلى ظهور شقوق في منطقة التأثير الحراري و بالقرب من الدرزة اللحامية .

وللإقلال من محتوى الهيدروجين في معدن الدرزة اللحامية يمكن إتباع ما يأتي:

1 - استخدام إلكترودات لحام ذات غلاف سميك مجففة في أفران خاصة .



- 2- تنظيف حواف القطع المراد لحامها من الصدأ أو الرطوبة و الدهون و أوساخ أخرى .
- 3- استخدام التسخين المسبق للقطع الفولاذية المراد لحامها و ذلك حسب خواص هذه القطع .



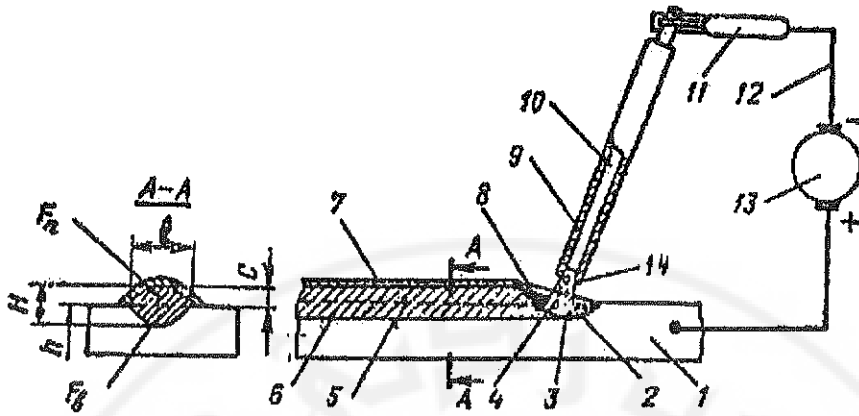


# **الفصل الثامن**

## **تصنيف أساليب اللحام**

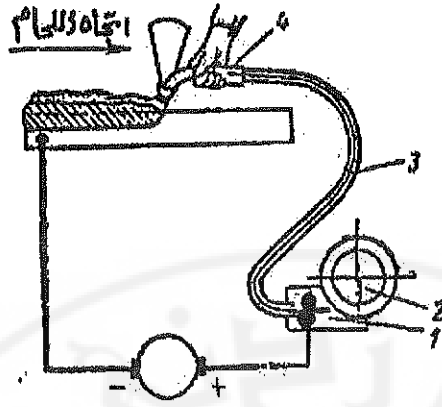
### **بالقوس الكهربائي**

- 1-التصنيف وفقاً لمستوى المكننة و الأتمتة .
- 2-التصنيف وفقاً لنوع التيار وقطبية .
- 3-التصنيف وفقاً لنوع القوس المشتعل و خواص الإلكتروود .
- 4-التصنيف وفقاً لنوع الحماية المستخدمة لمنطقة اللحام.
- 5-التصنيف وفقاً لظروف تتبع اشتعال القوس .



الشكل (8-1) : اللحام اليدوي بالكتروود مغلف.

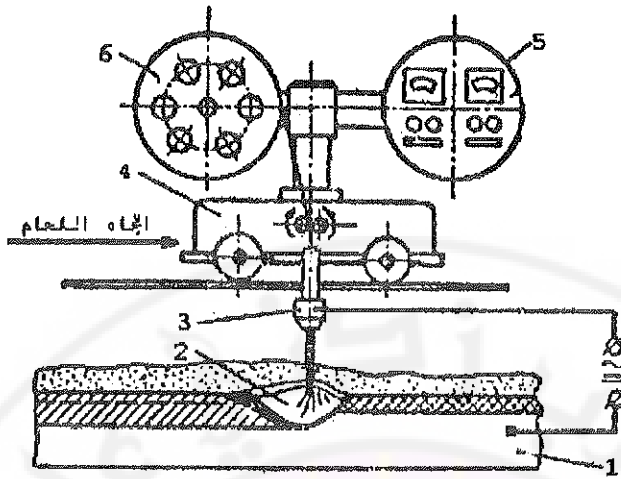
- 1- معدن الأساس. 2- حوض اللحام. 3- فوهة. 4- قوس اللحام.
  - 5- المعدن المضاف من الإلكتروود.
  - 6- معدن الأساس المشارك في بنية الدرزة اللحامية.
  - 7- القشرة الخبثة المتجمدة. 8- الخبث المنصهر.
  - 9- غلاف الإلكتروود.
  - 10- قضيب الإلكتروود المعدني.
  - 11- ماسك الإلكتروود.
  - 12- دائرة اللحام الكهربائية. 13- مصدر التيار الكهربائي.
  - 14- نهاية الإلكتروود السفلي.
  - h - عمق الصهر. C - ارتفاع ندبة الدرزة اللحامية. H - ارتفاع الدرزة الكلية. e - عرض الدرزة.  $F_n$  - المقطع العرضي للمعدن المضاف.
  - $F_b$  - المقطع العرضي لمعدن الأساس المشارك في بنية الدرزة.
- و عند اللحام نصف الآلي بالإلكتروود مستهلك (انظر الشكل 8-2) فإن تغذية حوض اللحام بالسلك المعدني تتم آلياً، أما باقي العمليات فتتم يدوياً من قبل عامل اللحام .



الشكل (2-8): اللحام نصف الآلي.

- 1- ميكانيزم التغذية بالسلك المعدني . 2- بكره لف عليها السلك المعدني .
- 3- خرطوم مرن . 4- ماسك السلك

و عند اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس فإن العمليات كافة (قدح القوس - المحافظة على طول معين له - حركة القوس و فق الخط المرسوم) تتم آلياً بدون عامل اللحام (انظر الشكل 3-8). ولكن يجب أن ننوه هنا إلى أن اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس يتم عادة باستخدام إلكترونيات مستهلكة و التي هي أسلاك معدنية من المعدن نفسه المراد لحامه و يتراوح قطرها من (1 ÷ 6 مم) و ذلك طبقاً لسماكة المعدن، و لهذا الأمر يعيّن نظام اللحام مسبقاً وقبل البدء بعملية اللحام و يجب أن تكون عناصره (شدة التيار - توتر القوس - سرعة اللحام - و عناصر أخرى) ثابتة أثناء إجراء اللحام مما يساعد على الحصول على درزة لحامية متجانسة الأبعاد على كامل طولها. و يتطلب هذا أيضاً توخي الدقة في إعداد القطع المراد لحامها بهذه الطريقة و جمعها بشكل سليم و تثبيتاً محكماً قبل البدء بعملية اللحام .



الشكل (3-8): اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلاكس

- 1- معدن الأساس. 2- حوض اللحام. 3- ماسك السلك المعدني.
- 4- عربة متحركة. 5- لوحة التحكم الآلي. 6- آلية تغذية السلك المعدني

## 2-8- التصنيف حسب نوع التيار و قطبيته:

يمكن أن تتم تغذية القوس الكهربائي بتيار مستمر ذي قطبية مباشرة (أي أن الإلكتروود موصول مع القطب السالب لمصدر التيار) أو بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة (أي أن الإلكتروود موصول مع القطب الموجب لمصدر التيار) أو أن تتم التغذية بتيار متناوب. و يتم استخدام هذا النوع من التيار ذلك طبقاً لنوعية المعدن المراد لحامه ولأسلوب اللحام المستخدم، فاللحام اليدوي مثلاً يمكن أن يُجرى وفق أي واحدٍ من الأنواع الثلاثة آنفة الذكر، ويتعلق الأمر هنا بنوع المعدن للحام ، أما اللحام بالقوس المغمور بالفلاكس أو في وسطٍ من الغازات الواقية فيتم وفق القطبية المعكوسة وذلك لاعتبارات تكنولوجية لا مجال للحديث عنها الآن.

## 2-8-3- التصنيف حسب نوع القوس المشتعل:

يتم التصنيف هنا إلى نوعين من الأقواس، وهما:

أ- قوس ذو تأثير مباشر: وهو القوس الذي يشتعل بين الإلكترود و معدن الأساس، و يعد معدن الأساس في هذه الحالة جزءاً من الدارة الكهربائية، وتكون الحرارة المستخدمة في اللحام هي الحرارة المتولدة في عمود القوس وفي منطقتي المصعد و المهبط.

ب- قوس ذو تأثير غير مباشر: وهو القوس الذي يشتعل بين الإلكترودين. و لا يعد معدن الأساس في هذه الحالة كجزء من الدارة الكهربائية، و يتم صهر هذا المعدن من الحرارة المنطلقة من غازات عمود القوس. و يجب أن ننوه هنا إلى أن التيار المستخدم في هذا الأسلوب من اللحام هو تيار متناوب، و لا يلقي هذا الأسلوب استخداماً واسع النطاق نظراً لأن مردوده ضعيف إذا ما قورن بأسلوب القوس ذي التأثير المباشر.

#### 4-8- التصنيف حسب خواص الإلكترود:

يمكن أن تجرى عمليات اللحام بأحد أسلوبين:

أ- باستخدام إلكترود لا ينصهر: و يتم اللحام هنا باستعمال إلكترود فحمي أو غرافيتي أو إلكترود مصنوع من معدن التنجستين. و يمكن استعمال سلك المعدن المضاف ( معدن الملاء ) في بعض حالات اللحام. و يتم اللحام في وسط من الغازات الواقية أو من دون ذلك.

ب- باستخدام إلكترود ينصهر: و هذا الأسلوب شائع الاستخدام. و يشتعل القوس في هذه الحالة بين معدن الأساس و الإلكترود المعدني الذي ينصهر بالتدريج و تتساقط قطراته المنصهرة في منطقة اللحام و لتشكل بعد تجمدها ما يسمى المعدن المضاف في الدرزة اللحامية. و يتم اللحام بالإلكترود واحد أو عدة إلكترودات، فإذا تم وصل إلكترودين معاً إلى قطب موجب واحد لمصدر التيار نفسه سُمي أسلوب اللحام بالإلكترودين، و إذا وصلت عدة

إلكترونيات إلى القطب نفسه سمي أسلوب الحام بعدة إلكترونيات. أما إذا كانت تغذية كل الكتروود تتم من مصدر تيار مستقل فإن أسلوب ثنائي الأقطاس أو متعدد الأقطاس و ذلك حسب عدد الإلكترونيات المستخدمة. و يجب أن ننوه هنا إلى أن مردود القوس الكهربائي في هذه الحالة يتراوح بين  $(0,9 \div 0,7)$ . و يقصد بمردود القوس: نسبة طاقة القوس الحرارية المستفاد منها في التسخين و الصهر إلى الطاقة الحرارية الكلية التي يعطيها هذا القوس.

#### 5-8- التصنيف حسب نوع الحماية المستخدمة لمنطقة اللحام:

يتم التصنيف هنا إلى مجموعة كبيرة من أساليب اللحام، فمثلاً يمكن أن يتم اللحام بدون حماية لمنطقة اللحام كأن يتم بالكتروود عارٍ أو بالكتروود مغلف رقيق، أو أن يتم اللحام باستخدام حماية لمنطقة اللحام كأن تكون هذه الحماية من الخبث و ذلك باستخدام إلكتروود ذات غلاف سميكة أو باستخدام طبقة من الفلاكس تقي المعدن المنصهر من التفاعل مع الوسط أثناء اللحام، أو أن تستخدم حماية من الخبث و الغاز في آن واحد، أو أن يتم اللحام بإلكتروودات عارية في وسط من الغازات الواقية (هليوماً، أرغوناً، أزوتاً أو مزيجاً من هذه الغازات)، أو أن تستخدم حماية مركبة كأن يتم اللحام بإلكتروودات مغلفة و في وسطك من الغازات الواقية.

نود أن ننوه هنا إلى أن أغلفة الإلكتروودات تتألف بصفة عامة من مزيج لمساحيق مختلفة (معادن و لا معادن)، و يتم خلطه ميكانيكياً و تغلف به القضبان المعدنية المعدة للحام بطرق كثيرة لا مجال لذكرها هنا. و فائدة هذه العناصر المختلفة كثيرة نذكر منها:

1- يحترق جزء من هذه العناصر مطلقاً غازات تقي منطقة الصهر من التفاعل مع الوسط المحيط.



2- ينصهر جزء من هذه العناصر مشكلاً خبثاً يطفو على سطح منطقة الصهر و يقيها ايضاً.

3- يدخل بعض من هذه العناصر في تركيب الدرزة للحامية كعناصر خلط.

4- تحافظ هذه العناصر على اشتعال القوس على نحو مستقر، إذ تزيد الغازات المنطقة من احتراق بعض هذه العناصر من خاصية التأين عند القوس مما يساعد على اشتعاله على نحو مستقر.

## 6-8- التصنيف حسب ظروف تتبع اشتعال القوس:

يمكن حسب الظروف التي تسمح أو لا تسمح بمراقبة اشتعال القوس أن نميز ثلاثة أساليب مختلفة للحام بالقوس الكهربائي، و هي:  
الحام بالقوس المفتوح — الحام بالقوس المحجوب — الحام بالقوس نصف المحجوب (أو نصف المفتوح).

فالحام بالقوس المفتوح يعني أن الظروف التي تتم بها عملية اللحام تسمح بمراقبة اشتعال القوس و ذلك باستخدام الزجاج الواقي الذي يستعمل عادةً في ورشات اللحام العادية، و يستخدم اللحام بالقوس المفتوح في الكثير من الأحيان نذكر منها: اللحام بالكثودات معدنية أو فحمية وفي وسط من الغازات الواقية أو بدونها.

أما اللحام بالقوس المحجب فيعني أن عملية اللحام تتم دون توافر إمكان لمراقبة اشتعال القوس، و ذلك لأن القوس في هذه الحالة تشتعل و هي مغطاة كما في حال اللحام الآلي و نصف الآلي بالقوس المغمورة بطبقة الفلاكس.

أما اللحام بالقوس نصف المحجب فيعني أن جزءاً من القوس يشتعل تحت طبقة من الفلاكس، بينما يشتعل الجزء الآخر فوق هذه الطبقة. و يعد هذا

الأسلوب نادر الاستعمال، إذ يستخدم فقط في الوقت الحاضر في حال لحام  
الألمنيوم الآلي بالقوس المغمورة بالفلاكس.



## **الفصل التاسع**

### **حساب أنظمة اللحام و أبعاد الدرزة**

#### **اللاحامية عند اللحام بالقوس**

#### **الكهربائي اليدوي**

#### **والقوس المحكم آلياً**

- 1- حساب أنظمة اللحام و أبعاد الدرزة اللحامية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي
- 2- حساب أنظمة اللحام المحكم آلياً لأنواع مختلفة من الوصلات.
- 3- حساب أبعاد الدرزة اللحامية في حالة اللحام المحكم آلياً.
- 4- التقييم الحسابي للخواص الميكانيكية المتوقعة للدرزة اللحامية.



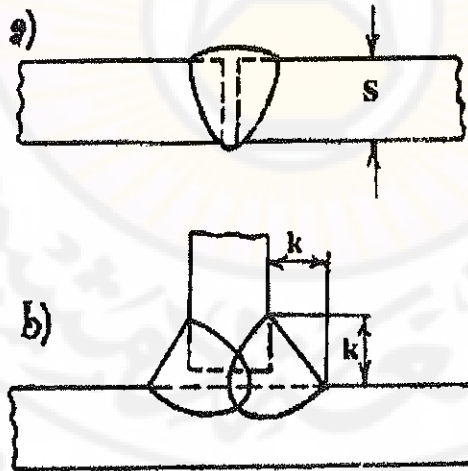
## حساب أنظمة اللحام و أبعاد الدرزة اللحامية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي و القوس المحكّم آلياً

### 9-1- حساب أنظمة اللحام و أبعاد الدرزة اللحامية عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي:

يتألف نظام اللحام في حالة بالقوس الكهربائي اليدوي من العناصر الآتية: قطر الإلكترود — شدة التيار الكهربائي — توتر القوس الكهربائي — مساحة مقطع معدن الدرزة المضاف و الناتج بمسار لحام واحد للقوس الكهربائي — نوع التيار و قطبيته — الطاقة الطولية .... الخ .

#### 1- اختيار قطر الإلكترود:

يتم عادة اختيار قطر الإلكترود تبعاً لنوع الوصلة المراد لحامها وتبعاً لسماكة هذه الوصلة (S) و ذلك في حالة اللحام التناكبي، أو تبعاً للبعد (K) و ذلك في حالة اللحام الزاوي (أنظر الشكل a.b 9-1) — و يعد البعد (K) طول ضلع الدرزة الزاوية.



الشكل (9-1): وصلة تناكبية و أخرى زاوية

و يبين الجدول (9-1) التوصيات العملية المتبعة عادة لاختيار قطر الإلكترود و ذلك في كل من حالتي اللحام : التناكبي - الزاوي.

جدول (9-1): توصيات عملية لاختيار قطر الإلكترود

| سمكة القطعة عند اللحام التناكبي (S,mm) | 1,5 ÷ 2,0 | 3 | 4 ÷ 8 | 9 ÷ 12 | 13 ÷ 15 | 16 ÷ 20 | >20    |
|----------------------------------------|-----------|---|-------|--------|---------|---------|--------|
| قطر الإلكترود (d,mm)                   | 1,6 ÷ 2,0 | 3 | 4     | 4 ÷ 5  | 5       | 5 ÷ 6   | 6 ÷ 10 |
| طول ضلع الدرزة الزاوية (K,mm)          | 3         |   |       | 4 ÷ 5  |         | 6 ÷ 9   |        |
| قطر الإلكترود (d,mm)                   | 2         |   |       | 4      |         | 5       |        |

و نود هنا أن ننوه إلى أنه عند اللحام التناكبي لحواف مشنفرة و بعدة مسارات فإن عملية لحام الدرزة الأولى تتم بالإلكترودات لا يتجاوز قطرها (5mm). و ذلك لأن استخدام إلكترودات ذات قطر أكبر لا يحقق صهر جذر الدرزة اللحامية، و السبب عدم إمكان إدخال رأس الإلكترود ذي القطر الكبير إلى عمق الزاوية بين الحواف المشنفرة بشكل كامل.

عند اللحام الزاوي بمسار واحد فإنه يمكن الحصول على درزات لحامية لا تتجاوز قيمة (K) فيها (8 ÷ 9 mm)، فعند ضرورة تحقيق درزات لحامية زاوية بـ (K) أكثر من ذلك تجرى عملية اللحام بمسارين أو أكثر.

## 2- حساب شدة التيار:

تتعلق شدة تيار اللحام بقطر الإلكترود و كثافة التيار المسموح بها، و تحدد عادةً بالعلاقة الآتية:

$$I = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot J \quad (9-1)$$

حيث: d - قطر الإلكترود (mm).

J - كثافة التيار المسموح بها ( $A/mm^2$ ).

ويبين الجدول (9-2) قيم  $I$  المسموح بها عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي .

الجدول (9-2) قيم  $I$  المسموح بها عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي

| نوع التغطية    | كثافة التيار المسموح بها $(A/mm^2)$ في الإلكترود ولا قطار<br>مختلفة (mm) |           |           |            |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|
|                | 3                                                                        | 4         | 5         | 6          |
| حامضية         | 14 ÷ 20                                                                  | 11.5 ÷ 16 | 10 ÷ 13.5 | 9.5 ÷ 12.5 |
| أساسية (قلوية) | 13 ÷ 18.5                                                                | 10 ÷ 14.5 | 9 ÷ 12.5  | 8.5 ÷ 12.0 |

يمكن في بعض الحالات استخدام أي من المعادلات التجريبية لحساب شدة التيار الكهربائي في قوس اللحام :

$$I = k' d \quad (9.2)$$

$$I = k_1 \cdot d^{1.5} \quad (9.3)$$

$$I = d(k_2 + \alpha \cdot d) \quad (9.4)$$

حيث:

$\alpha, k_2, k_1$  - عوامل عينت قيمها تجريبيا كالتالي :

$$k_1 = 20 \div 25 ; \quad k_2 = 20 ; \quad \alpha = 6$$

ومن السهل تعيين شدة التيار وفق المعادلة (9-2) حيث يؤخذ قيمة  $k'$  من الجدول الآتي وتبعاً لقطر الإلكترود المستخدم :

جدول (9-3): قيم  $k'$  تبعاً لقطر الإلكترود المستعمل في اللحام اليدوي

| قطر (d, mm)<br>الإلكترود | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $k'$                     | 25 ÷ 30 | 30 ÷ 45 | 35 ÷ 50 | 50 ÷ 55 | 45 ÷ 60 |

### 3-اختيار توتر القوس:

يتغير توتر القوس عند اللحام بالقوس الكهربائي في حدود ضيقة نسبياً، فإذا عرفنا أن شدة التيار عند اللحام اليدوي تراوح بين (70÷380A)، فإن توتر القوس يراوح بين (20÷36V)، ولهذا من السهل تحديد قيمة توتر القوس إذا علمنا شدة التيار، ويجب أن ننوه إلى أنه في بعض الأحيان وعند إعداد تقانة اللحام فإنه يتم اختيار توتر القوس على أساس المواصفات التي في النشرة الفنية للالكترود المستخدم في عملية اللحام.

### 4- حساب مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف:

يتم إيجاد مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة اللحامية المضاف عند اللحام التناكبي، وبعد كل مسار لحام وفق المعادلتين الآتيتين:

- بعد المسار الأول (أي عندما يتم صهر جذر الدرزة اللحامية):

$$F_1 = (6 + 8) d \quad (9.5)$$

- بعد كل مسار من المسارات الأخرى:

$$F_n = (8 + 12) d \quad (9.6)$$

أما في حالة اللحام الزاوي فإن مساحة المقطع العرضي للمعدن المضاف و الناتج بمسار واحد أو مسارات عدة تحسب من العلاقة الآتية:

$$F = K_y \cdot \frac{K^2}{2} \quad (9.7)$$

حيث:  $K_y$  - عامل الزيادة، ويتعلق بمقدار الخوص بين حافتي الوصلة الزاوية وبمقدار تحدب الدرزة اللحامية (أي بمقدار تقوية الدرزة اللحامية).  
وتؤخذ قيمة عامل الزيادة ( $K_y$ ) من الجدول التالي:



جدول (9-4): علاقة قيم معامل الزيادة ( $K_r$ )

بطول ضلع الدرزة الزاوية (K)

| K,mm  | 3 ÷ 4 | 5 ÷ 6 | 10 ÷ 12 | 12 ÷ 20 | 20 ÷ 30 | 30   |
|-------|-------|-------|---------|---------|---------|------|
| $K_r$ | 1,5   | 1,35  | 1,25    | 1,15    | 1,10    | 1,05 |

ويجب أن ننوه إلى أن مساحة مقطع الدرزة المضافة على سطح قطعة معدنية (وعلى شكل ندبة لحام) تحسب وفق العلاقة (9,6). ويتم أيضا استخدام العلاقة نفسها عند لحام قطعتين من دون شفرة حواف.

##### 5- حساب قيمة الطاقة الطولية :

من الضرورة في أغلب الأحيان استنتاج قيمة الانفعالات الناتجة في الوصلة اللحامية عن عملية اللحام ، وكذلك معرفة عمق تغلغل الصهر بشكل تقريبي . ويتطلب معرفة هذا أو ذاك حساب قيمة الطاقة الطولية (أي معرفة مقدار التأثير الحراري في معدن الوصلة )، والطاقة الطولية هي نسبة استطاعة القوس الكهربائي (q) الى سرعة اللحام (V)، أي أن :

$$q_n = \frac{q}{V} = \frac{0,24 \cdot I \cdot U \cdot \eta}{V} [cal / cm] \quad (9.8)$$

حيث: U- توتر القوس ، I - شدة التيار .

$\eta$  - مردود القوس الكهربائي اليدوي ، وتراوح قيمته بين (0,7÷0,9)

ويمكن لسرعة اللحام (V) أن تعين وفق العلاقات الآتية :

$$V = \frac{\alpha_m \cdot I}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n} [Cm / sec] \quad (9.9)$$

حيث:  $\alpha_m$  - معامل صهر معدن الإلكترود  $\left[ \frac{g}{A.h} \right]$

$$\gamma - \text{الوزن النوعي لمعدن الإلكترود} \left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

$F_n$  - مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف بعد كل مسار من مسارات اللحام ( $cm^2$ ) .

يمكن لسرعة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي أن تفرض عادة، وأن تختبر على نحو غير مباشر ، وذلك حسب أبعاد الدرزة اللحامية المراد الحصول عليها . لهذا وبمعرفة نظام اللحام يمكن حساب الطاقة الطولية ( $q_n$ ) بالعلاقة (9,8) . أما إذا أدخلنا في المعادلة (9,8) قيمة ( $V$ ) من العلاقة (9,9) فإننا نحصل على:

$$q_n = \frac{0.24 \cdot I \cdot u \cdot \eta \cdot 3600 \cdot \gamma}{\alpha_m \cdot I} \cdot F_n$$

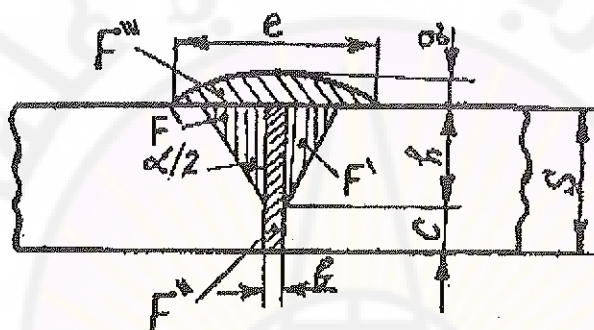
$$q_n = 0.24 \cdot 3600 \cdot \eta \cdot \gamma \cdot \frac{U}{\alpha_m} \cdot F_n \quad (9.10)$$

إن نسبة:  $\frac{U}{\alpha_m}$  في المعادلة (9,10) تتغير في حدود ضيقة نسبياً ولو أن هناك فرقاً واضحاً في قيم عوامل الانصهار ( $\alpha_m$ ) للالكترودات من أنواع مختلفة، لهذا فإن قيمة الطاقة الطولية ( $q_n$ ) تتناسب طردياً مع مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف، وتصبح العلاقة (9,10) محددة بقيمة الثابت ( $A$ ) مضروباً بمساحة المقطع ، ففي لحام الفولاذ، وباستخدام أنواع مختلفة من الالكترودات، تكون قيمة ( $A$ ) مساوية (14500) لهذا تصبح العلاقة (9,10) على الشكل الآتي ( بالنسبة للحام الفولاذ فقط):

$$q_n = 14500 \cdot F_n \quad (9.11)$$

6- حساب عدد المسارات :

تحدد عدد مسارات اللحم بصفة عامة عند لحام حواف مشنفرة . فمثلا عند اللحام التناكبي وبوجود حواف مشنفرة (ولنفرض أن شنفرة الحواف تمت على شكل V- أنظر الشكل 9,2)، فإن من الضروري حساب المساحة الكلية للمقطع العرضي (أي المساحة التي تملأ أثناء اللحام بمعدن الإلكترود - أي المعدن المضاف):



الشكل (2-9): أيجاد المساحة الكلية للمقطع العرضي لمعدن الدرزة المضافة

$$F = 2F' + F'' + F''' \quad (9.12)$$

$$F = h^2 .tg \frac{\alpha}{2} + b.s + \frac{2}{3} g(2h.tg \frac{\alpha}{2} + b + 6) \quad (9.13)$$

وبمعرفة المساحة الكلية للمقطع العرضي لمعدن الدرزة للحامية المضافة من العلاقة (9.13) ومساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضافة بعد المسار الأول وبعد كل مسار من المسارات الأخرى من العلاقة (9.5 و 9.6) يمكننا أن نوجد عدد مسارات اللحم من العلاقة الآتية :

$$n = \frac{F - F_1}{F_n} + 1 \quad (9.14)$$

## 7- حساب أبعاد الدرزة اللحامية :

إن أبعاد الدرزة اللحامية هي : عرض الدرزة (e) و ارتفاع الندبة (g) وعمق تغلغل الصهر (r)، ففي حالة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي فإن هذه الأبعاد الثلاثة تحدد طبقاً لأبعاد الحواف المشنفرة للوصلات المعدة للحام، ولهذا فإنه ليس هناك من ضرورة لتعيين هذه الأبعاد وبخاصة عمق تغلغل الصهر (r) إلا عند لحام الحواف غير المشنفرة أو عند وضع ندبة لحام على سطح قطعة معدنية، ذلك لأن إيجاد عمق الصهر في هاتين الحالتين وبدقة مفيد للأهداف العملية .

ويتم تعيين عمق الصهر بالشكل الآتي :

- إن درجة الحرارة العظمى على بعد (r) من نقطة تأثير قوس اللحام تحسب بالعلاقة :

$$T_{\max} = \frac{2q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot r^2} \quad (9.15)$$

حيث: e- أساس اللوغاريتم الطبيعي : (e=2.714.....).

$$\left[ \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

c- الحرارة النوعية لمعدن الأساس :

$$\left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$$

γ- الوزن النوعي لمعدن الأساس :

- من العلاقة (9.15) نجد أن :

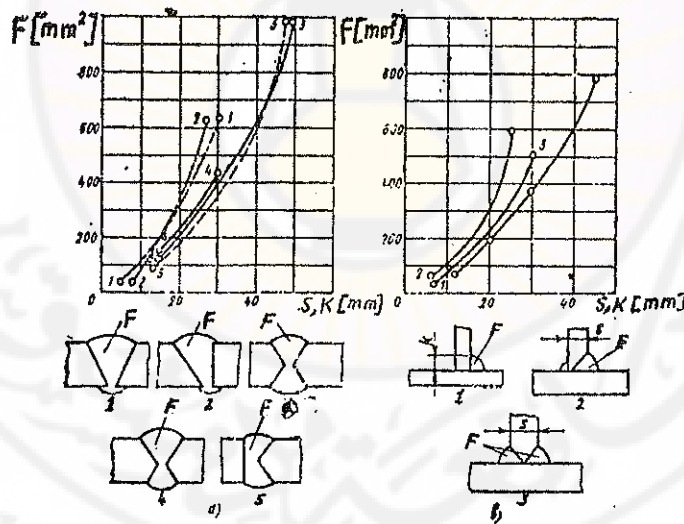
$$r = \sqrt{\frac{2q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot T_{\max}}} \quad (9.16)$$

ففي حالة لحام الفولاذ الكربوني أو السبائكي قليل نسب الخلط فإن قيم الثوابت في العلاقة (9.16) تكون متساوية تقريبا عند هذه الأنواع من الفولاذ ، ولهذا باستبدال بهذه الثوابت قيمتها العددية يمكننا أن نجد المسافة (r) من نقطة تأثير القوس وحتى خطوط الأيزوتيرم التي درجة حرارتها  $(1500^{\circ}\text{C})$ :

$$r = 0.0112 \sqrt{q_n} \quad (9.17)$$

بما أن الشروط الحقيقية لانتشار الحرارة في القطعة عند اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي تختلف عن المخطط الحسابي النظري الذي نتج منه استخراج العلاقة (9.15) فإن عمق الصهر الحقيقي (H) يؤخذ عادة مساويا:  $(0.5 \div 0.7)r$ .

بهدف تسهيل الحسابات تستخدم المنحنيات البيانية (النوموغرامات) المستنتجة على أساس نظري أو عملي .



الشكل ( ٧ - ٢ )

الشكل (9-3) : منحنيات لإيجاد المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف .

$$q_n = A \cdot F_n = 14500 \cdot 0.4 = 5800 \quad \text{cal / cm}$$

ويمكن في هذه الحالة أن نحسب القيمة الوسطى وتساوي :

$$q_n = 5600 \quad \text{cal / cm}$$

6- نوجد عمق تغلغل الصهر على الشكل التالي :

أ- نحسب المسافة  $r$  من نقطة تأثير القوس وحتى خطوط أيزوتيرم الصهر بالعلاقة (9,17):

$$r = 0.0112 \sqrt{q_n} = 0.0112 \sqrt{5600} = 0.84 \text{ cm} = 8.4 \text{ mm}$$

ب- نوجد عمق الصهر الحقيقي (H) من العلاقة :

$$H = (0.5 \div 0.7)r = 0.6 \cdot 8.4 = 5 \text{ mm}$$

ومنه نلاحظ أن تغلغل الصهر بهذا الشكل ومن كل وجه من الوجهين كافيا لصهر كامل المقطع .

## 2-9- حساب أنظمة اللحام المحكم أليا:

إن العناصر الأساسية في نظام اللحام المحكم أليا (سواء أكان نصف ألي أم أليا كاملا، وسواء أكانت عملية اللحام تتم بالقوس المغمور بالفلاكس أم في وسط من الغازات الواقية) هي : شدة التيار الكهربائي ، كثافة التيار الكهربائي في سلك اللحام ، قطر سلك اللحام ، توتر القوس ، سرعة اللحام ، سرعة سحب سلك اللحام ، نوع التيار وقطبيته ، الطاقة الطولية ..... الخ، ولهذه العناصر تأثير كبير في أبعاد الدرزة اللحامية الناتجة وشكلها . ولهذا يجب عند تعيين عناصر نظام اللحام الأساسية الأخذ بالحسبان أن هذه العناصر سوف توفر الحصول على درزات لحامية معروفة الأبعاد والشكل مسبقا وذات نوعية جيدة .

ولنورد فيما يلي كيف يتم إيجاد عناصر نظام اللحام وذلك عند لحام قطعتين تتاكبيا ومن الوجهين و دون شنفرة الحواف . ففي هذه الحالة يكون تدرج حساب نظام اللحام كالآتي :

1- **إيجاد عمق الصهر:** أن عمق الصهر في هذه الحالة يحسب من العلاقة الآتية:

$$H_1 = S / 2 + (2 \div 3)mm \quad (9.18)$$

وهذا هو عمق الصهر من وجه واحد ، ونلاحظ من المعادلة أنه يزيد على نصف سماكة القطعة بنحو (2÷3mm) ذلك كي لا يوجد خلوص بين جذري الدرزتين اللحاميتين مما يشكل عيبا كبيرا في الوصلة اللحامية الناتجة .

2- **اختيار شدة التيار الكهربائي :** يتم اختيار شدة التيار التي توفر عمق الصهر المحسوب بالعلاقة :

$$I = \frac{H_1}{K_h} . 100 \quad (9.19)$$

حيث:  $K_h$  - عامل التناسب . وتتعلق قيمته بالشروط التي يتم وفقها إنتاج الوصلة اللحامية (نوع التيار وقطبيته ، قطر سلك اللحام ، نوع الوسط المحيط بالقوس الكهربائي) - انظر الجدول الآتي :

الجدول (9-5): علاقة عامل التناسب ( $K_h$ )

بشروط إنتاج الوصلة اللحامية بالقوس المحكم أليا

| نوع الوسط المحيط<br>بالقوس الكهربائي أثناء<br>عملية اللحام | قطر سلك<br>اللحام<br>(mm) | $K_h(mm/100A)$ |              |              |
|------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------|--------------|--------------|
|                                                            |                           | تيار متناوب    | تيار مستمر   |              |
|                                                            |                           |                | قطبية مباشرة | قطبية معكوسة |
| فلنكس (مؤكسد شديد)                                         | 2                         | 1.25 ÷ 1.30    | 1.15         | 1.40 ÷ 1.45  |
|                                                            | 3                         | 1.10 ÷ 1.15    | 0.95         | 1.25 ÷ 1.30  |
|                                                            | 4                         | 1.00 ÷ 1.05    | 0.85 ÷ 0.90  | 1.10 ÷ 1.15  |
|                                                            | 5                         | 0.90 ÷ 0.95    | 0.75 ÷ 0.85  | 1.05 ÷ 1.10  |
|                                                            | 6                         |                |              |              |
| غاز ثاني أكسيد الكربون<br>( $CO_2$ )                       | 1.2                       | -              | -            | 2,10         |
|                                                            | 1,6                       | -              | -            | 1,75         |
|                                                            | 2,0                       | -              | -            | 1,55         |
|                                                            | 3,0                       | -              | -            | 1,45         |
|                                                            | 4,0                       | -              | -            | 2,1          |
|                                                            | 5,0                       | -              | -            | 1,20         |
|                                                            |                           |                |              |              |

3- اختبار قطر سلك اللحام : يتحدد قطر سلك اللحام بالعلاقة التالية :

$$d = 1.13 \sqrt{I/J} \quad (9.20)$$

حيث: J- كثافة التيار المسموح بها.

وتتعلق كثافة التيار بقطر سلك اللحام في حالة اللحام المحكم أليا للوصلات التناكبية غير المشددة ، ويبين الجدول الآتي هذه العلاقة :

جدول (9-6): علاقة كثافة التيار بقطر سلك اللحام في حالة اللحام المحكم أليا

| $j(A/mm)^2$ كثافة التيار | d(mm) قطر سلك اللحام |
|--------------------------|----------------------|
| 200÷5                    | 2                    |
| 90÷45                    | 3                    |
| 60÷35                    | 4                    |
| 50÷30                    | 5                    |
| 45÷25                    | 6                    |

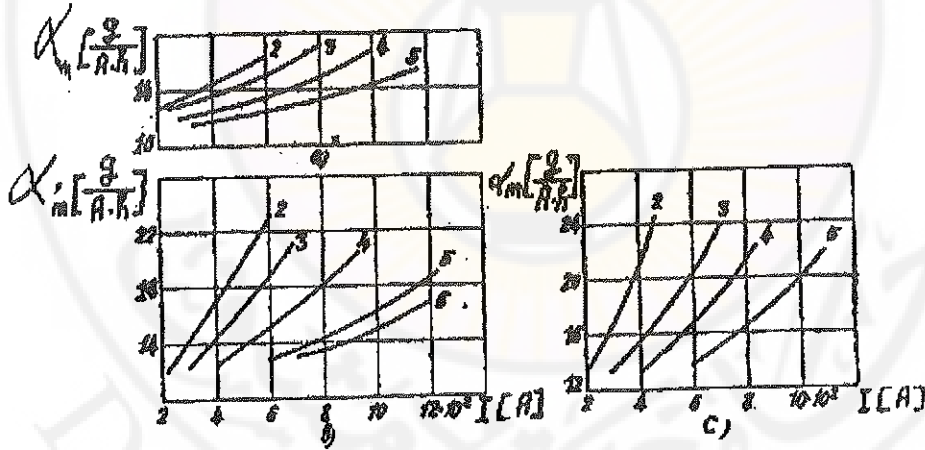


ولهذا يتم في بداية الأمر تحديد قطر سلك اللحام بشكل تقريبي من حيث اختبار صحة الاختيار بالعلاقة (9,20).

4- توتر القوس الكهربائي : بعد معرفة شدة التيار وقطر سلك اللحام يتم تعيين توتر القوس بالعلاقة الآتية :

$$U = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{d^{0.5}} \cdot I \pm 1 \quad (9.21)$$

5- سرعة اللحام : تتعين سرعة اللحام بالعلاقة نفسها التي استخدمت عند تعيين سرعة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي العلاقة (9,9)، إلا أن معامل صهر معدن سلك اللحام ( $\alpha_m$ ) يختلف من حيث القيمة ، إذ يتعين هذا العامل هنا من المخططات التجريبية الآتية ، وذلك حسب شدة التيار ونوع و قطر سلك اللحام المستخدم (انظر الشكل 9-5).



الشكل (9-5) علاقة معامل صهر معدن سلك اللحام بنظام اللحام المستخدم (شدة التيار وقطر السلك).

(a) تيار مستمر ذو قطبية معكوسة (b) تيار متناوب  
(c) تيار مستمر ذو قطبية مباشرة.

(الأرقام 6÷2 تدل على أقطار سلك اللحام).

أما تعيين مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف (F) والتي تدخل في مخرج العلاقة (9.9) فسوف نتحدث عنه فيما بعد.

ونسود أن ننوه هنا إلى أنه يمكن استخدام علاقات تجريبية أخرى لتعين سرعة اللحام المحكم أليا. وإحدى العلاقات مبينة على أساس أنه للحفاظ على الشكل الهندسي لحصول اللحام من الضروري أن يبقى معامل شكل الحوض ثابتا ، ويعطي معامل الشكل هذا بالعلاقة الآتية :

$$\varphi = \frac{L}{e} = const \quad (9,22)$$

حيث: L- طول حوض اللحام ، e- عرض حوض اللحام.

ولقد تبين من خلال تجارب كثيرة أجراها الباحثون في هذا المجال أنه للحفاظ على الشكل الهندسي لحوض اللحام فإن جداء شدة التيار بسرعة اللحام يجب أن يكون ثابتا وواقعا ضمن حدود معينة ، أي أن :

$$I.V=A \quad (9.23)$$

ولهذا وعند اختيار سرعة اللحام المحكم أليا يمكن استخدام العلاقة أنفة الذكر (9.23).

أما قيم الثابت (A) الواردة في هذه العلاقة فلقد استنتجت تجريبيا كما أسلفنا ، وفي تلك الحالات التي تم فيها الحصول على درزات لحامية وفق الشكل المطلوب والمتمتعة بمتانة عالية إذا ما قورنت بمعدن الأساس ، ويبين الجدول الآتي قيم A المستنتجة:

جدول (9-7) : علاقة قيم الثابت (A) بقطر سلك اللحام المستخدم في اللحام المحكم آليا.

| ال ثابت A(A.m/h)  | d(mm) قطر سلك اللحام |
|-------------------|----------------------|
| $(2\div5).10^3$   | 1,2                  |
| $(5\div8).10^3$   | 1,6                  |
| $(8\div12).10^3$  | 2,0                  |
| $(12\div16).10^3$ | 3,0                  |
| $(16\div20).10^3$ | 4,0                  |
| $(20\div25).10^3$ | 5,0                  |
| $(25\div30).10^3$ | 6,0                  |

6- الطاقة الطولية : نعين الطاقة الطولية بالعلاقة نفسها (9,8) والتي استخدمت سابقا في حالة اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي .

7- سرعة سحب سلك اللحام : يتم تعيين سرعة سحب سلك اللحام بالمعادلة التجريبية التالية :

$$V_{electrode} = \frac{4 \alpha_m \cdot I}{\pi d^2 \cdot \gamma} \quad (9.24)$$

وكما نلاحظ فان سرعة سحب سلك اللحام (كما في سرعة اللحام ) تتعلق بمعامل صهر معدن السلك (الإلكتروود) وبشدة التيار وبقطر السلك وبالوزن النوعي للمعدن المصنوع منه هذا السلك .

### 9-3- حساب أبعاد الدرزة اللحامية في حالة اللحام المحكم آليا:

لقد ذكرنا أنفا أنه عند تعيين نظام اللحام يجب التركيز على اختيار العناصر الأساسية التي توفر الحصول على درزات لحامية معروفة الشكل والأبعاد وتتمتع بخواص ميكانيكية لا تقل بقيمتها عن الخواص الميكانيكية لمعدن الأساس

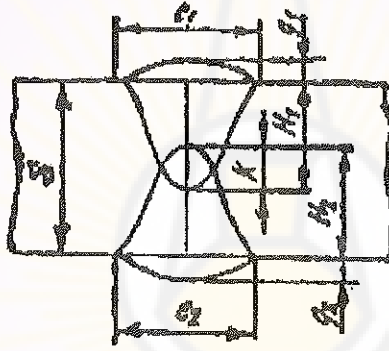
. وسنورد فيما يأتي مثالين في كيفية حساب أبعاد الدرزات اللحامية في حال اللحام التناكبي واللحام الزاوي.

فإذا فرضنا أن اللحام التناكبي يتم من الوجهين ومن دون شنفرة الحواف فإن أبعاد الدرزة تحسب كما يأتي:

1- عمق الصهر: أن الشرط الأساسي للحصول على عملية صهر كامل مقطع الوصلة ومن الوجهين يحدد من العلاقة الآتية:

$$H_1 + H_2 = S + K \quad (9.25)$$

حيث:  $H_1$  و  $H_2$  - عمق الصهر من الوجهين الأول والثاني للوصلة .  
S - سماكة الوصلة .



الشكل (9-6) : أبعاد الدرزة اللحامية .

لقد ثبت تجريبياً أن هذا الشرط غير كاف للحصول على درزات لحامية ذات نوعية جيدة ومتمتعة بمتانة عالية . إذ تبين أنه من الضروري إيجاد قيم معينة أخرى وأبعاد أخرى أيضاً قبل إعطاء التصور النهائي لأبعاد الدرزة اللحامية التي سوف نحصل عليها من استخدام نظام معين للحام المحكم آلياً ، فمن هذه

القيم مثلاً : معامل شكل الصهر  $\psi_f$  ومعامل شكل التقويم  $\psi_a$  . ومن الأبعاد : عرض الدرزة (e) وارتفاع نديبتها (g). ونورد فيما يلي علاقة أبعاد الدرزة اللحامية ببعضها من خلال هذين العاملين :

إن نسبة عرض الدرزة اللحامية إلى عمق صهرها تسمى معامل شكل الصهر:

$$\psi_r = \frac{e}{H} \quad (9.26)$$

ونسبة عرض الدرزة اللحامية إلى ارتفاع ندبتها تسمى معامل شكل التقويم:

$$\psi_a = \frac{e}{g} \quad (9-27)$$

ولقد ثبت تجريبيا أن قيم  $\psi_r$  يجب أن تراوح بين (5÷1,5).

فإذا كانت قيم  $\psi_r$  أقل من ذلك فإننا نحصل على درزات لحامية ذات ميل كبير لحدوث تشققات ساخنة فيها، وإذا كانت قيم  $\psi_r$  أكبر من ذلك حصلنا على درزات عريضا جدا وعمق الصهر فيها قليل مما يؤدي إلى زيادة التشوهات الناتجة من اللحام، بالإضافة إلى أن الحصول على درزات بهذه الصفات يكون غير اقتصادي. أما قيم  $\psi_a$  فيجب أن تراوح بين (10÷7)، فإذا كانت أقل من ذلك حصلنا على درزات ضيقة وعالية البروز، وهذه الدرزات، كما هو معروف لا تملك القدرة الكافية على تحمل الاجهادات المتغيرة وذلك بسبب تمركز هذه الاجهادات الكبير في نقط اتصال الدرزة مع معدن الأساس وسببه التغير المفاجئ في المقطع. وإذا كانت قيم  $\psi_a$  أكبر من ذلك فهذا يعني أن الدرزات اللحامية الناتجة عريضة وارتفاع ندبتها قليل، وهذه الدرزات غير مرغوب فيها للأسباب نفسها ألفة الذكر، لهذا وللحصول على درزات لحامية ذات شكل أمثل فانه من الضروري إيجاد العلاقة بين عناصر نظام اللحام والأبعاد الرئيسية للدرزة اللحامية، ونبدأ هذه العلاقة بإيجاد عمق الصهر: يتعين شكل الدرزة اللحامية وأبعادها بكمية الحرارة التي تعطى للوصلة أثناء عملية اللحام وبكيفية إعطاء هذه الكمية من الحرارة، فمثلا عند استخدام قوس كهربائي بصفة مصدر

حراري نقطي عالي السرعة فان مربع المسافة حتى خطوط ايزوثيرم الصهر يعين بالعلاقة:

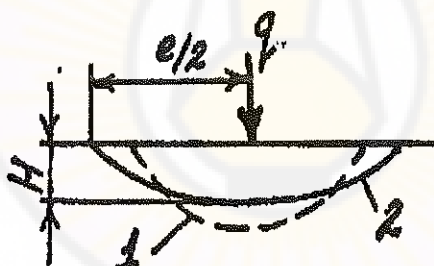
$$r^2 = \frac{2 q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma} \quad (9.28)$$

فإذا افترضنا أن المساحة المحدد بخطوط ايزوثيرم الصهر هي نصف دائرة فان:

$$F = \frac{\pi \cdot r^2}{2} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2 q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot T} = \frac{1}{e \cdot c \cdot \gamma \cdot T} \cdot q_n \quad (9.29)$$

ولكن الشكل الحقيقي للصهر، وكما افترضه العالم الروسي دباتلوف هو نصف قطع ناقص مساحته تساوي مساحة نصف الدائرة المعنية بالعلاقة (9,29). وبما أن مساحة نصف القطع الناقص والذي نصف محوره الكبير يساوي (L/2) ونصف محوره الصغير يساوي (H) يمكن أن تعين بالعلاقة :

$$F = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{e}{2} \cdot H = \frac{\pi \cdot \psi_f \cdot H^2}{4} \quad (9.30)$$



الشكل (9-7): الشكل المتوقع لحوض اللحام عند اللحام بالقوس الكهربائي .

1- نصف الدائرة 2- نصف قطع ناقص

وبمطابقة الأجزاء اليمنى من المعادلتين (9,29) و (9,30) وحل المعادلة بالنسبة لـ (H) نجد أن :

$$H = 2 \sqrt{\frac{q_n}{\pi \cdot e \cdot c \cdot \gamma \cdot T \cdot \psi_f}} = A \sqrt{\frac{q_n}{\psi_f}} \quad (9.31)$$

وهذه هي العلاقة المستخدمة في تعيين عمق الصهر في حالة اللحام بالقوس المحكم آلياً. أما الثابت A ففي حالة لحام الفولاذ بالقوس المغمور بالفلاكس وباستخدام سلك لحام من الفولاذ أيضاً فإن قيمة الثابت تساوي 0,0156 ولا تتغير قيمة هذا الثابت عند لحام الفولاذ في وسط من غاز ثاني أكسيد الكربون . ولكن يجب أن نعلم أنه لتعيين عمق الصهر فإنه يجب معرفة الطاقة الطولية ( $q_n$ ) ومعامل شكل الصهر  $\psi_r$ . قد بحثنا آنفاً في كيفية إيجاد ( $q_n$ )، أما  $\psi_r$  فيمكن إيجاد قيمه بإحدى الطريقتين الآتيتين :

1- بيانياً : ويتم ذلك باستخدام المخططات التجريبية التي تم الحصول عليها في هذا المجال . ويبين الشكل (8-9) أحد هذه المخططات وذلك عند اللحام الآلي بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة .

2- حسابياً : ويتم ذلك باستخدام العلاقة التجريبية المناسبة ، إذ أدت معالجة النتائج التجريبية التي حصل عليها الباحثون في سنوات كثيرة إلى الحصول على علاقة رياضية بين معامل شكل الصهر والعناصر الأساسية لنظام اللحام :

$$\psi_r = K' (19 - 0.01.I) \frac{d.u}{I} \quad (9.32)$$

حيث  $K'$  - معامل ، تتعلق قيمته بنوع التيار وقطبيته .  $d$  - قطر سلك اللحام ،  $I$  - شدة التيار ،  $U$  - توتر القوس .

$$\left( J \leq 120 \frac{A}{mm^2} \right) \quad \text{فعندما تكون كثافة التيار:}$$

ويتم اللحام بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة فإن قيمة  $K'$  تعطي بالعلاقة:

$$K' = 0.367 \cdot j^{0.1925} \quad (9.33)$$

وإذا تم اللحام بتيار مستمر ذي قطبية مباشرة فإن  $K'$  تحدد بالعلاقة :

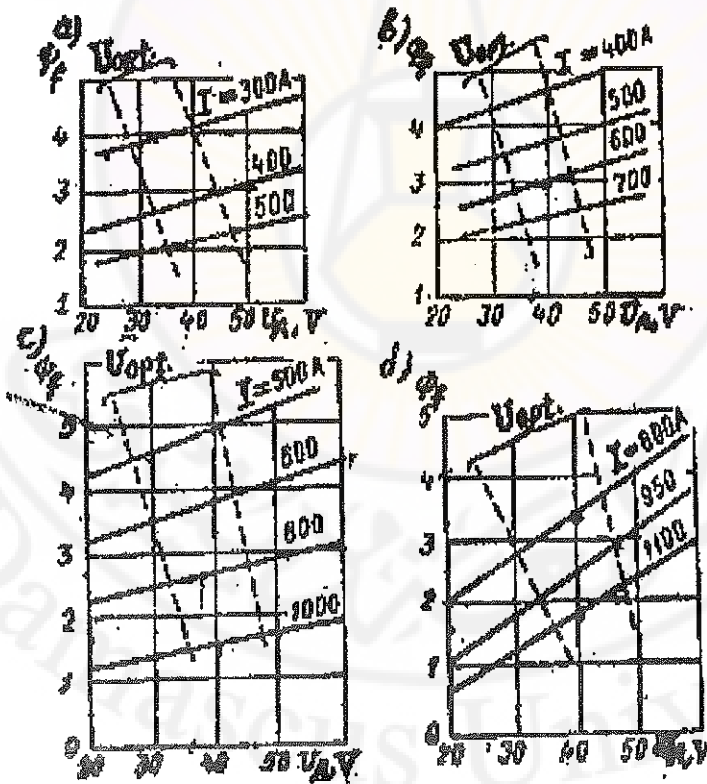
$$K' = 2.82 / j^{0.1925} \quad (9.34)$$

أما عندما تكون كثافة التيار :  $\left( j \geq 120 \frac{A}{mm^2} \right)$  فإن قيمة المعامل  $K'$

تبقى ثابتة وتساوي (0.92) للتيار المستمر ذي القطبية المعكوسة ، وتساوي (1.12) للتيار المستمر ذي القطبية المباشرة . أما عند اللحام بتيار متناوب فإن قيمة  $K'$  ثابتة وتساوي 1 مهما تغيرت قيم كثافة التيار .

3- حساب عرض الدرزة اللحامية : بمعرفة عمق الصهر (H) ومعامل شكل الصهر ( $\psi_f$ ) يمكننا من العلاقة (9.26) أن نعين عرض الدرزة اللحامية .

$$e = \psi_f \cdot H \quad (9.35)$$





الشكل (9-8): العلاقة بين قيم  $\psi_p$  وشدة التيار الكهربائي وتوتر القوس .

A- عندما يكون قطر الإلكترود (d=2mm).

B- عندما يكون قطر الإلكترود (d=4mm).

C- عندما يكون قطر الإلكترود (d=5mm).

D- عندما يكون قطر الإلكترود (d=6mm).

Uopt- قيم توتر القوس المثلى.

4- حساب ارتفاع بروز الدرزة اللحامية : يتم حساب ارتفاع ندبة اللحام بإحدى علاقيتين إما بالعلاقة (9.27) ومنه نجد أن :

$$g = \frac{e}{\psi_a} \quad (9.36)$$

- أو بالعلاقة (9.9) عندما تكون معلومة لدينا سرعة اللحام (V). فمن هذه العلاقة نستطيع إيجاد مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف (F). ربما أن مساحة هذا المقطع يمكن أن تكتب بالعلاقة :

$$F = \mu . g . e \quad (9.37)$$

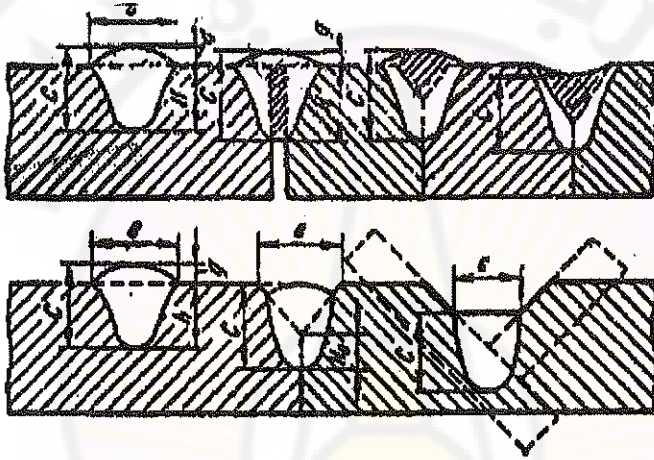
حيث:  $\mu$  - معامل ملء ندبة اللحام ( أي نسبة مساحة المقطع العرضي لندبة اللحام إلى مساحة مستطيل قاعدته e وارتفاع بروزه g ). قد تثبت تجريبيا أنه عند اللحام المحكم أليا فان معامل ملء الندبة  $\mu$  - يتغير في حدود ضيقه وتعد قيمته ثابتة وتساوي 0.75، ومنه نستطيع إيجاد قيمة g:

$$g = F / 0.75 . e \quad (9.38)$$

ونود هنا أن نشير إلى أن حساب ارتفاع بروز الدرزة اللحامية في الوقت الحاضر يتم بطريقة أخرى مغايرة تماما لما ذكر آنفا ، فقد تبين تجريبيا أن الارتفاع الكلي للدرزة اللحامية (أي عمق الصهر + البروز ) يبقى في حال الوصلات التناكسية والزاوية ثابتا إذا استخدم نظام اللحام نفسه سواء أكانت

الحواف مشنفرة او دون شنفرة، وسواء توفر خلوص بينها أم لم يتوفر .  
والاختلاف في نوعية الوصلة المعدة للحام يؤثر على نحو رئيس في نسبة  
مشاركة معدن الأساس والمعدن المضاف في عملية الصهر (أي يختلف عمق  
الصهر وارتفاع الندبة كل على حدة )، أما الارتفاع الكلي فيبقى ثابتا - انظر  
الشكل (9-9). ولهذا يمكننا لنظام اللحام نفسه المستخدم أن نكتب:

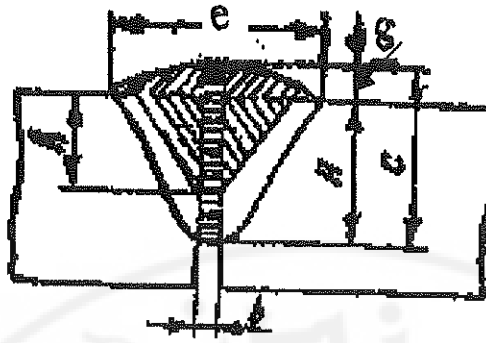
$$C=H+g=H'+g'=const \quad (9,39)$$



الشكل (9-9): الارتفاع الكلي  $c$  للدرزة اللحامية يكون ثابتا ولوصلات مختلفة إذ لم يتغير  
نظام لحام هذه الوصلات

ولهذا يتوجب في بداية الأمر إيجاد الارتفاع الكلي للدرزة اللحامية تجريبيا وذلك  
بوضع ندبة لحامية على سطح قطعة معدن خصيصا لهذا الغرض مصنوعة من  
معدن الوصلة نفسه ثم قياس الارتفاع الكلي للدرزة الناتجة . بعد ذلك يتم إيجاد  
عمق الصهر في الوصلة المعدة للحام حسابيا بالمعادلة (9,31) وبالمقارنة نجد  
أن :

$$g'=c-H' \quad (9.40)$$



الشكل (9-10): وصلة تناكبية ذات حواف مشنفرة

ومن الشكل (9-10) نلاحظ أنه حتى في حال لحام وصلات ذات حواف مشنفرة ووجود خلوص بينها فإن  $g$  توجد بالعلاقة :

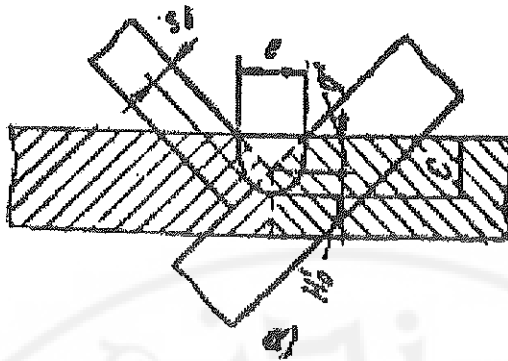
$$g' = \frac{F - h^2 \tan \alpha / 2 - cb}{0.75.e - b} \quad (9.41)$$

- أما حساب أبعاد الدرزة اللحامية في حالة اللحام الزاوي فيتم كما يلي:

1- العلاقة بين عرض الدرزة ( $e$ ) والارتفاع الكلي لها ( $c$ ):

إن تدرج حساب أنظمة لحام الوصلات الزاوية التي يتم لحامها في وضع أرضي لا يختلف كثيراً عن تدرج حساب أنظمة لحام الوصلات التناكبية التي تكون زاوية الشنفرة فيها قائمة ( $\alpha = 90^\circ$ ).

ولكن يجب اختيار نظام لحام الوصلات الزاوية انطلاقاً من الميزات الخاصة لتشكيل الدرزة اللحامية في هذه الحالة ، فمثلاً : حتى لو حصلنا على درزات لحامية مستوية أو مقعرة فإنه يجب أن يكون عرض الدرزة اللحامية الناتجة مساوياً المسافة الأفقية بين القطعتين الملحومتين (انظر الشكل 9-11) .



الشكل (9-11): وصلة لحامية زاوية.

ولهذا فإن معامل شكل الدرزة اللحامية في حالة اللحام الزاوي يساوي نسبة عرض الدرزة اللحامية إلى ارتفاع الكلي  $\psi = e/c$  والذي يجب أن لا تزيد قيمته عن 2 فإذا قلت قيمة  $\psi$  عن هذا الحد فإن الدرزة اللحامية الناتجة تكون ضيقة وعميقة وهذا يؤدي في أغلب الأحيان إلى تشكل كسور ساخنة في هذه الدرزات بسبب عدم توفر الشروط المناسبة للتبلور.

لقد ثبت تجريباً أن الدرزة اللحامية للوصلات الزاوية تكون ذات شكل ونوعية مقبولين وذلك عندما لا تزيد كثافة التيار في سلك اللحام على الحدود المبينة في الجدول أدناه:

جدول (9-8): علاقة كثافة التيار المستخدم في اللحام الزاوي بقطر سلك اللحام

| كثافة التيار $j(A/mm^2)$<br>المسموح بها | d(mm) قطر سلك اللحام |
|-----------------------------------------|----------------------|
| 150÷60                                  | 2                    |
| 85÷45                                   | 3                    |
| 55÷35                                   | 4                    |
| 50÷30                                   | 5                    |

## 2- حساب المقطع العرضي لمعدن الدرزة اللحامية المضاف :

يتم حساب المقطع العرضي  $F$  بناء على المعرفة المسبقة لطول ضلع الدرزة الزاوية  $K$  (انظر الشكل 9.1) . وتتحدد قيمة  $K$  مسبقا بناء على اعتبارات تصميمية وتكنولوجية ، إذ يتطلب مثلا أن تتوفر في الدرزة الزاوية شروط المتانة اللازمة ، هذا الأمر لا يتحقق إلا باختيار ضلع مناسب للدرزة الزاوية المراد لحامها. وبمعرفة  $K$  تتحدد مساحة المقطع بالعلاقة :

$$F = \frac{K^2}{2} \quad (9.42)$$

## 3- إيجاد ارتفاع بروز الدرزة اللحامية :

من الشكل (9-11) نلاحظ أن مساحة المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف هي مساحة مثلث قائم الزاوية ارتفاعه  $g$  تحسب بالعلاقة :

$$g' = \sqrt{F} \quad (9.43)$$

## 4- حساب عمق الصهر :

بما أن الارتفاع الكلي  $c$  يمكن إيجاد تجريبيا أو حسابيا، فإن عمق الصهر  $Ho'$  يكون بالعلاقة :

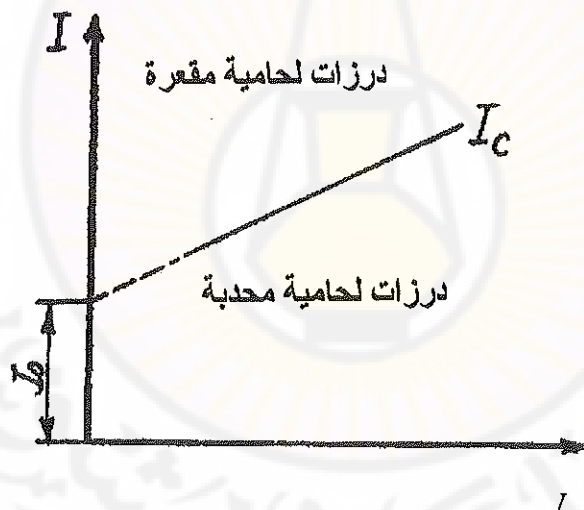
$$Ho' = C - g' \quad (9.44)$$

أما عمق الصهر في جدار الوصلة الزاوية  $S_b$  (أنظر الشكل 9-11) فيكون إيجاد بالعلاقة التجريبية التالية :

$$S_b = (0.8 \div 1.0) H'o \quad (9.45)$$

ولابد في نهاية هذا البند من التنويه إلى نقطة أساسية وهامة بالنسبة للدرزة اللحامية الزاوية . فمن العلاقة (9.42) يتضح أن عملية الحساب تجري عادة

وكان الدرزة اللحامية ذات سطح مستوي . إذ بعد أن يتم اختيار قطر الإلكترود وانطلاقاً من التيار المسموح بها يتم تعيين شدة التيار ومن ثم سرعة اللحام التي تؤمن الحصول على مساحة مقطع معدن الدرزة المضاف وفق العلاقة (9.9). من هنا نستطيع القول إن الحصول على درزات لحامية مقعرة أو محدبة يعتمد على نسبة شدة التيار إلى سرعة اللحام ، فإذا كانت شدة التيار عالية والسرعة قليلة فإن الدرزة الناتجة محدبة ، وإذا كان عكس ذلك فالدرزات مقعرة. ولهذا يبين الشكل (9-12) قيم شدة التيار الحدية (وهي مستقيم يفصل حقل أنظمة اللحام التي تؤدي للحصول على درزات لحامية مقعرة عن ذلك الذي يعطي درزات محدبة). وتكتب معادلة المستقيم على الشكل الآتي

$$I_c = I_0 + m.v \quad (9.46)$$


الشكل (9-12): علاقة شدة التيار الحدية ( $I_c$ )

بسرعة اللحام ( $v$ ) عند اللحام الزاوي

حيث:  $I_c$  - شدة التيار الحدية ( أي شدة التيار التي تؤدي للحصول على درزات لحامية ذات سطح مستوي إذا استخدمت سرعة اللحام المناسبة ).

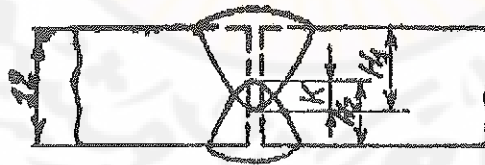
$I_o$  - شدة التيار الحدية المشروطة ( أي شدة التيار عندما تكون سرعة اللحام مساوية للصفر ) . وتساوي  $I_o$  عند اللحام المحكم آليا نحو (350A) .  
 $m$  - ثابت يحدد ميل المستقيم على الأفق وتؤخذ قيمتها من الجدول الآتي :  
 جدول (9-9): علاقة الثابت ( $m$ ) بقطر سلك اللحام ( $d$ ).

| $d(mm)$ قطر سلك اللحام | 2 | 3   | 4 | 5  |
|------------------------|---|-----|---|----|
| $M(A.h/m)$ الثابت      | 2 | 4.5 | 7 | 10 |

مثال 2: يراد لحام قطعتين من الفولاذ الكربوني سماكة كل منهما ( $s=12mm$ ) تتاكبياً من دون شنفرة الحواف شريطة أن يتم اللحام من الوجه الأول بالقوس الكهربائي آليا باستخدام سلك لحام قطره ( $d_1=5mm$ ) والتيار مستمر ذات قطبية معكوسة ، ومن الوجه المقابل بالقوس اليدوي بالكتروود قطره ( $d_2=4mm$ ) .  
 المطلوب : أوجد عناصر نظامي اللحام الذين يحققان عمق الصهر المطلوب في كلتا الحالتين بغية الحصول على وصلة لحامية خالية من العيوب .  
 الحل : آ- يمكن إيجاد عناصر نظام اللحام اللازم لتنفيذ الدرزة للحامية على الوجه الأول للوصلة وفق الترتيب التالي :

1- نوجد عمق الصهر الواجب الحصول عليه من الوجه الأول بالعلاقة (9,18):

$$H_1 = \frac{S}{2} + (2 \div 3)mm = \frac{12}{2} + 2.5 = 8.5mm$$



2- يتم حساب شدة التيار الكهربائي بالمعادلة (9.19):

$$I_1 = \frac{H}{K_h} \cdot 100 = \frac{8.5}{(1.05/1.10)} \cdot 100 = \frac{8.5}{1.075} \cdot 100 = 744.18A$$

حيث أخذت قيم  $k_h$  من الجدول (5-9).

ولتسهيل الحساب نأخذ شدة التيار مساوية ( $I_1=750A$ ) .

3- نتأكد من صحة اختيارنا لقطر سلك اللحام وذلك باستخدام العلاقة (9,20):  
حيث أخذت قيم  $z$  من الجدول (6-9).

$$d_1 = 1.13 \sqrt{I/j} = 1.13 = \sqrt{\frac{750}{(30 \div 50)}} = 1.13 \sqrt{\frac{750}{40}} = 4.88 \text{ mm} \approx 5 \text{ mm}$$

4- نوجد قيمة توتر القوس الكهربائي بالعلاقة (9,21):

$$U_1 = 20 + \frac{50.10^{-3}}{d^{0.5}} I \mp 1 = 20 + \frac{50.10^{-3}}{5^{0.5}} . 750 \mp 1 = 37 \mp 1$$

5- يمكن إيجاد سرعة اللحام بالعلاقة (9-23):

$$V_1 = \frac{A}{I_1} = \frac{(20 \div 25) . 10^3}{750} = \frac{22.5 . 10^3}{750} = 30 \frac{m}{h} = 0.83 \text{ cm/sec}$$

حيث أخذت قيم  $A$  من الجدول (9-7).

6- نوجد الطاقة الطولية بالعلاقة (9,8):

$$q_m = \frac{0.24 . I_1 . U_1 . \eta_1}{V_1} = \frac{0.24 . 750 . 37 . 0.9}{0.83} = 7551 \text{ cal/cm}$$

حيث أخذ المورد في حالة اللحام بالقوس المحكم آلياً :

$$\eta_1 = (0.85 \div 0.95)$$

7- يتم حساب معامل شكل الصهر بالعلاقة (9,32):

$$\psi_f = K' (19 - 0.01 I) \frac{d.u}{I}$$

حيث:

$$K' = 0.367 . j^{0.1925} = 0.367 . 40^{0.1925} = 0.74$$



ومنه:

$$\psi_f = 0.74(19 - 0.01.750) \frac{5.37}{750} = 2.1$$

8- نوجد سرعة سحب سلك اللحام بالعلاقة (9,24):

$$V_{elect} = \frac{4 \cdot \alpha_m \cdot I}{\pi d^2 \cdot \gamma} = \frac{4 \cdot 13.750}{\pi \cdot 5^2 \cdot 7.65} = 64.91 \text{ m/h}$$

حيث أخذت قيم  $\alpha_m$  من الشكل (9.5a).

9- نتأكد من أن قيم عناصر اللحام هذه تحقق عمق الصهر المسحوب في الفقرة

(1) وذلك باستخدام العلاقة (9,31):

$$H_1 = 0.0153 \sqrt{q_m / \psi_f} = 0.0156 \sqrt{\frac{7221}{2.1}} = 0.91 \text{ cm} = 9.1 \text{ mm}$$

أي إن عناصر النظام اللحام المستخدمة تحقق عمق الصهر المطلوب من الوجه الأول للوصلة.

ب- لإيجاد عناصر نظام اللحام اليدوي اللازمة لتنفيذ الدرزة اللحامية من الوجه المقابل فإننا نجري الحساب وفق الترتيب الآتي :

1- يتم حساب شدة التيار الكهربائي بالعلاقة:

$$I_2 = K' d_2 = (35/50) \cdot 4 = 42.5 \cdot 4 = 170 \text{ A}$$

2- يمكن إيجاد توتر القوس بنفس الطريقة التبعة في المسال السابق، حيث نجد

أن :

$$U_2 = 25 \text{ V}$$

3- يتم حساب المقطع العرضي لمعدن الدرزة المضاف بالعلاقة (9.6):

$$F_2 = (8 \div 12) \cdot d_2 = 10.4 = 40 \text{ mm}^2 = 0.4 \text{ cm}^2$$

4- لحساب سرعة اللحام نستخدم العلاقة المعروفة (9.9):

$$V_2 = \frac{\alpha_m \cdot I_2}{3600 \cdot \gamma \cdot F} = \frac{9.5 \cdot 170}{3600 \cdot 7.65 \cdot 0.4} = 0.143 \text{ cm/sec}$$

5- تستخدم العلاقة (9.8) لإيجاد الطاقة الطولية :

$$q_{n2} = \frac{0.24 \cdot I_2 \cdot U_2 \cdot \eta_2}{V_2} = \frac{0.24 \cdot 170 \cdot 25 \cdot 0.8}{0.143} = 5706 \text{ cal/cm}$$

6- نوجد عمق الصهر النظري بالعلاقة :

$$r_2 = 0.0112 \sqrt{q_n} = 0.0112 \sqrt{5706} = 0.85 \text{ cm} = 8.5 \text{ mm}$$

7- يتم حساب عمق الصهر الفعلي بالعلاقة :

$$H_2 = (0.5/0.7) r_2 = 0.6 \cdot 8.5 = 5.1 \text{ mm}$$

وهكذا نلاحظ وطبقا للعلاقة (9,25) أن عمق الصهر من الوجهين الأول والثاني يحقق المطلوب ، حيث:

$$H_1 + H_2 = S + K$$

$$9.1 + 5.1 = 12 + K$$

ومنه:

$$K = 14.2 - 12 = 2.2 \text{ mm}$$

إذن نحن نعلم مقدار التغطية k بتراوح (K=2÷3mm).

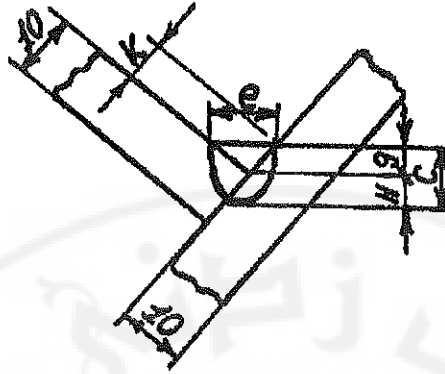
أمثلة غير محلولة :

مثال(1): يلزمنا الحصول على وصلة فولاذية متعامدة من قطعتين سماكة كل منهما (S=10mm) كما هو مبين في الشكل شريطة أن تتم عملية اللحام بالقوس الألي المغموور بالفلكس وباستخدام تيار مستمر ذي قطبية معكوسة وحيث تتم عملية اللحام في الوضع الأرضي من الجانبين وباستخدام قيم عناصر نظام اللحام المسحوبة نفسها، فإذا علمت أن :

1- طول ضلع الدرزة الزاوية (K=5mm).

2- معامل شكل الدرزة اللحامية الزاوية  $\psi_f = \frac{e}{c} = 1$

3- قطر سلك اللحام المستخدم (d=5mm).

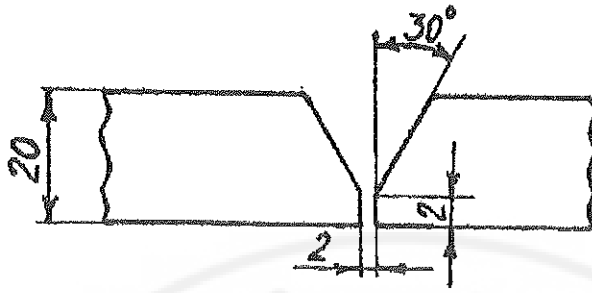


والمطلوب :

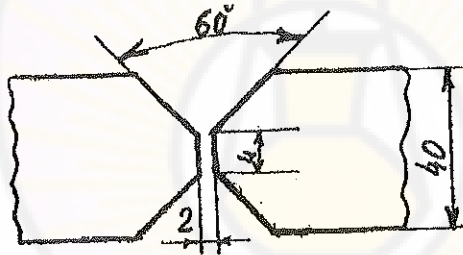
- أ- احسب عمق الصهر H اللازم تحقيقه هندسيا .  
 ب- أوجد قيم عناصر نظام اللحام المستخدم .  
 ج- تأكد من أن عناصر نظام اللحام المسحوبة تحقق عمق الصهر H وذلك  
 بالعلاقة التالية :
- $$H = 0.0076 \sqrt{q_n / \psi_n}$$

مثال (2): نود لحام قطعتين من الفولاذ الكربوني سماكة كل منهما (S=20mm) بعد شنفرة الحواف كما هو مبين في الشكل شريطة على أن يتم لحام المسار الأول بالقوس اليدوي وباستخدام الكترود قطره (d<sub>1</sub>=4mm) ولحام بقية المسارات بالقوس الآلي بسلك لحام قطره (d<sub>1</sub>=5mm). والمطلوب :

أوجد عناصر اللحام في كلتا الحالتين (اليدوي والآلي) ثم أحسب عدد المسارات اللازم تنفيذها للحصول على وصلة لحامية جيدة وخالية من العيوب.



مثال (3): احسب عناصر نظام اللحام في كلتا الحالتين اليدوي والآلي ، وأوجد عدد المسارات اللازمة ، وذلك عند لحام قطعتين من الفولاذ الكربوني سماكة كل منهما (S=40mm) وتمت شنفرة الحواف كما هو مبين في الشكل، على أن يتم لحام المسار الأول يدويا بالكترود قطره (d<sub>1</sub>=4mm) ولحام جميع المسارات الأخرى آليا بالكترود قطره (d<sub>2</sub>=5mm) تحت طبقة من الفلاكس .



المعطيات:

$$K^1 = (35/50) \frac{A}{mm}$$

أ- في حالة اللحام اليدوي :

$$\alpha_{m1} = 10 \frac{g}{A.h}$$

$$\eta_1 = 0.85$$

ب- في حالة اللحام الآلي :

$$j = (30/50) \frac{A}{mm^2}$$

$$A = (20/25)10^3 \frac{A.m}{h}$$

$$\eta_2 = 0.9$$

$$\alpha_{m2} = 13 \frac{g}{A.h}$$

$$\delta = 7.8 \frac{g}{cm^3}$$

ارتفاع بروز الدرزة اللحامية (g=3mm).

#### 4-9- التقييم الحسابي للخواص الميكانيكية المتوقعة للدرزة اللحامية :

إن متانة الوصلة اللحامية وقدرتها على تحمل الاجهادات المختلفة يعتمدان بشكل رئيسي على شكل هذه الوصلة وعلى النسبة بين الخواص الميكانيكية لكل من الدرزات اللحامية والمنطقة المجاورة لها (منطقة التأثير الحراري) ومعدن الأساس .

لإجراء عملية التقييم الحسابي للخواص الميكانيكية المحتملة للدرزة اللحامية من الضروري الأخذ في الحسبان تأثير العوامل التكنولوجية الآتية :

#### 1- نسبة مشاركة معدن الأساس في تشكل الدرزة اللحامية والتركيب الكيميائي له:

يمكن للعناصر التي تدخل في تركيب معدن الأساس المشارك في تشكل الدرزة اللحامية أن يكون تأثيرا كبيرا ، خاصة إذا كان معدن الأساس يحوي أصلا بعض المعادن التي تؤثر في الخواص الميكانيكية للدرزة .

#### 2- نوعية المواد المستخدمة للحام وتركيبها الكيميائي :

إن دور التركيب الكيميائي لمواد اللحام ( الكترودات ، مساعدات صهر ، غازات واقية وغيرها ) واضح- أي باختيار مناسب لمواد اللحام يمكن التحكم بالتركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية لمعدن الدرزة اللحامية .

$$\delta_w = 50.4 - [21.8C + 15Mn + 49Si + 2.4Ni + 5.8Cr + 6.2Cu + 2.2W + 6.6Ti] \\ + 17.1Al + 2.7Mo$$

ويحسب حد الانسياب لمعدن الدرزة من العلاقة :

$$\sigma_{yw} = 0.73 \cdot \sigma_{bw} \quad (9.51)$$

التقلص النسبي من العلاقة :

$$\psi_w = 2.32 \cdot \delta_w \quad (9.52)$$

ويؤخذ من المعادلات أنفية الذكر كل عنصر بنسبته المؤوية عند الحساب .

# **الفصل العاشر**

## **اللحام الكهربائي الخبثي**

1- مفهوم وتقانة اللحام الكهربائي الخبثي.

2- أنظمة اللحام الكهربائي الخبثي.





## اللحام الكهربائي الخبثي

### 10-1- مفهوم اللحام الكهربائي الخبثي وتقائته:

يُستخدم اللحام الكهربائي الخبثي للوصلات ذات السماكة الكبيرة (أكثر من 16 مم). وإذا أخذنا في الحسبان الناحية الاقتصادية يمكننا القول إن طريقة اللحام هذه تستخدم في الوقت الحاضر للحم الوصلات التي تزيد على 40 مم. ويلحم بهذه الطريقة كل أنواع الفولاذ و الفونت تقريباً والسبائك المختلفة لكل من معادن النحاس والتيتان. وتتميز هذه الطريقة من غيرها من طرق اللحام الآلي بالقوس المغمور بالفلكس (والتي تعد تطوراً عن هذه الطرق) بأن عملية اللحام الكهربائي الخبثي (ومهما كبرت سماكة القطعتين المراد وصلهما) تتم بمسار لحام واحد ويكون توضع حوض اللحام عمودياً أثناء إجراء عملية اللحام. ويؤدي الفلكس المصهور دور المصدر الحراري لإتمام عملية اللحام بهذه الطريقة. وتعطى كمية الحرارة المنطلقة من الفلكس المصهور (نتيجة لمرور تيار كهربائي فيه ذي شدة عالية) بالعلاقة الآتية:

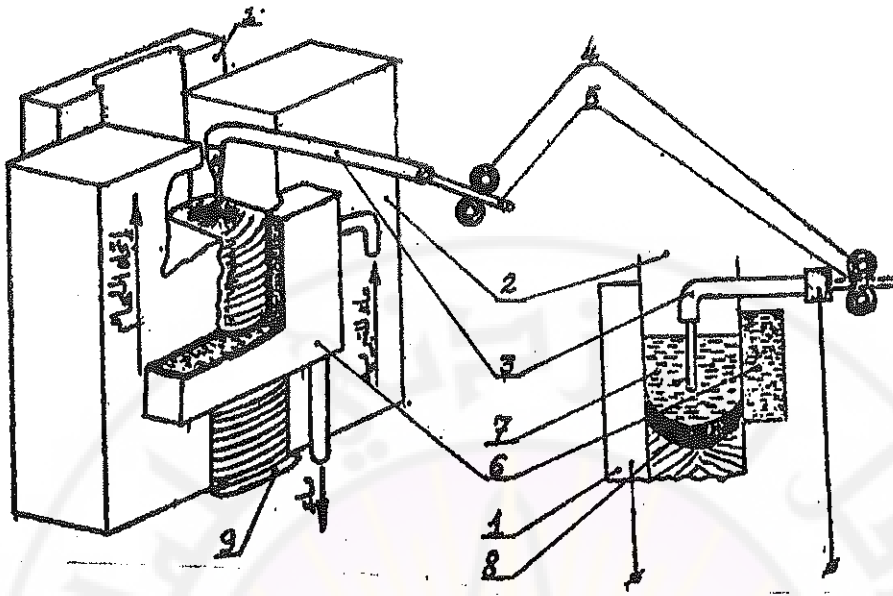
$$Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \quad (10,1)$$

حيث:

I- شدة التيار الكهربائي.

R- مقاومة حوض الفلكس المصهور.

يبين الشكل (10-1) كيف تستم طريقة اللحام الكهربائي الخبثي للوصلات المعدنية، ويمكن تلخيص تقانة اللحام بهذه الطريقة بما يأتي:



الشكل (10-1) مخطط اللحام الكهربائي الخبثي للوصلات المعدنية بالكترود واحد

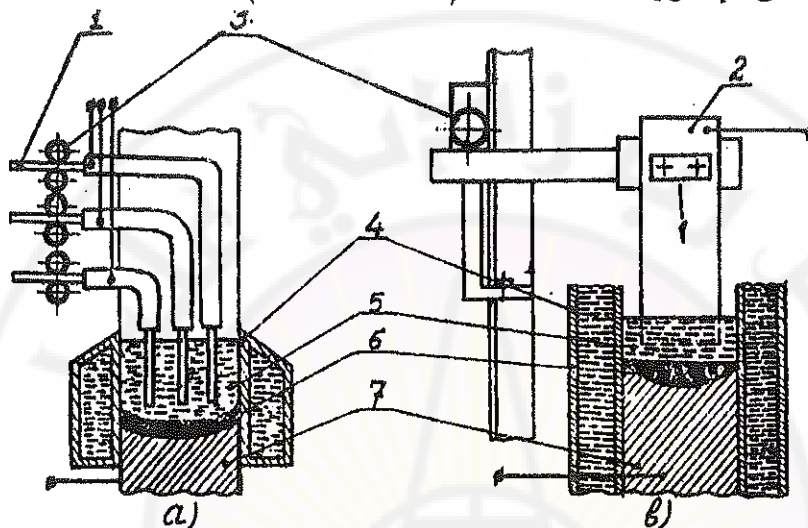
- 1- صفيحة نحاسية. 2- الوصلة اللحامية. 3- حملاص اللحام.
- 4- بكرتان. 5- سلك اللحام. 6- صفيحة نحاسية متحركة. 7- حوض
- الخبث. 8- الحوض المعدني. 9- الدرزة اللحامية.

إن ارتفاع درجة حرارة الخبث المصهور (نتيجة لمرور تيار كهربائي فيه) إلى درجة عالية يجعل كمية الحرارة المنطلقة من هذا الخبث كافية لصهر حواف الوصلة اللحامية وسلك اللحام المغمور وتشكيل حوض اللحام. وتستخدم الصفائح النحاسية من الطرفين (يمكن أن تكون إحداها متحركة، شكل 10-1) للحفاظ على حوض اللحام المنصهر من الاندلاع.

تتم عملية اللحام ألياً وبسرعة سحب مناسبة لسلك اللحام.

وبهذا الشكل يمكن الحفاظ على عمق مناسب للحوضين (المعدني والخبثي) المنصهرين. ويشكل حوض اللحام المعدني المتجمد في الأسفل ما يُسمى الدرزة اللحامية.

ويمكن أن تتم عملية اللحام الكهربائي الخبثي بالكتروود واحد (شكل 10-1) أو بعدة إلكترودات (10-2-a). وتستخدم طريقة اللحام بعدة إلكترودات في حال وصل القطع ذات السماكات الكبيرة جداً (حتى 500 mm). ولا يتجاوز قطر كل إلكترود من الإلكترودات المستخدمة (2,5 ÷ 3,5 mm).



الشكل (10-2) مخطط اللحام الكهربائي الخبثي بعدة إلكترودات أو بصفيحة معدنية.

- 1- سلك اللحام. 2- صفيحة اللحام. 3- ميكانيزم سحب سلك اللحام. 4
- صفائح نحاسية تبرد بالماء. 5- حوض خبثي.
- 6- حوض المعدن المنصهر. 7- الدرزة للحامية.

يمكن أن تستخدم في اللحام الكهربائي الخبثي (وبدلاً من إلكترودات عدة) صفيحة معدنية أو صفائح عدة (شكل 10-2b). وتغذي هذه الصفائح المعدنية حوض اللحام آلياً، ويستخدم اللحام بهذه الطريقة للحصول على درزات لحامية مقطعتها مستطيل (أحياناً يصل عرض المقطع إلى 2m وارتفاعه إلى 1m). وبصفة عامة تمتاز طريقة اللحام الكهربائي الخبثي عن غيرها من الطرق

بإنتاجيتها العالية وبساطتها وإمكان التحكم بها آلياً والجودة العالية للوصلات اللحامية الناتجة.

## 10-2- أنظمة اللحام الكهربائي الخبثي:

إن العناصر الأساسية في نظام اللحام الكهربائي الخبثي (وفي حال استخدام عدة إلكترودات) هي:

- قطر الإلكترود d: ويتراوح (كما ذكرنا سابقاً) بين  $(2,5 \div 3,5 \text{ mm})$ ، وأحياناً تستخدم إلكترودات قطرها (5 مم).

- شدة التيار الكهربائي I: وتراوح شدة التيار الكهربائي في كل إلكترود بين  $(100 \div 600 \text{ A})$ . ويمكن أحياناً استخدام تعبير كثافة التيار الكهربائي وتتراوح قيمتها بين:

$$\left( 15 \div 60 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} \right)$$

- سرعة سحب سلك اللحام (Ve): وتراوح قيمتها بين:  $100 \div 500 \frac{\text{m}}{\text{h}}$

- فرق الكمون (التوتر) لحوض الخبث (U).

- سرعة اللحام (V).

- سماكة الوصلة اللحامية (S).

- طول الجزء الظاهر من الإلكترود (L): ويراوح طول هذا الجزء بين  $(60 \div 80 \text{ mm})$ .

- الخلوص الموجود بين طرفي الوصلة (b): ويتعلق بسماكة الوصلة وتتراوح قيمته بين  $(16 \div 35 \text{ mm})$ .

- عدد إلكترودات اللحام (n).

- عمق حوض الخبث (h): ويراوح عمق الحوض الخبثي بين  $(25 \div 70 \text{ mm})$ .

- سرعة الانتقالات العرضية للإلكترونود ( $V_e$ ) والمسافة بين الإلكترونود ( $m$ ).

- نوع الفلكس وتركيبه الكيميائي.

كل هذه العناصر تؤثر كثيراً في نوع الدرزة اللحامية وتركيبها، ويجب اختيار هذه العناصر بشكل دقيق يتناسب ونوع الوصلة اللحامية وسماكتها. ويجب الانطلاق عند اختيار هذه العناصر من تحقيق شرطين أساسيين:

- أ- يجب أن يحقق نظام اللحام المختار الحصول على درزات لحامية خالية من العيوب الداخلية والخارجية ويجب أن يتحقق عمق صهر في طرفي الوصلة قدره  $(6 \div 10 \text{ mm})$  في كل طرف.
- ب- يجب أن يُراعى عند اختيار نظام اللحام ومواده إمكان عدم الحصول على تشققات ساخنة في الدرزة اللحامية، أو في المنطقة المجاورة لها (منطقة التأثر الحراري).

إن جودة الدرزة اللحامية وتركيبها يعتمدان، على نحو رئيس، على عرض الدرزة اللحامية والسبب في ذلك يعود إلى أنه بتغير عرض الدرزة اللحامية تتغير شروط تجمد حوض اللحام وتتغير نسبة اشتراك معدن الأساس في الدرزة اللحامية، وهنا لابد من التطرق إلى العناصر الأساسية الأكثر تأثيراً في عرض الدرزة اللحامية، وهي:

#### 1- شدة التيار الكهربائي:

بازدياد شدة التيار الكهربائي إلى حد معين يزداد عرض الصهر. ولكن تجاوز شدة التيار لهذا الحد يؤدي إلى ازدياد عمق حوض الصهر بسبب كمية الحرارة الكبيرة التي يحتوي عليها وهذا يؤدي إلى نقصان في كمية الحرارة التي يحتوي عليها الحوض الخبثي، ثم نقصان عرض الصهر. بصفة عامة

تتعلق شدة التيار الكهربائي بسماكة الوصلة وعدد الإلكترونات، وتحددها العلاقة التجريبية الآتية:

$$I = A + B \frac{S}{n} \quad (10,2)$$

حيث: S - سماكة الوصلة.

A - B - عوامل ثابتة (A = 220 ÷ 280) و (B = 3,2 ÷ 4).

## 2- فرق الكمون (التوتر) لحوض الخبث:

بازدياد توتر حوض الخبث يزداد عرض الصهر، ولكن زيادة التوتر فوق حد معين تؤدي إلى حدوث غليان في حوض الخبث وهذا يؤدي بدوره إلى عدم استقرار عملية اللحام بشكل عام، وأحياناً يمكن أن تتشكل تشققات ساخنة. إن اختيار توتر حوض الخبث يتم بالعلاقة التجريبية الآتية:

$$U = 12 + \sqrt{125 + \frac{S}{0.075.n}} \quad (10,3)$$

أما عمق حوض الخبث فيتم تحديده بالعلاقة التجريبية الآتية:

$$h = I(0.0000375I \div 0.0025) + 30 \quad (10,4)$$

## 3- سرعة اللحام:

تتعلق سرعة اللحام بصفة عامة بسرعة سحب سلك اللحام وشدة التيار الكهربائي ومقدار الخلوص بين حافتي الوصلة. ويمكن تعيين سرعة اللحام بإحدى العلاقتين الآتيتين:

$$V = \frac{n \cdot \alpha_m \cdot I}{\gamma \cdot b \cdot S \cdot K_y} \quad (10,5)$$

$$V = \frac{n \cdot V_e \cdot \pi \cdot d^2 / 4}{\gamma \cdot b \cdot S \cdot K_y} \quad (10,6)$$

$$\left[ \frac{g}{cm^3} \right]$$

حيث:  $\gamma$  - الوزن النوعي لمعدن الإلكترونات:

$\alpha_m$  - عامل صهر معدن الإلكترود:  
 $K_y$  - عامل تحدد الدرزة اللحامية وتتراوح قيمته  
 $(K_y = 1,05 \div 1,1)$ .

#### 4- مقدار الخلوص بين حافتي الوصلة:

بازدياد الخلوص بين طرفي الوصلة يزداد عرض الصهر وبالتالي عرض الدرزة اللحامية ولكنه يؤدي (في الوقت نفسه) إلى زيادة كمية المعدن المنصهر واللازم لملء هذا الخلوص مما يسبب انخفاض في مستوى الإنتاج. أما تقليل الخلوص بين حافتي الوصلة فإنه يؤدي إلى رفع مستوى الإنتاج ولكن هذا يؤدي بدوره إلى انخفاض في قيمة عامل شكل الصهر (يتغير عرض حوض الصهر ولكن عمقه يبقى ثابتاً) مما يسبب تشكل التشققات الساخنة. إن اختيار مقدار الخلوص الموجود بين طرفي الوصلة اللحامية (أثناء استخدام اللحام الكهربائي الخبثي) يتم حسب الجدول الآتي:

الجدول (10-1) اختيار الخلوص بين طرفي الوصلة اللحامية

| سمائة الوصلة (mm) | مقدار الخلوص بين طرفيها (mm) |
|-------------------|------------------------------|
| 500               | $35 \pm 3$                   |
| $500 \div 150$    | $30 \pm 3$                   |
| $150 \div 100$    | $25 \pm 3$                   |
| $100 \div 30$     | $22 \pm 2$                   |
| $30 \div 0$       | $16 \pm 2$                   |

#### 5- طول الجزء الظاهر من الإلكترود:

إن ازدياد طول الجزء الظاهر من الإلكترود ولحدٍ أكثر من المسموح به يؤدي إلى نقص في كمية معدن الإلكترود المنصهرة بخاصة إذا لم تتغير سرعة

سحب سلك اللحام مما يؤدي إلى انخفاض شدة التيار الكهربائي بسبب الارتفاع المسبق لدرجة حرارة هذا السلك وبالتالي تزداد مقاومته للتيار الكهربائي. يكون طول الجزء الظاهر من الإلكترود عادةً بين (60-80 mm) وكما ذكر سابقاً.

#### 6- سرعة الانتقالات العرضية للإلكترود:

يؤدي ازدياد سرعة الانتقالات العرضية للإلكترودات إلى نقصان في عرض الصهر. وتتعلق هذه السرعة (علاقة عكسية) بسرعة سحب سلك اللحام. ولكن بصفة عامة يتم اختيار سرعة الانتقالات العرضية للإلكترودات بالعلاقة الآتية:

$$V'_e = 60 - 0.22 \frac{S}{n} \quad (10,7)$$

#### 7- قطر الإلكترود:

يؤدي ازدياد قطر الإلكترود إلى زيادة عرض الصهر، ولكنه يؤدي في الوقت نفسه إلى نقصان في عمق الحوض المعدني المنصهر. ولذلك يجب أن لا يزيد قطر سلك اللحام على (3.5 mm). أما الإلكترودات التي يصل قطرها إلى (5 mm) فتستخدم في حالات خاصة.

#### 8- المسافة بين الإلكترودات:

تعطى المسافة بين الإلكترودات (أثناء وجود انتقالات عرضية) بالعلاقة الآتية:

$$m = \frac{S}{n} + 8 \quad (10,8)$$

وأثناء عدم وجود انتقالات عرضية بالعلاقة الآتية:

$$m = \frac{S}{n} \quad (10,9)$$

وهناك عناصر أخرى في نظام اللحام الكهربائي الخبيثي،

نذكر منها:



أ- زمن توقف الصفيحة النحاسية المتحركة في أثناء اللحام (t). حيث يعطى هذا الزمن بالعلاقة التجريبية الآتية:

$$t = 0.0375 \frac{S}{n} + 0.75 \quad (10.10)$$

ب- المسافة بين الإلكتروودات الجانبية والصفائح النحاسية. وتعطى هذه المسافة عادةً بقيمة تجريبية ثابتة وتساوي (5-7 mm).



# **الفصل الحادي عشر**

## **اللحام في وسط من الغازات**

### **الواقية**

- 1- مفهوم و تقانة اللحام في وسط من الغازات الواقية.
- 2- الخواص التعدينية للغازات المستخدمة في الوقاية.



## اللحام في وسط من الغازات الواقية

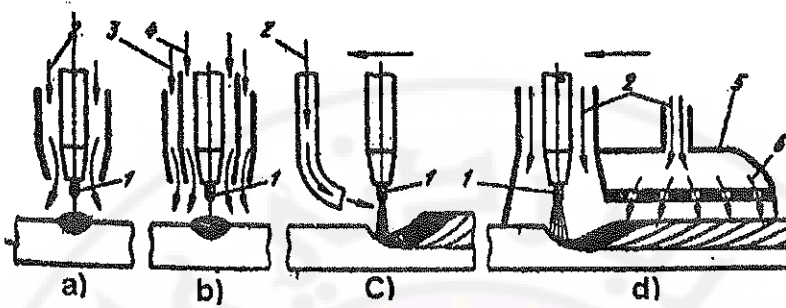
### 11-1- مفهوم اللحام في وسط من الغازات الواقية ومزاياه:

تُستخدم طريقة اللحام في جو من الغازات الواقية في الإنشاءات المصنوعة من أنواع مختلفة من الفولاذ الكربوني و السبائك والإنشاءات المصنوعة من المعادن غير الحديدية ومن سبائك هذه المعادن. ويمكن أن تتم عملية اللحام هذه يدوياً أو نصف آلي أو آلياً، وتستهلك كغازات واقية غازات خاملة (مثل الأرجون والهيليوم) أو غازات أخرى (مثل ثاني أكسيد الكربون، الهيدروجين، الآزوت، الأوكسجين..الخ)، أو مزيج من غازين أو أكثر من هذه الغازات، وأكثر هذه الغازات استخداماً في الوقت الحاضر الأرجون وغاز ثاني أكسيد الكربون أو مزيج منها، وتتميز طريقة اللحام هذه عن غيرها من طرق اللحام بالقوس الكهربائي بأن الغاز المستخدم يقي القوس الكهربائي وحوض المعدن المنصهر من التأثير الضار للهواء المحيط. أما طريقة استخدام الغازات للواقية فتتم إما بدفع هذه الغازات في منطقة اللحام مركزياً (شكل 11-1 a,b) أو جانبياً (شكل 11-1 c,d). ويمكن إجراء عملية اللحام في وسط من الغازات الواقية باستخدام إلكترود ينصهر (وعادة يكون تركيبه الكيميائي مطابقاً للتركيب الكيميائي لمعدن الوصلة) أو باستخدام إلكترود لا ينصهر (مصنوع من معدن التجسّتين).

وتتشكل الدرزة اللحامية في الحالة الثانية نتيجة لانصهار حافتي الوصلة، أو نتيجة لانصهار المعدن المضاف (معدن الملاء).

- إن اختيار طريقة اللحام هذه (يدوية كانت أو نصف آلية أو آلية، بإلكترود ينصهر أو لا ينصهر، في جو من أحد الغازات الواقية أو في مزيج من غازين... الخ) يتعلق بالتركيب الكيميائي لمعدن الوصلة اللحامية وشكلها

وسماكتها وشكل الدرزات اللحامية المراد الحصول عليها وجودة هذه الدرزات .... الخ.



الشكل (11-1) مخطط اللحام في وسط من الغازات الواقية

a,b - دفع الغاز الواقى مركزياً بتيار واحد وبتيارين. c - دفع الغاز جانبياً.  
d - دفع الغاز في حجرة متحركة. 1 - الإلكترود. 2 - الغاز الواقى. 3-4 - تيارا الغاز الواقى «الخارجي والداخلي». 5 - الحجرة المتحركة. 6 - شبكة التوزيع.

بصفة عامة لطريقة اللحام في جو من الغازات الواقية مجموعة من مزايا التقنية والمزايا الإنتاجية والاقتصادية نوردتها باختصار:

أ- مزايا التقنية: وتكمن في الجودة العالية للدرزات اللحامية الناتجة بهذه الطريقة وإمكان استخدام اللحام اليدوي ونصف الآلي لوصلات معدنية قصيرة وفي أوضاع مختلفة (بما فيها الوضع السفلي).

ب- المزايا الإنتاجية: وتكمن في الإنتاجية العالية وإمكان إجراء المراقبة المستمرة لعملية اللحام وعدم وجود نفايات ضارة أثناء إجراء عملية اللحام أو بعدها مما يحسن ظروف العمل.

ج- المزايا الاقتصادية: وتكمن في القيمة المنخفضة نسبياً لآلات اللحام ومواده المستخدمة وعدم الحاجة لاستعمال مساعدات صهر أو إلكترودات مغلفة.

## 2-11- تقانة اللحام في وسط من الغازات الخاملة:

تلقى تقانة اللحام في وسط من الغازات الخاملة تطوراً سريعاً واستخدماً واسع النطاق في الوقت الحاضر، ويمكن أن تتم عملية اللحام هذه باستخدام إلكترودات لا تنصهر (إلكترودات مصنوعة من الغرافيت أو من معدن التنجستين) أو باستخدام إلكترودات تنصهر (إلكترودات عارية).

إن استخدام إلكترودات من الغرافيت محدود جداً حالياً ويقتصر على لحام بعض أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ والفولاذ الذي يحافظ على متانته بارتفاع درجات حرارته. أما اللحام باستعمال إلكترودات من معدن التنجستين وفي وسط من أحد الغازات الخاملة أو في مزيج من هذه الغازات فتستخدم للحام أكثر المعادن وسبائكها. ويمكن أن تتم عملية اللحام باستخدام تيار مستمر أو متناوب. وقد أثبتت التجارب أن لحام المعادن وسبائكها، وفي وسط من الغازات الخاملة، يمكن أن يتم باستخدام إلكترودات مصنوعة ليس من معدن التنجستين النقي وإنما مضاف إليه نسبة قليلة ( $2\% \div 1,5\%$ ) من معدن الثوريوم أو الإيثوريوم أو اللانثانيوم أو الزركونيوم (Zr). فمثلاً إضافة أكاسيد الإيثوريوم واللانثانيوم بنسبة ( $1,5\% \div 2\%$ ) تزيد من صلابة الإلكترود وتسمح بمرور تيار كهربائي تزيد شدته بمقدار ( $15\%$ ) على شدة التيار المسموح بها في حالة استخدام إلكترود من معدن التنجستين النقي. تجري قبل اللحام عملية شنفرة نهاية الإلكترود على شكل مخروط زاوية رأسه تساوي 60° ويكون طول هذا المخروط مساوياً (3-2) أمثال قطر الإلكترود. وتؤثر عملية الشنفرة هذه في شكل الدرزة اللحامية الناتجة وأبعادها. فمثلاً كلما صغرت زاوية رأس المخروط وصغر قطر نهاية الإلكترود كان عمق تغلغل الصهر أكبر. تتعلق الميزات التقنية للقوس الكهربائي بصفة أساسية بنوع التيار المستخدم وقطبيته، فعند استخدام قطبية مباشرة تصل كمية الحرارة التي تعطيها القوس للوصلة إلى ( $70\%$ ) من كمية حرارته الكلية، وهذا

يصل تصريف الغاز في هذه الحالة إلى (40 ÷ 50 L/min) فيضغط الغاز القوس المشتعل من جميع جوانبه مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الأخير. يسبب ضغط الغاز (1) والقوس (2) جرف المعدن المنصهر (3) جانباً ومن تحت القوس المشتعل بالذات مما يؤدي إلى تغلغل هذا القوس في معدن الأساس (4). ويتابع القوس في هذه الحالة اشتعاله تحت طبقة المعدن المنصهر. ويشكل حوض المعدن المنصهر الناتج بهذه الطريقة الدرزة للحامية. يمكن بهذه الطريقة لحام سماكات حتى (36 mm) ومن الوجهين من معدن التيتان أو الألمنيوم أو الفولاذ عالي نسب الخلط أو معادن أخرى. وكلما كان الوزن النوعي للمعدن المراد لحامه أقل أمكن لحام سماكات أكبر.

تصلح عملية اللحام بالكترود من التنجستين بصفة عامة للحام سماكات تتراوح بين (0,1 ÷ 6mm) ولكن يمكن استخدامها للحام سماكات أكبر من ذلك. ويمكن أن يتم اللحام دون استخدام معدن مضاف فتكون الدرزة للحامية في هذه الحالة ناتجة من صهر حواف القطعتين المراد وصلهما، أو باستخدام معدن مضاف وذلك إما بوضعه في المكان الذي سوف تتشكل فيه الدرزة للحامية وذلك قبل البدء بعملية اللحام أو أن يضاف على شكل سلك معدني تكون نهايته في منطقة اشتعال القوس.

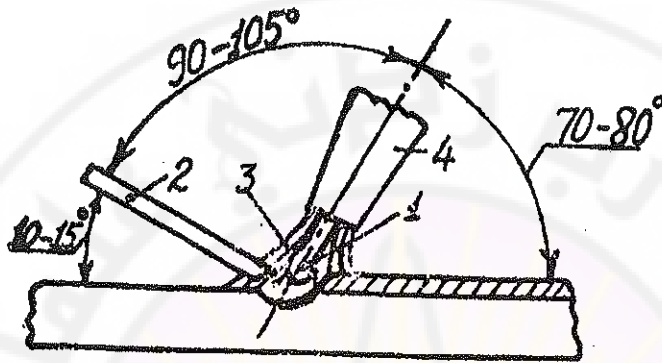
يتم لحام جميع الوصلات الزاوية أو التناكبية وفي جميع الأوضاع إما يدوياً أو نصف آلي أو آلياً.

تعتمد جودة الدرزات للحامية وبشكل كبير على نزع الهواء من منطقة اللحام وتتوقف كمية الغاز اللازمة للوقاية على تركيب المعدن المراد لحامه وسماكته ونوعية الوصلة وسرعة اللحام.

تتم عملية اللحام التناكبي، وللسماككات حتى (10 mm)، يدوياً ومن اليسار إلى اليمين (شكل 4-11). وعند لحام سماكات أقل من ذلك فإن الزاوية بين



الإلكترود والوصلة تساوي 60°. وأما عند لحام سماكات كبيرة فإن الزاوية بين الإلكترود والوصلة تساوي 90°، وتتم عملية اللحام في هذه الحالة من اليمين إلى اليسار.



الشكل (4-11): توضع الإلكترود وسلك المعدن المضاف عند اللحام في وسط من غاز الأرغون.

- 1- الإلكترود.
- 2- سلك المعدن المضاف.
- 3- الغاز الواقى.
- 4- ماسك الإلكترود.

وفي حالة اللحام الآلي ونصف الآلي فإن الإلكترود يتوضع عمودياً على سطح الوصلة. وتكون الزاوية بينه وبين سلك المعدن المضاف والذي قطره (  $2 \div 4 \text{ mm}$  ) تكون هذه الزاوية مساوية 90° تقريباً. ويكون اتجاه اللحام في أغلب الحالات بحيث يسمح بتوضع سلك المعدن المضاف في مقدمة القوس. يمكن (وكما ذكرنا آنفاً) أن تتم عملية اللحام في وسط من الغازات الواقية وباستخدام إلكترود منصهر. وتتعلق نوعية الغاز المستخدم للوقاية بنوع معدن الوصلة وسماكتها، يضاف إلى ذلك أنه يفضل استخدام التيار المستمر ذي القطبية المعكوسة في هذه الحالة وذلك لأن القوس يشتعل بشكل هادئ (متزن)، فعند استخدام التيار المستمر ذي القطبية المباشرة فإن كمية معدن الإلكترود

المنصهر تزيد بمقدار (30% ÷ 25) على تلك في حال استخدام القطبية المعكوسة، بينما يضعف اتزان القوس المشتعل وتزداد في هذه الحالة كمية المعدن الضائع على شكل قطرات منصهرة تتطاير حول منطقة اللحام. ولا يمكن استخدام التيار المتناوب للحام بالإلكترود منصهر وفي وسط من الغازات الواقية وذلك لأن اشتعال القوس لا يكون هادئاً.

عند اللحام باستخدام إلكترود منصهر فإن الدرزة اللحامية تنتج عن انصهار معدن الأساس وانصهار معدن الإلكترود في الوقت نفسه. لهذا فإن شكل الدرزة اللحامية وأبعادها تتعلقان بكيفية انصهار معدن الإلكترود وانتقال القطرات المنصهرة من الإلكترود إلى حوض اللحام بالإضافة إلى تعلقهما بسرعة اللحام ووضعية الإلكترود والوصلة في الفراغ أثناء اللحام.

لا يتجاوز قطر الإلكترود المستخدم في حالة اللحام هذه (3 mm). ويبين الجدول (2-10) قيم شدة التيار المستنتجة تجريبياً تبعاً لقطر الإلكترود ونوعية الغاز المستعمل للوقاية.

الجدول (2-10): قيم شدة التيار الدنيا والتي من أجلها يكون اشتعال القوس هادئاً (الإلكترودات مصنوعة من فولاذ سبائكي قليل نسب الخلط)

| قطر الإلكترود (mm) | شدة التيار في وسط من<br>الآرغون (A) | شدة التيار في وسط من<br>CO <sub>2</sub> (A) |
|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0,6                | 30                                  | 35                                          |
| 1,0                | 50                                  | 60                                          |
| 1,6                | 90                                  | 90                                          |
| 2,0                | 120                                 | 120                                         |

يمكن في بعض الحالات استخدام إلكترودات منصهرة قطرها (3 ÷ 5 mm) وتصل شدة التيار عندها إلى نحو (2000A)، ولكن مثل هذه الشدات العالية لا تعطي شكلاً جيداً للدرزات اللحامية في الوصلات التناكبية

بالإضافة إلى أنها يمكن أن تؤدي إلى إحداث شقوق تسمى شقوق الاحتراق في هذا النوع من الوصلات.

يؤثر طول الجزء الظاهر من الإلكترود في اتزان القوس المشتعل وأبعاد الدرزة اللحامية الناتجة. ويبين الجدول الآتي علاقة طول هذا الجزء بقطر الإلكترود المستخدم.

الجدول (10-3)

|       |       |      |     |     |                       |
|-------|-------|------|-----|-----|-----------------------|
| 2,0   | 1,6   | 1,0  | 0,8 | 0,5 | قطر الإلكترود (mm)    |
| 12-14 | 12-10 | 10-8 | 8-6 | 7-5 | طول الجزء الظاهر (mm) |

### 3-11- الخواص التعدينية للغازات المستخدمة في الوقاية:

يمكن أن تكون الغازات المستخدمة للوقاية خاملة (لا تتحد مع معدن الوصلة) أو نشطة (تتحد مع معدن الوصلة). مثلاً: يتفاعل غاز الأزوت مع الحديد والكروم ولا يتفاعل مع النحاس والكوبالت، بينما لا تتفاعل الغازات الخاملة (الهليوم والأرغون) مع أي من المعادن المختلفة أو سبائكها.

ولقد ذكرنا في بداية الفصل أنواع الغازات المستخدمة، ولكننا تحدثنا بشكل مفصل عن اللحام في وسط من غازات الهليوم والأرغون. وسوف نتحدث في هذا البند عن خواص جميع الغازات المستخدمة للوقاية (سواء أكان استخدام الغاز بشكل إفرادي أم مزيج مع غازات أخرى) وتأثير هذا كله في نوعية الوصلة اللحامية الناتجة. يتم اختيار الغاز الواقى عادةً انطلاقاً من خواص المعدن المراد لحامه والشروط الواجب توافرها في الدرزات اللحامية الناتجة للحصول على وصلات لحامية جيدة.

تستخدم الغازات الخاملة في حالة لحام المعادن النشطة كيميائياً وفي كل حالات اللحام الأخرى التي يطلب فيها الحصول على درزات لحامية متجانسة

التركيب بالنسبة لمعدن الأساس والمعدن المضاف. أما الغازات النشطة كيميائياً فتستخدم في الحالات التي يطلب فيها (وبعد إجراء عملية اللحام) إجراء عمليات تعدينية معينة على الوصلة اللحامية مثل: الأكسدة، والإرجاع، النترجة...الخ. يبين الجدول (4-11) الخواص الفيزيائية للغازات المستخدمة في الوقاية.



الجدول (4-11) الخواص الفيزيائية للغازات المستخدمة في الوقلية

| اسم الغاز             | الوزن<br>النسبي | الوزن<br>الجزيئي<br>النسبي | الكثافة عند درجة الحرارة<br>0 °C والضغط الجوي<br>(٧٦٠ مم زئبقي)<br>الغلي | درجة<br>الغليان<br>°C | التقلية الحرارية<br>النوعية<br>Cal/cm.sec. °C | السعة الحرارية عند<br>درجة الحرارة 0 °C<br>Cal/g. °C |
|-----------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| الآرغون               | 39,348          | —                          | 1,7833                                                                   | -185,5                | $0,378 \cdot 10^{-4}$                         | 0,125                                                |
| الهليوم               | 4,003           | —                          | 0,17847                                                                  | -268,9                | $3,32 \cdot 10^{-4}$                          | 1,251                                                |
| الهيدروجين            | 1,008           | 2,016                      | 0,08988                                                                  | -259                  | $4,72 \cdot 10^{-4}$                          | 3,40                                                 |
| الآزوت                | 14,008          | 28,016                     | 1,251                                                                    | -196                  | $0,580 \cdot 10^{-4}$                         | 0,248                                                |
| الأوكسجين             | 15,999          | 31,998                     | 1,429                                                                    | -183                  | $0,624 \cdot 10^{-4}$                         | 0,219                                                |
| ثاني أكسيد<br>الكربون | —               | 44,009                     | 1,977                                                                    | -78,9                 | $0,380 \cdot 10^{-4}$                         | 0,196                                                |

- إن الهدف من استخدام مزيج من الغازات الخاملة والنشطة في بعض حالات اللحام هو: الحفاظ على اشتعال القوس بشكل هادئ، زيادة عمق الصهر، الحصول على شكل مقبول للدرزات اللحامية، التخفيف من تطاير القطرات المنصهرة حول منطقة اللحام، زيادة كثافة معدن الدرزة اللحامية، التأثير في انتقال معدن الإلكترود المنصهر، رفع إنتاجية اللحام. ويجب الأخذ في الحسبان الناحية الاقتصادية أولاً عند اختيار مزيج من هذه الغازات.

ونورد فيما يلي حالات اللحام التي تستخدم فيها نسب مزج مختلفة من هذه الغازات ومقدار هذه النسب:

مزيج من  $[Ar + (1-5\%O_2)]$  يُستخدم هذا المزيج للحام الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط ومتوسطها واللحام في وسط من هذا المزيج يقلل من شدة التيار الحرجة ويقلل من وجود شقوق احتراق في الدرزات اللحامية كما يحسن في عملية الصهر ويرفع من إنتاجية اللحام.

مزيج من  $[Ar + (10-20\%CO_2)]$ : يستخدم هذا المزيج للحام الفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون والفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط، يشتعل القوس بشكل هادئ في هذا المزيج. ويمكن باستخدام هذا المزيج الحصول على درزات لحامية خالية من الفقاعات الغازية، والحصول على درزات لحامية جيدة في حالة السماكات القليلة.

مزيج من  $[75\%Ar + 20\%CO_2 + 5\%O_2]$ : يستخدم هذا المزيج في حالة لحام الفولاذ بالإلكترودات تنصهر، إذ يحافظ هذا المزيج على اشتعال القوس بشكل هادئ ويقلل من تطاير القطرات المنصهرة لمعدن الإلكترود حول منطقة اللحام، كما ويؤدي إلى تشكل درزة لحامية جيدة وخالية من الفقاعات الغازية.

مزيج من  $[Ar + (10-30\%N_2)]$ : يستخدم هذا المزيج في لحام النحاس وفي بعض أنواع الفولاذ الأوستينيتي المقاوم للصدأ. يزيد هذا المزيج في خاصية الصهر عند القوس.

مزيج من  $[80\%CO_2 + 20\%O_2]$ : يستخدم هذا المزيج للحام الفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون والفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط. يتميز هذا المزيج بخاصية الأكسدة العالية فيه، وهذا يؤدي إلى تشكل طبقة من الخبث فوق الدرزة اللحامية أكبر من تلك في حالة اللحام في وسط من  $CO_2$  وحده. يؤدي هذا المزيج إلى: تغلغل في عمق الصهر أكبر، تشكل درزة لحامية جيدة، التخفيف من تطاير القطرات المنصهرة لمعدن الإلكترود، زيادة كثافة معدن الدرزة اللحامية.

نود أن ننوه في نهاية هذا الفصل إلى أن عامل صهر معدن الإلكترود ( $\alpha_m$ ) لا يتعلق بنوعية الغاز المستخدم للوقاية وإنما يتعلق على نحو كبير بقطبية التيار، ويعطي الجدول (11-5) أرقاماً استنتجت تجريبياً لهذا العامل وفي حالة اللحام بالإلكترود منصهر ومصنوع من الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط قطره (1.6 mm) وشدة التيار (350A) وطول الجزء الظاهر من الإلكترود (20 mm).

الجدول (11-5): قيم عامل صهر معدن الإلكترود ( $\alpha_m$ ) (g/A.h)

| اسم الغاز          | القطبية |        |
|--------------------|---------|--------|
|                    | مباشرة  | معكوسة |
| آرغون              | 26,8    | 15,6   |
| هليوم              | 27,2    | 15,3   |
| آزوت               | 25,2    | 15,3   |
| ثاني أكسيد الكربون | 25,2    | 16,0   |





## **الفصل الثاني عشر**

### **اللحام بالبلازما**

- 1- تعريف وطرائق الحصول على البلازما.
- 2- مزايا وتقانة اللحام بقوس البلازما.
- 3- تقانة اللحام بقوس البلازما مع استخدام إلكتروود ينصهر.



## اللحام بالبلازما

### 12-1- تعريف البلازما:

تعرف البلازما على أنها الغاز المتأين جزئياً أو كلياً. ويتألف هذا الغاز من ذرات وجزيئات معتدلة ومن شوارد (أيونات) والكثروونات. ويمكن عد الغاز المشرد كهربائياً هو الحالة المثلى للبلازما. إن البلازما الناتجة عن غاز متأين وتحت ضغط عالٍ يزيد على:  $(1 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2})$  تملك خاصية التوازن الحراري المركّز (أي أنه في مكان صغير وبالقرب من النقطة المعتبرة تتساوى درجات الحرارة للإلكترونات و الشوارد والجزيئات المعتدلة).

وهناك نوعان من البلازما:

أ- البلازما الساخنة: وتسمى عادة (بلازما النواة الحرارية). تتميز بدرجات حرارتها العالية نسبياً، والتي تبلغ عشرات الملايين من الدرجات.

ب- البلازما الباردة: وتسمى عادةً (بلازما التأين الغازي). وتتميز بدرجات حرارتها المنخفضة نسبياً. وتعلق قيم هذه الدرجات بنوع الوسط الغازي المتأين. لهذا هناك ثلاثة أنواع من هذه البلازما:

- بلازما درجة حرارتها  $(2000 \div 3000^\circ\text{C})$ : وتستخدم فيها المعادن القلوية كعناصر مضافة.

- بلازما درجة حرارتها  $(5000 \div 20000^\circ\text{C})$ : وتتولد في أقواس ذات استطاعة متوسطة. وتبلغ شدة التيار المستخدم  $(1000 \div 1500\text{A})$ ، وتبرد هذه الأقواس بتيار غازي من أحد الغازات التالية: آرغون، آزوت، أكسجين، هيدروجين.

- بلازما درجة حرارتها  $(40000 \div 50000^\circ\text{C})$ : وتتولد في أقواس ذات استطاعة عالية، وتبرد هذه الأقواس بتيار مائي.

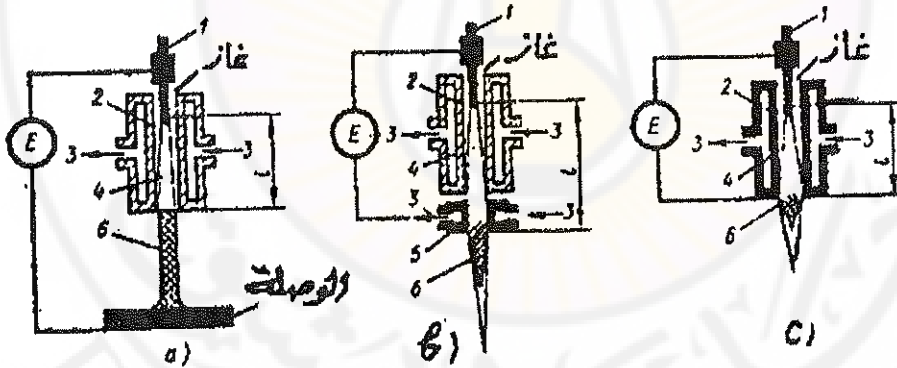
## 2-12- طرق الحصول على البلازما:

تنتج البلازما في معدات خاصة. وتسمى هذه المعدات في تقنية اللحام مشاعل البلازما. وتستخدم في الصناعة بشكل رئيس مشاعل البلازما التي تنتج في أقواس تغذى بتيار مستمر. وأكثر طرق الحصول على البلازما شيوعاً هي تلك التي يستخدم فيها الغاز للتبريد المكثف لقوس يشتعل في قنال ضيقة نسبياً ومبردة بالماء.

يوجد من الناحية التصميمية نوعان من مشاعل البلازما:

### 1- مشاعل للحام بقوس البلازما:

وتسمى عادةً المشاعل ذات التأثير المباشر (شكل 12-1.a) ويكون أحد الإلكترودات في هذه المشاعل هو المعدن المراد لحامه. ويستخدم في هذه الحالة منبعان للطاقة: تيار البلازما، بقعة القوس النشطة كهربائياً. ويبلغ مردود هذه المشاعل (أي مقدار الطاقة الكهربائية المستخدمة) نحو (60 ÷ 80%)



شكل (12-1): الأشكال المبدئية لمشاعل البلازما وذلك للحصول على:

a- قوس البلازما (تتحد الفوهة مع القنال - أي يتحد تيار البلازما مع عمود القوس).

b- تيار البلازما (تتفصل الفوهة عن القنال - أي ينفصل تيار البلازما عن عمود القوس).

C- تَنَحْد الفوهة مع القنال 1- إلكترود 2- قنال 3- ماء للتبريد

4- عمود القوس 5- فوهة نحاسية 6- تيار البلازما

E- مصدر للتيار الكهربائي

L- مقدار تغلغل الإلكترود في القنال

## 2- مشاعل للحام بتيار البلازما:

وتُسمى عادةً المشاعل ذات التأثير غير المباشر (شكل 12-1 b,c). وللتخفيض من الحمل الحراري على الإلكترودات تستخدم مشاعل البلازما التي يكون القوس فيها واقعاً تحت تأثير مغناطيسي. وتبلغ القيمة العظمى لمردود هذه المشاعل (وفي حال تصريف كميات كبيرة من الغاز) نحو  $(50\% \div 70\%)$ .

يتم اختيار قطر الإلكترود ونوعية الغاز المشكل للبلازما حسب الشروط المطلوب توافرها في عملية اللحام. ويستخدم كغازات منظّمة: الآزوت، الأرجون، الهيدروجين، الهليوم، الهواء، أو مزيج من غازين أو أكثر من هذه الغازات وتُصنع الإلكترودات عادةً من النحاس أو التنجستين.

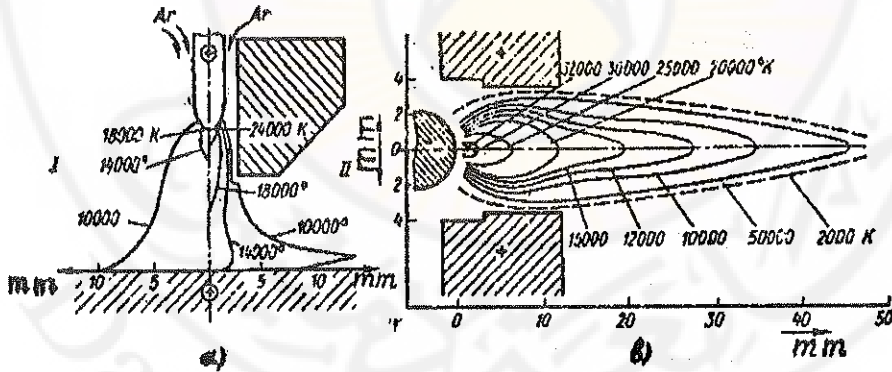
لا تتحول الاستطاعة الكهربائية الواصلة إلى شحنة القوس في مشعل البلازما إلى طاقة كامنة وطاقة حركية لتيار البلازما، ذلك لأن جزءاً من طاقة القوس يصرف على تسخين الإلكترودات، بينما يتسرب جزء آخر في الهواء المحيط نتيجة لوجود ما يسمى التبادل الحراري والإشعاعي. إن شدة التبادل الحراري للقوس مع عناصر أخرى من مشعل البلازما تتحدد بشكل رئيس بالعوامل الآتية لتيار البلازما مثل: الاستطاعة، درجة الحرارة، الإنتالبي، السرعة، مقاسات القنال والفوهة النحاسية. ويجب أن نذكر هنا أن شدة التيار الكهربائي وطول القوس وتصريف الغاز تؤثر جميعها وبشكل رئيس في الاستطاعة المصروفة على تسخين الإلكترودات.

### 12-3- مزايا تيار البلازما:

إن نواة تيار البلازما هي أكثر المناطق إشعاعاً كلما ابتعدنا عن النواة قل الإشعاع، أما طول تيار البلازما فيمكن تحديده بعد معرفة استطاعة القوس وأبعاد الفوهة ونوع الغاز المصروف وكميته، فعندما تكون حركة الغاز خطية فإن تيار البلازما يكون طويلاً وقليل الاختلاط مع الهواء المحيط، وعندما تكون حركة الغاز دورانية فإن تيار البلازما يكون قصيراً.

أما شكل تيار البلازما فيمكن تحديده بمعرفة شكل الفوهة النحاسية. وبعد معرفة كل هذه المزايا لتيار البلازما يمكن تحديد كيف سيكون توزع التأثير الحراري لهذا التيار على سطح الوصلة.

تتوزع درجة حرارة قوس البلازما وتياره قطرياً وطولياً بشكل غير منتظم (شكل 12-2). وتكون درجة الحرارة العظمى في مركز التيار. وتصل درجة الحرارة في مقدمة تيار البلازما، أي بالقرب من الكاثود إلى نحو  $(24000 \div 32000^\circ\text{C})$ .



الشكل (12-2): توزيع الحرارة

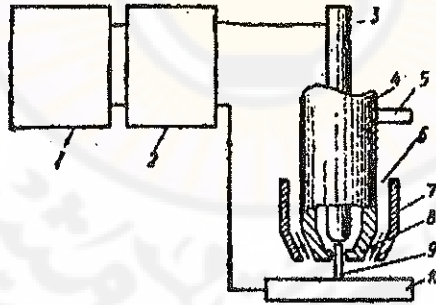
a- في قوس البلازما: I- شحنة القوس غير منتظمة بتيار غازي عند اللحام في وسط من الأرجون: شدة التيار الكهربائي (200A)، توتر القوس (14.5V)، II- تشتعل شحنة القوس في قنال مشعل البلازما وفي تيار الأرجون

بين إلكترود من التنجستين وصفيحة نحاسية: قطر القنال (4.9 mm)، تصريف  
الآرغون ( $1.08 \text{ m}^3/\text{h}$ )، شدة التيار (200A)، توتر القوس (29V).  
b- في تيار البلازما.

#### 12-4- تقانة اللحام بقوس البلازما:

يُستخدم قوس البلازما في لحام الفولاذ المقاوم للصدأ والتيتان وسبائك النيكل  
والمولبيدينوم والتنجستين ومعادن وسبائك أخرى كثيرة تستعمل في مجالات  
الصناعة المختلفة مثل: صناعة الطائرات، الالكترونيات، البواخر، الصناعات  
البيتروكيميائية ومجالات أخرى.

وتختلف طريقة اللحام بقوس البلازما الأرغوني (أي غاز الأرغون يشكل  
البلازما) عن طريقة اللحام في وسط من غاز الأرغون (أي غاز الأرغون  
يستخدم للوقاية) بأن اشتعال القوس في الأولى يكون أكثر اتزاناً ويصهر هذا  
القوس وبشكل متساوٍ حواف القطعتين المراد وصلهما.  
إن أكثر طرق اللحام بقوس البلازما شيوعاً هي تلك الطريقة التي يتم فيها  
بدء اشتعال القوس بين الإلكترود غير المنصهر ومعدن الوصلة (شكل 12-3).



الشكل (12-3): اللحام بقوس البلازما

- 1- منبع التغذية بالتيار الكهربائي 2- مولد ذو تردد عال 3- إلكترود من معدن  
التنجستين 4- الغاز المشكل للبلازما 5- ماء للتبريد 6- الغاز المستخدم للوقاية 7- فوهة  
للغاز المستخدم للوقاية 8- فوهة لتشكل القوس 9- القوس 10- الوصلة.

يأخذ قوس البلازما عادةً شكلاً أسطوانياً، لهذا لا تتعلق مساحة سطح المعدن والتي من خلالها يتم نقل الحرارة من تيار البلازما إلى معدن الوصلة، لا تتعلق هذه المساحة بالبعد بين الإلكترود والوصلة. ولهذا وبفضل الشكل الأسطواني لقوس البلازما فإن اللحام بوساطته أقل تأثراً بتغير طول القوس من اللحام العادي في وسط من الأرجون الواقى.

إن تغير طول القوس الذي نهايته على شكل مخروط (عند اللحام في وسط من الأرجون) يؤدي إلى تغير قطر القطعة المسخنة بهذا القوس، ويتغير نتيجة لذلك عرض الدرزة اللحامية. أما اللحام بقوس البلازما فإنه يمكن الحصول على بقعة مسخنة ذات قطر ثابت على طول الوصلة مما يؤدي في النتيجة إلى تنظيم عملية صهر معدن الأساس. هذه الخاصية لقوس البلازما يستفاد منها في الوقت الحاضر وبنجاح كبير في عمليات لحام السماكات الرقيقة.

إن عملية تصريف الغاز المكل للبلازما يجب أن تتم بحيث تكون حركة البلازما من مصدرها غير دورانية ومن ثم لا يؤدي دفع تيار البلازما على سطح حوض الصهر إلى تطاير المعدن المنصهر.

إن الغازات التي تستخدم لتشكيل البلازما هي: الأرجون أو مزيج منه مع الهيدروجين أو الهليوم. وأما الغازات التي تستخدم لحماية حوض الصهر من التأكسد وذلك عند لحام الفولاذ السبائكي والنحاس والنيكل وسبائكه فهي: الأرجون مع (5 ÷ 8%) من الهيدروجين، ولا يمكن استعمال الهيدروجين كغاز واق في حالة لحام التيتان وذلك لأن الهيدروجين يتفاعل مع هذا المعدن.

وأما عند لحام الفولاذ الكربوني قليل نسب الكربون والفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط فإن الغاز المستخدم للوقاية هو ثاني أكسيد الكربون.

يؤثر تركيب الغاز المستخدم للوقاية في عمق الصهر ومن أجل شدة التيار نفسها. وعلى سبيل المثال نذكر أن زيادة كمية قليلة من الهيدروجين مع



الآرغون تزيد في عمق الصهر. لهذا يجب ألا تزيد كمية نسبة الهيدروجين في هذا المزيج على (7%). وأما عمق الصهر عند استخدام غاز الهليوم للوقاية فإنه أقل مما لو استخدم الآرغون أو مزيج منه مع الهيدروجين.

إذا كانت نسبة الهيدروجين في المزيج مع الآرغون قليلة جداً وذلك عند لحام الفولاذ المقاوم للصدأ بقوس البلازما فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى تشكل الفقاعات الغازية في الدرزة اللحامية. وتتعدم هذه الظاهرة إذا ازدادت نسبة الهيدروجين في المزيج حتى (7,5%). ويمكن تعليل ذلك بتنوع الشروط الحرارية لتبلور المعدن في كل من الحالتين.

يمكن باستخدام قوس البلازما إجراء عملية اللحام التناكبي لسماكات حتى (9.5 mm) من دون شنفرة الحواف ومن دون استخدام سلك المعدن المضاف، ويمكن في بعض الأحيان إجراء عملية اللحام التناكبي وبنجاح ولسماكات حتى (12.5 mm) وبمسار واحد فقط. أما عند لحام السماكات حتى (25 mm) فإن ذلك يتطلب شنفرة الحواف على شكل V أو U. ويجب أن يكون عمق الشنفرة وزاويتها أقل منه في حالة اللحام في وسط من غاز الآرغون الواقى، لهذا تكون كمية المعدن المضاف في حالة اللحام بقوس البلازما أقل بنحو ثلاث مرات من تلك في حالة اللحام في وسط من الآرغون الواقى.

يمكن أن تتم عملية اللحام بقوس البلازما في جميع الأوضاع (أفقياً، عمودياً، سقياً.... الخ)، ويبين الجدول (1-12) أنظمة اللحام بقوس البلازما المستخدمة في الوقت الحاضر للحام بعض المعادن والسبائك المعدنية:

الجدول (12-1): أنظمة اللحام بقوس البلازما لوصلات تناكيبية ودون استخدام سلك المعدن

المضاف

| الغاز الوافى                 |                            | الغاز المشكل للبلازما        |                            | عناصر القوس |          | قطر الفوهة | سرعة اللحام | سمالة الوصلة                         | اسم المعدن                 |     |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------|----------|------------|-------------|--------------------------------------|----------------------------|-----|
| التصريف<br>m <sup>3</sup> /h | التركيب                    | التصريف<br>m <sup>3</sup> /h | التركيب                    | توتر<br>V   | شدة<br>A | mm         | m/min       | mm                                   |                            |     |
| 0,99                         | Ar +<br>7,5%H <sub>2</sub> | 0,14                         | Ar +<br>7,5%H <sub>2</sub> | 31          | 160      | —          | 0,97        | 2,4                                  | الفلوز<br>المقاوم<br>للصدأ |     |
| 1,27                         |                            | 0,28                         |                            | 32          | 145      |            | 0,61        | 3,2                                  |                            |     |
| 1,41                         |                            | 0,34                         |                            | 38          | 240      |            | 0,41        | 4,8                                  |                            |     |
| 1,40                         | Ar                         | 0,50                         | Ar                         | 35          | 305      | 2,4        | 0,19        | 12,7                                 |                            |     |
| 0,85                         |                            | 0,23                         |                            | 21          | 185      |            | —           | 0,51                                 |                            | 3,2 |
| 1,27                         |                            | 0,34                         |                            | 26          | 190      |            |             | 0,38                                 |                            | 4,8 |
| 0,85                         | Ar                         | 0,113                        | Ar                         | 38          | 285      | 2,4        | 0,254       | 12,7                                 | التيتان                    |     |
| 1,13                         |                            | 0,34                         |                            | 27          | 180      |            | 0,40        | 3,5                                  |                            |     |
| 0,057                        |                            |                              |                            |             |          |            |             |                                      |                            |     |
| 1,40                         | 0,085 +<br>+ 0,028         | He + Ar                      | 35                         | 305         | 2,4      | 0,254      | 6,4         | فولان قليل<br>نسب الكربون<br>المنيع* |                            |     |
| 0,85                         | 27                         |                              | 85                         |             |          |            |             |                                      |                            |     |

ملاحظة: يتم لحام الألمنيوم بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة. أما لحام بقية المعادن فيتم بتيار ذي قطبية مباشرة.

#### 5-12- تقانة اللحام بقوس ميكرو البلازما:

يمكن باستخدام قوس ميكرو البلازما لحام السماكات التي تراوح بين ( 0.025-0.8 mm ) من الفولاذ الكربوني والفولاذ الذي لا يصدأ ( stainless steel ) والنحاس والنيكل والتيتان والتنتاليوم والموليبيدينوم والتنجستين ومعادن وسبائك أخرى كثيرة. تراوح شدة التيار المستخدمة في هذه الحالة بين ( 0.1-10A ).

يلقى اللحام بقوس ميكرو البلازما استخداماً واسعاً في الوقت الحاضر في الصناعات الإلكترونية المختلفة وفي صناعة الأجهزة.

إن تغير طول قوس ميكرو البلازما (وبالمقارنة مع تغير طول القوس في حالة اللحام في وسط من الأرجون الواقي) يؤثر وبشكل قليل جداً في جودة الوصلة اللحامية، يتغير طول قوس ميكرو البلازما في حدود (  $\pm 1.27$  mm ). بينما يتغير طول القوس عند اللحام العادي وفي وسط من الأرجون في (  $\pm 0,127$  mm ).

يبين الجدول (2-12) أنظمة اللحام بقوس ميكرو البلازما لصفائح معدنية تتأكس.

الجدول (12-2): أنظمة لحام ميكرو البلازما لصفائح تناعبية (الغاز المشكل للبلازما هو الأرجون: تصريفه (17 L/h)

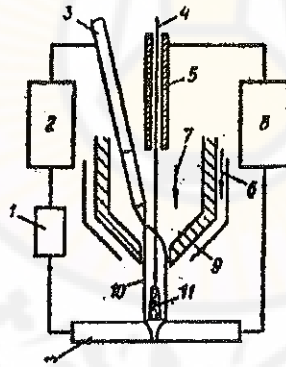
| سرعة اللحام<br>Cm/min | الغاز الواقى            |                | شدة التيار<br>A | سمائة<br>الصفائح<br>mm |
|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------|------------------------|
|                       | التركيب                 | التصريف<br>L/h |                 |                        |
| الفولاذ المقاوم للصدأ |                         |                |                 |                        |
| 7,6                   | Ar                      | 710            | 10              | 0,79                   |
| 12,7                  | 0,5%H <sub>2</sub> + Ar | 425            |                 | 0,76                   |
| 20,2                  |                         |                | 566             | 6                      |
| 38,1                  | 3%H <sub>2</sub> + Ar   | 510            | 5,6             |                        |
| 12,7                  | 0,5%H <sub>2</sub> + Ar | 566            | 2               | 0,12                   |
| 33                    | 50%H <sub>2</sub> + Ar  |                |                 |                        |
| 15,2                  | 0,5%H <sub>2</sub> + Ar |                | 1,6             | 0,08                   |
| 12,7                  |                         |                | 0,3             |                        |
| التيتان               |                         |                |                 |                        |
| 22,9                  | 75%He + Ar              | 566            | 12              | 0,56                   |
| 14                    |                         |                | 5,8             | 0,38                   |
| 12,7                  | 50%He + Ar              |                | 5               | 0,20                   |
| 15,2                  |                         | 3              | 0,02            |                        |
| النيكل                |                         |                |                 |                        |
| 15,2                  | 1%H <sub>2</sub> + Ar   | 566            | 3,5             | 0,41                   |
| 38,1                  | 75%He + Ar              |                | 6               | 0,30                   |
| النحاس                |                         |                |                 |                        |
| 15,2                  | 75%He + Ar              | 566            | 10              | 0,08                   |

## 6-12- تقانة اللحام بقوس البلازما وباستخدام إلكترود منصهر:

يمكن عد هذه الطريقة بأنها تجمع ما بين طريقة اللحام بقوس البلازما وطريقة اللحام بالإلكترود المنصهر في وسطٍ من الغاز الخامل (انظر الشكل 4-12).

يكون وضع الإلكترود المنصهر عادةً بحيث ينطبق محوره على محور قوس البلازما. وأما إلكترود التنجستين والمتوضع في حجرة القوس لمشعل البلازما فإنه يميل عادةً بزاوية معينة على محور هذا المشعل. يمكن أن ينعقد وجود إلكترود التنجستين في بعض مشاعل البلازما ويعوض عنه في هذه الحالة بفوهة داخلية.

يغذي الإلكترود المنصهر بمصدر تيار كهربائي خاص به. يوضح الجدول (3-12) كمية معدن الإلكترود المنصهرة التي تتعلق بمجموعة عناصر نظام اللحام (شدة التيار، قطر الإلكترود، قطبية التيار، قطر الفوهة... الخ).



الشكل (4-12) مخطط اللحام بقوس البلازما مع إلكترود منصهر

- 1- منبع التيار 2- جهاز التقوية للتيار 3- إلكترود من التنجستين
- 4- إلكترود ينصهر 5- موصل للتيار 6- غاز واقٍ 7- الغاز المشكل للبلازما
- 8- منبع للتيار 9- فوهة نحاسية 10- قوس البلازما
- 11- قوس اللحام 12- الوصلة اللحامية.

الجدول (12-3): علاقة كمية الإلكترون المنصهر بعناصر نظام اللحام

| كمية معدن<br>الإلكترون<br>المنصهر<br>Kg/h | القطبية | الإلكترون المنصهر      |                | عناصر القوس                                   |                 |                                                 |                 |
|-------------------------------------------|---------|------------------------|----------------|-----------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|-----------------|
|                                           |         | قطر<br>الإلكترون<br>mm | نوع المعدن     | قوس اللحام (بين الإلكترود<br>المنصهر والوصلة) |                 | قوس البلازما (بين الإلكترود<br>المنصهر والوصلة) |                 |
|                                           |         |                        |                | توتر القوس<br>V                               | شدة التيار<br>A | توتر<br>القوس                                   | شدة التيار<br>A |
| 0,66                                      | مباشرة  | 0,5                    | فولاذ قليل نسب | -                                             | 0               | 25                                              | 170             |
| 1,68                                      |         | 1,2                    | الكربون        |                                               |                 | 41                                              | 134             |
| 4,62                                      |         | 1,6                    | فولاذ سبائكي   |                                               |                 | 46                                              | 264             |
| 11,4                                      |         | 1,2                    | قليل نسب الخلط |                                               |                 | 42                                              | 230             |
| 23,4                                      | معكوسة  | 1,6                    | قليل نسب الخلط | 35                                            | 220             | 49                                              | 350             |
| 1,26                                      |         | 1,2                    | فولاذ قليل نسب | 38                                            | 470             | 41                                              | 126             |
| 5,40                                      |         |                        | الكربون        | 0                                             | 225             | 45                                              | 105             |
| 13,2*                                     |         |                        | فولاذ مقاوم    | -                                             | 300             | 48                                              | 92              |
| 7,2                                       |         |                        | للصدأ          | 30                                            | 250             | 39                                              | 125             |
| 29,4*                                     |         | 1,2                    | الألمنيوم      | 35                                            | 470             | 52                                              | 100             |
| 1,68                                      |         |                        |                | 47                                            | 250             | 39                                              | 125             |
| 21,0*                                     |         |                        |                | 21                                            | 115             | 33                                              | 85              |
|                                           |         |                        |                | 36                                            | 390             | 43                                              | 105             |

\* - في حالة الحركة الدورانية لقوس البلازما.

$$(30 \frac{\text{Kg}}{\text{h}})$$

ويمكن أن تصل هذه الكمية في بعض الأحيان إلى نحو:

يجب أن نذكر هنا أنه إذا كانت عملية اللحام هذه تجري باستخدام قطبية معكوسة وبكلا الإلكترودين (المنصهر وغير المنصهر) وإذا كانت شدة التيار المغذي للإلكتروود المنصهر عالية فإننا نلاحظ أن لقوس البلازما حركة دورانية. ونتيجة لهذه الحركة الدورانية لقوس البلازما ينتج لدينا درزات لحامية عريضة وأما عمق الصهر فيها فقليل جداً.





## **الفصل الثالث عشر**

### **اللحام بالأشعة الإلكترونية**

- 1- مبدأ اللحام بالأشعة الإلكترونية.
- 2- تقانة اللحام بالأشعة الإلكترونية في وسط مخلخل.



## الحام بالأشعة الإلكترونية

### 13-1- مبدأ توليد الأشعة الإلكترونية:

تُستخدم الإلكترونات في التقانة الحديثة لتحريض الضوء الوارد على شاشة أنابيب الأشعة الإلكترونية لرواسم الاهتزاز المهبطية والتلفزيونات. وتُستخدم الظواهر (الناجمة عن إطلاق الإلكترونات على مواد معينة) في المجاهر الإلكترونية وأجهزة الأشعة السينية وأجهزة التحليل الطيفي - الكمي وفي أجهزة أخرى كثيرة.

يعد الإلكترون أصغر جزيئة مشحونة كهربائياً من المادة وأقلها استقراراً ويمكن الحصول عليه حرراً، أي باستخدام الطاقة المناسبة يمكن أن يحدث انبعاث الإلكترون من سطح المعدن. وغالباً ما يستعمل للحصول على إلكترونات حرة ما يسمى المهبط الترمو إلكترونية. ويتم ذلك بتسخين المهبط لدرجات حرارة عالية تستطيع عندها الإلكترونات أن تكتسب السرعة الكافية لأن تهجر المهبط إلى الفراغ المحيط به. ونتيجة لذلك يحدث ما يسمى الانبعاث الترمو - إلكتروني. وتتعلم شدة تيار الانبعاث الترمو إلكتروني بدرجة حرارة المهبط وعمل مخرج الإلكترون وخواص سطح المعدن (المهبط). ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة الآتية:

$$j_e = AT^2 e^{-e\phi_0/KT} \quad \text{حيث: (13.1)}$$

$$j_e - \text{كثافة تيار الانبعاث الترمو إلكتروني:} \left( \frac{A}{cm^2} \right)$$

A - ثابت الانبعاث، ويتعلق بخواص السطح المشع ويساوي لأغلب

$$\left[ \frac{40+70}{cm^2} \right] \quad \text{المعادن:}$$

T - درجة الحرارة المطلقة للمهبط (K).

-e أساس اللوغاريتم الطبيعي.

$-e\phi_0$  - عمل مخرج الإلكترون من المعدن (J).

$$K - \text{ثابت بولتسمان ويساوي: } \frac{J}{K} = 1.38 \cdot 10^{-23}$$

وتبين المعادلة (13,1) أن كثافة تيار الانبعاث تتعلق كثيراً بدرجة حرارة المهبط. ولكن زيادة درجة الحرارة تؤدي وبشكل مفاجئ إلى زيادة سرعة تبخر معدن المهبط. ونتيجة لذلك تقل مدة استخدامه.

تستطيع الإلكترونات الحرة تحت تأثير المجالات الكهربائية أو المغناطيسية أن تتحرك، وبما أن الإلكترون يملك أصغر كتلة من بين الجزيئات المادية المشحونة فإن الإلكترون يستطيع أن يتحرك وبتسارعات كبيرة جداً. فإذا وجد الإلكترون في مجال كهربائي ذي توتر  $E$  ومحصور بين صفيحتين متوازيتين (شكل 13-1)، فإن القوة المؤثرة في الإلكترون تساوي جداء شحنة الإلكترون بتوتر المجال (في المكان الموجود فيه الإلكترون)، العلاقة:

$$F = -eE \quad (13.2)$$

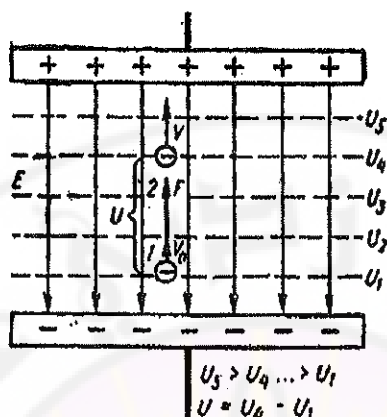
وتبين إشارة السالب في المعادلة (13,2) أنه نتيجة لشحنة الإلكترون السالبة فإن اتجاه القوة سيكون معاكساً لاتجاه توتر المجال الكهربائي. إن العمل الذي يبذله المجال الكهربائي على حركة شحنة الإلكترون من نقطة إلى نقطة أخرى يساوي جداء الشحنة بفرق التوتر بين هاتين النقطتين:

$$A = eU = e(U_4 - U_1) \quad (13.3)$$

حيث  $U$  - فرق الكمون بين النقطتين 1 و 2 (شكل 13-1). ويصرف هذا العمل على اكتساب الإلكترون لطاقة حركية. وتكتب هذه الطاقة الحركية بالمعادلة الآتية:

$$W_K = \frac{m_e(V^2 - V_0^2)}{2} \quad (13.4)$$

حيث:  $V_0$  و  $V$  - سرعة الإلكترون في النقطتين 1 و 2 على الترتيب.



الشكل (13-1) حركة الإلكترون في مجال كهربائي مسرّع

إن مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة للإلكترونات (وعند حركة هذه الإلكترونات في مجال كهربائي) يبقى ثابتاً. لهذا من المعادلتين (13,3) و (13,4) نجد أن:

$$\frac{m_e(V^2 - V_0^2)}{2} = eU \quad (13.5)$$

- فإذا كانت سرعة الإلكترون البدائية ( $V_0$ ) مساوية الصفر فإن العلاقة:

$$\frac{m_e V^2}{2} = eU \quad (13.6)$$

يمكن من المعادلة (13.6) أن نستنتج أن طاقة الإلكترونات تتعين بكتلتها وسرعتها. ويمكن أن تصل طاقة الإلكترونات إلى قيم كبيرة جداً. ويتعلق هذا بفرق التوتر في المجال الكهربائي المسرّع. ويمكن للسرعة أن تعين من خلال توتر المجال الكهربائي المسرّع وذلك وفق المعادلة التالية:

$$V = \sqrt{\frac{2e}{m_e}} U \quad (13.7)$$

فإذا استبدلنا في المعادلة (13.7) بكثافة الإلكترون  $m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ Kg}$  وشحنة الإلكترون  $(e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ K})$  يمكن إيجاد علاقة تقريبية لحساب سرعة الإلكترون:

$$V = 600\sqrt{U} \quad \text{Km/sec} \quad (13.8)$$

- من العلاقة (13.8) تبين أن السرعة التي يحصل عليها الإلكترون عند حركته في حقل كهربائي مسرع تتعلق فقط بفرق الكمون. ومن هذه العلاقة نلاحظ أن سرعة الإلكترونات يمكن أن تكون عالية جداً من أجل فرق كمون كبير نسبياً. فمثلاً: عند فرق كمون  $(U = 10000\text{V})$  فإن سرعة الإلكترونات تصبح  $(V = 60.000\text{Km/sec})$ . وعند هذه السرعة العالية للإلكترونات فإن كل العمليات الناجمة عن حركة الإلكترونات سوف تجري بسرعة أيضاً. فإذا تحكمنا باتجاه السرعة البدائية للإلكترونات وقيمتها وبتجاه الحقل الكهربائي المسرع وقيمته فإنه يمكننا أن نجبر الإلكترونات على الحركة بال مسار المحدود مسبقاً.

وهذا يؤدي إلى إمكان التحكم بحركة الإلكترونات والحصول على الطاقة المطلوبة من حركة الإلكترونات وكثافتها في الحزمة الإلكترونية... الخ. إن للحقل المغناطيسي التأثير نفسه في حركة الإلكترونات كما لهذا الحقل تأثير في تيار كهربائي يمر في سلك معدني. وتُعين القوة المؤثرة في الإلكترون المتحرك في الحقل المغناطيسي بالعلاقة الآتية:

$$F = B_e V \sin \alpha \quad (13.9)$$

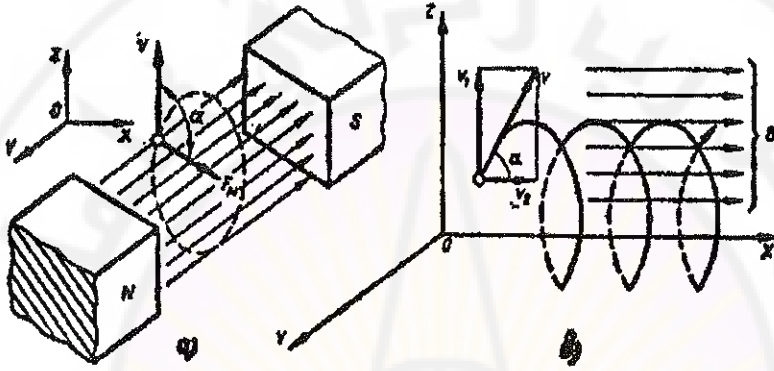
حيث:  $B_e$  - التحريض المغناطيسي.

$\alpha$  - الزاوية بين اتجاه التيار وخطوط القوى في الحقل المغناطيسي. من العلاقة (13.9) نجد أن الإلكترون الذي يتحرك باتجاه خطوط القوى المغناطيسية

نفسه ( $\alpha = 0$ ) لا يتأثر بهذا المجال المغناطيسي، وتبقى حركته بالسرعة البدائية  $V_0$  نفسها.

أما إذا كان اتجاه حركة الإلكترون عمودياً على خطوط القوى المغناطيسية ( $\alpha = \frac{\pi}{2}$ ) وكما في الشكل (13.2) فإن القوة المؤثرة في الإلكترون:

$$F = B_e V \sin \frac{\pi}{2} = B_e V \quad (13.10)$$



الشكل (13-2): مسار الإلكترون في الحقل المغناطيسي

يُعيّن اتجاه هذه القوة حسب قاعدة اليد اليسرى. وتكون هذه القوة دوماً عمودية على اتجاه السرعة اللحظية للإلكترون ( $V$ ) واتجاه خطوط القوى المغناطيسية. وحسب قانون نيوتن الثاني فإن هذه القوة تكسب الإلكترون الذي كتلته ( $m_e$ ) تسارعاً يساوي ( $B_e V/m_e$ ). وبما أن التسارع عمودي على اتجاه السرعة  $V$  فإن الإلكترون (تحت تأثير هذا التسارع العمودي والمتجه دوماً نحو المركز) سوف يتحرك على محيط دائرة عمودية على خطوط القوى المغناطيسية. يمكن أن يكون اتجاه السرعة البدائية غير عمودي على التحريض المغناطيسي أي أن: ( $\alpha < \frac{\pi}{2}$ ) وعندها فإن مسار حركة الإلكترون يُعيّن بمركبتي السرعة البدائية: المركبة العمودية  $V_1$  و المماسية  $V_2$  (انظر الشكل 13-2). وتكون المركبة الأولى عمودية على اتجاه خطوط القوى المغناطيسية وأما الثانية فتكون موازية لها.

يتحرك الإلكترون تحت تأثير المركبة العمودية في محيط دائري، وتحت تأثير المركبة المماسية يتحرك الإلكترون باتجاه خطوط القوى المغناطيسية نفسها ونتيجة تأثير هاتين المركبتين معاً فإن مسار حركة الإلكترون يأخذ شكلاً حلزونياً (انظر الشكل 13.2b). ويستخدم إمكان تغيير اتجاه حركة الإلكترون الواقع تحت تأثير حقل مغناطيسي للتحكم في توجيه التيار الإلكتروني وتركيزه في نقطة معينة (والتي تسمى المحرق).

تخزن الإلكترونات التي تتحرك في حقل كهربائي طاقة كبيرة جداً. وعندما تصطدم هذه الإلكترونات بسطح المعدن (المصعد) فإن سرعتها سوف تقل وبشكل مفاجئ نتيجة اصطدام هذه الإلكترونات بسطح المعدن (المصعد) مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته. فإذا فرضنا أن الإلكترونات عددها (N) في الثانية تصطدم بسطح المعدن (المصعد) فإن الاستطاعة التي يكتسبها هذا المعدن على شكل حرارة تساوي:

$$P_a = N \cdot e \cdot U \quad (13.12)$$

إن جداء (N.e) هو كمية الكهرباء (مقدرة بالكولونات) والتي يكتسبها المصعد في واحدة الزمن (sec). وهذا ما هو إلا شدة التيار مقدرة بالأمبيرات (A). لذا فإن الاستطاعة التي يكتسبها المصعد:

$$P_a = I_a \cdot U \quad (13.12)$$

## 2-13- مبدأ اللحام بالأشعة الإلكترونية:

إن تسخين المعدن عن طريق رمية بالإلكترونات هو في أغلب الأحيان ظاهرة غير مرغوب فيها. ولكن هذه الظاهرة بدأت في السنوات الأخيرة تستعمل كعامل ايجابي في عدة طرق تقانة متعلقة بالتأثير الحراري (اللحام،



الصهر، التشغيل، إزالة الأكاسيد السطحية...الخ). وهذا ما جعل استخدام الشعاع الإلكتروني كبيراً في الوقت الحاضر.

لقد ثبت أن الإلكترونات، التي تملك طاقة معينة تستطيع أن تنفذ في المادة. وتحدد سماكة الطبقة من المادة والتي يستطيع الإلكترون أن ينفذ منها ويخسر كل سرعته مسافة الإلكترون.

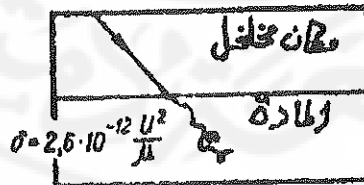
وتُعين مسافة الإلكترون بالمعادلة الآتية:

$$\delta = 2.6 \cdot 10^{-12} \frac{U^2}{\rho} \quad (13.13)$$

حيث:  $\delta$  - مسار الإلكترون (cm).  $U$  - التوتر المسرع (V).

$\rho$  - الوزن النوعي للمادة ( $\text{g/cm}^3$ ).

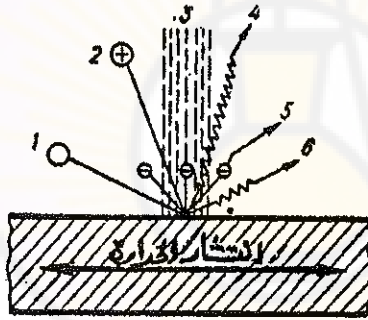
لقد بينت الحسابات التي أجريت وفق المعادلة (13.13) أن الإلكترونات تستطيع أن تنفذ في عمق المعدن مسافة عشرات الميكرومترات وحتى مئات الميكرومترات، وهذا يتعلق بقيمة التوتر المسرع وخواص المعدن (المصعد). إن عمق نفاذ الإلكترونات في المعدن غير كبير، إلا أن أخذه في الحسبان يسمح بتفسير بعض الظواهر المتعلقة بخواص التسخين الإلكتروني عند اللحام. يتبعثر الإلكترون الذي ينفذ إلى داخل المادة ويخسر طاقته نتيجة لارتطامه بمجموعة أنوية وإلكترونات في الهياكل الشبكية، مما يؤدي في النهاية إلى تغير سرعة الإلكترون وانحراف مسار حركته (انظر الشكل 13.3).



الشكل (13.3): مسار الإلكترون في المادة

تفقد الإلكترونات الجزء الأساسي من طاقتها في نهاية المسار داخل المادة. لهذا فإن التسخين الإلكتروني (اللحام بالأشعة الإلكترونية) يختلف عن طريق اللحام الأخرى بأن التسخين في الأخيرة يتم عن طريق انتشار الحرارة من السطح إلى الداخل، بينما يتم التسخين الإلكتروني في داخل المادة، لهذا فإن الإلكترونات تفقد طاقتها بشكل غير متساوٍ وعلى طول مسارها في المادة، وهذا يؤدي إلى أن الانتشار الحراري الأكثر كثافة يكون عادة على عمق معين من سطح المادة.

إن الصورة الفيزيائية للظواهر الخارجية المرافقة لتأثير الإلكترونات في المعدن تتألف من الإشعاع السيني (أشعة رونتجن والإشعاع الحراري والضوئي وظهور الإلكترونات الثانوية والمنعكسة وتبخّر المعدن على شكل ذرات وشوارد معدنية - انظر (الشكل 4-13).



الشكل (4-13): الصورة الفيزيائية للظواهر المرافقة لنفاذ الإلكترون في المادة.

- 1- جزيئات المعدن 2- شوارد 3- الشعاع الإلكتروني 4- الإشعاع السيني 5 - الإلكترونات المنعكسة والثانوية 6- الإشعاع الحراري والضوئي.

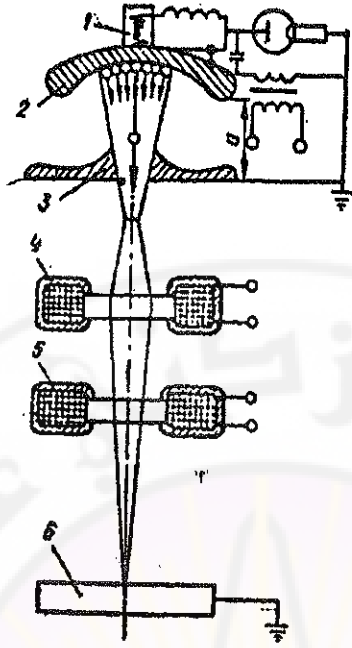
### 3-13- تقانة اللحام بالأشعة الإلكترونية في وسط مخلخل:

إن الميزة الأساسية لعملية اللحام بالأشعة الإلكترونية تكمن في استخدام الطاقة الحركية للإلكترونات التي تتحرك بسرعة هائلة جداً في الوسط المخلخل

عند ارتطام هذه الإلكترونات بسطح المعدن فإن الجزء الأكبر من طاقتها الحركية سوف يتحول إلى حرارة تستخدم لصهر المعدن. وفي حالة استخدام الأشعة الإلكترونية كمصدر حراري لعمليات اللحام فإنه من الضروري في البداية الحصول على إلكترونات حرة، ومن ثم جمعها في حزمة وإعطائها سرعات عالية جداً من أجل رفع طاقتها الحركية. هذه الطاقة التي تتحول كلياً فيما بعد إلى حرارة عند نفاذ الإلكترون داخل المعدن المراد لحامه.

يتم الحصول على إلكترونات حرة بوساطة مهبط معدنية تصدر هذه الإلكترونات، وأما تسريعها فيتم في حقل كهربائي ذي توتر عالٍ بين المهبط والمصدر، ويستخدم الحقل المغناطيسي لجمع هذه الإلكترونات في حزمة وتركيز اتجاهها نحو المحرق، ويحدث التوقف المفاجئ (الفرملة) لتيار الإلكترونات وبشكل آلي داخل المعدن المراد لحامه.

يتم توليد الشعاع الإلكتروني في جهاز خاص يُسمى المدفع الإلكتروني. ويوضح الشكل (5-13) رسماً تخطيطياً لآلة اللحام بالأشعة الإلكترونية. والمدفع الإلكتروني في هذه الآلة هو جهاز يتم بوساطته الحصول على حزمة إلكترونية ضيقة ولها كثافة طاقة عالية. ويتألف هذا الجهاز من المهبط (1) والذي يمكن تسخينه إلى درجات حرارة مرتفعة. ويتوضع المهبط داخل الإلكترود المهبطي (2). وعلى مسافة معينة يتوضع الإلكترود المسرع (3).



الشكل (5-13): رسم تخطيطي لآلة اللحام بالأشعة الإلكترونية

ويكون شكل الإلكترون المهبطي والمصعد حيث يؤمنان وجود حقل كهربائي بينهما قادر على جمع الإلكترونات في حزمة قطرها يساوي قطر فتحة المصعد. يمكن أن يصل فرق الكمون الموجب للإلكترونات المسرع إلى عشرات الآلاف من الفولتات، لذا تكتسب الإلكترونات الصادرة عن المهبط سرعة وطاقة عاليتين. وتتحرك الإلكترونات بعد خروجها من المصعد بسرعات متساوية تقريباً.

- يتم تغذية المدفع الإلكتروني بالكهرباء من منبع تيار مستمر ذي توتر عالٍ تتناقص الإلكترونات لأن شحنتها الكهربائية متشابهة مما يؤدي إلى توسع قطر الحزمة الإلكترونية، ومن ثم تناقص كثافة الطاقة فيها. لهذا ولزيادة كثافة الطاقة في الشعاع الإلكتروني الخارج من فتحة المصعد يتم تجميع هذا الشعاع بواسطة حقل مغناطيسي صادر عن عدسة مغناطيسية (4)، وهذا يؤدي في النهاية للحصول على حزمة الكترونية ذات كثافة طاقة عالية وقطرها صغير

جداً، وسوف ترتطم هذه الحزمة بالمعدن المراد لحامه (6) بسرعة عالية جداً، ونتيجة لفرملة هذه الحزمة الإلكترونية داخل المعدن فإن الطاقة الحركية للإلكترونات سوف تتحول إلى حرارة تسخن المعدن إلى درجة حرارة عالية. لتحريك الشعاع على طول الوصلة المراد لحامها يتم وضع نظام مغناطيسي موجه (5) والذي بوساطته يمكن تسديد الشعاع الإلكتروني على المنطقة المراد لحامها من الوصلة.

تُفَرِّغ الآلة عادةً من الداخل وليصبح ضغطها نحو ( $10^{-4}$  مم زئبقي) وذلك لأجل حركة الإلكترونات الحرة من المهبط إلى المصعد وبعدها إلى الوصلة اللحامية ولعزل المهبط حرارياً وكيميائياً وللتخلص من إمكان تولد قوس كهربائي بين الإلكترونين (الإلكترون المهبطي والإلكترون المسرع). ويتم التفريغ بجهاز تفريغ خاص يوصل بالآلة.

لا ترافق حركة الإلكترونات في الفراغ أي ظواهر ضوئية، لهذا فإن الشعاع الإلكتروني لا يمكن رؤيته، ولكن تأثيره في المعدن يمكن متابعته وذلك بتسخين هذا الشعاع للمكان الذي يرتطم به من سطح المعدن.

تعد كثافة الطاقة في مصدر اللحام إحدى المزايا الأساسية لهذا المصدر. فهي التي تحدد مردوده الحراري وشكل الصهر وأبعاد منطقة التأثير الحراري وعناصر أخرى كثيرة.

يعد التيار الإلكتروني من أكثر المصادر الحرارية مردوداً في عمليات اللحام. ذلك لأن كثافة طاقة الحزمة أعلى كثيراً من كثافة طاقة القوس الكهربائي.

يبين الجدول التالي أصغر المساحات لبقع تسخين يمكن تحقيقها بأكبر كثافة طاقة لمصادر حرارية مختلفة.

الجدول (13-1): كثافة الطاقة لمصادر حرارية مختلفة والمساحة

الصغرى لبقع التسخين

| المصدر الحراري                   | المساحة الصغرى لبقعة التسخين $cm^2$ | القيمة الأعظمية لكثافة الطاقة $W/cm^2$ |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|
| لهب الإكسي - إستيلين             | $10^{-2}$                           | $5.10^4$                               |
| القوس الكهربائي                  | $10^{-3}$                           | $1.10^5$                               |
| الشعاع الإلكتروني أو شعاع الليزر | $10^{-7}$                           | $5.10^8$                               |

نلاحظ من الجدول (13-1) أن كثافة الطاقة في الشعاع الإلكتروني تزيد نحو 5000 مرة على تلك في القوس الكهربائي. كما نلاحظ أن كثافة الطاقة في الشعاع الإلكتروني هي  $5.10^8 W/cm^2$  أي  $(500000 \text{ KW/cm}^2)$  أي أنه بواسطة حزمة الإلكترونية يمكن تركيز طاقة على مساحة  $(1 \text{ cm}^2)$  لا تعطيها عنفة غازية ضخمة.

يمكن الحصول على درجات حرارة عالية جداً في معدن مُعرض لشعاع الإلكترون في فترة زمنية قصيرة جداً. فقد أظهرت الحسابات أنه إذا كانت سماكة المعدن لا تتعدى مسافة الإلكترون فإن درجة حرارة منطقة التسخين سوف تصل إلى نحو  $(10^7 \div 10^8 \text{ } ^\circ C)$  في ثانية واحدة. ولكن المعدن في الشروط العملية لا يمكن أن تصل درجة حرارته إلى هذا الحد ذلك لأن سطحه يتبخّر عند ارتطام الحزمة الإلكترونية به، ومن المعروف أن السطح يكتسب الجزء الأكبر من طاقة هذه الحزمة. عدا ذلك يؤدي تبخر سطح المعدن إلى اختلاط المعدن المنصهر بنواتج التبخر مما يسبب تعديل درجات الحرارة.

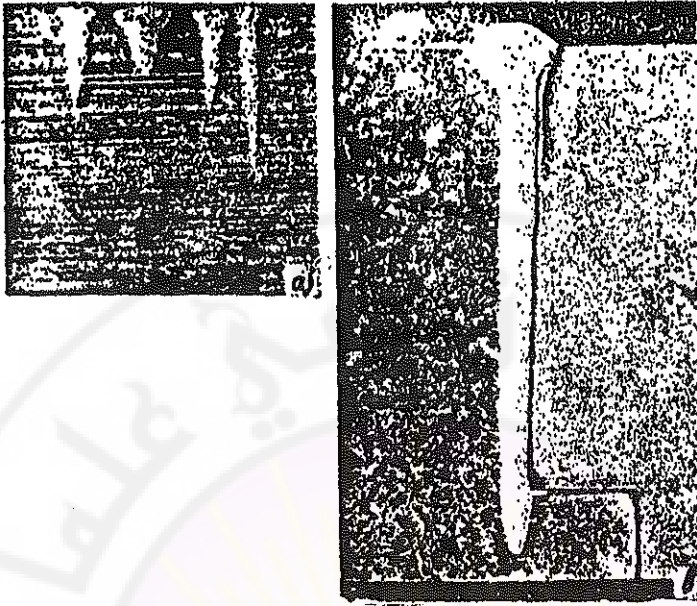
يجب أن تكون كثافة طاقة الحزمة الإلكترونية محدودة في حالات اللحام. ذلك لأنه عند استخدام حزمة إلكترونية ذات كثافة طاقة عالية فإن عملية صهر المعدن يرافقها عملية تبخر، وهذا يؤدي في النهاية إلى قص المعدن بدلاً من

لحامه وعلى هذا الأساس يتم تصميم المدافع الإلكترونية فيما يخص عمليات ثقب المعادن أو قصها أو لحامها.

إن كثافة طاقة الحزمة الإلكترونية تمكننا من لحام جميع أنواع المعادن وبسماكات مختلفة. ولكن عملية اختيار كثافة الطاقة في الحزمة الإلكترونية المستخدمة لعمليات اللحام تُحدد بمجموعة عوامل: خواص المعدن (درجة انصهاره، الناقلية الحرارية...الخ)، سماكة الوصلة، شكل الوصلة...الخ. فعند لحام المعادن التي درجات انصهارها مرتفعة والمعادن ذات الناقلية الحرارية الجيدة وفي حالة لحام السماكات الكبيرة فإن كثافة طاقة الحزمة الإلكترونية يجب أن تكون عالية، وعند لحام المعادن التي درجات انصهارها وتبخرها منخفضة وفي حالة لحام السماكات القليلة فإنه من الأفضل استخدام حزم إلكترونية ذات كثافة طاقة منخفضة، وأحياناً وفي مثل هذه الحالات يمكن استخدام الحزم الإلكترونية النبضية (الحزم المتولدة من إلكتروود مهبطي يغذيه تيار نبضي).

يبين الشكل (6-13) كيف يتغير شكل منطقة الصهر وأبعادها عند اللحام بالأشعة الإلكترونية وذلك تبعاً لتغير استطاعة آلة اللحام وفرق كمون الإكتروود المسرع (المصدر).

بقي أن نذكر أنه توجد في الوقت الحاضر آلات لحام بالأشعة الإلكترونية تكفي استطاعتها للحام سماكات كبيرة تراوح بين (200 - 500 mm).



الشكل (13.6): تغيير شكل وأبعاد منطقة الصهر تبعاً لتغير  
استطاعة آلة اللحام وتوتر الإلكترود المسرع



## **الفصل الرابع عشر**

### **اللحام بأشعة الليزر**

- 1- مبدأ توليد أشعة الليزر.
- 2- تقانة اللحام بأشعة الليزر الضوئية.
- 3- اللحام بأشعة الليزر الغازية.



## اللام بأشعة الليزر

### 14-1- المولدات الكوانتية ومبدأ توليد أشعة الليزر:

ظهرت المولدات الكوانتية منذ أمدٍ بعيد. ولكن يمكن بواسطة هذه المولدات في الوقت الحاضر الحصول على حزم ضوئية عالية الكثافة وموجهة، ويمكن تركيز طاقة هذه الحزم على مساحات لا تتعدى أجزاء من الألف من المليمتر المربع. وعلى هذا الأساس صُمِّمت في العصر الحاضر آلات أشعة الليزر وإنتاجها والتي تُستخدم في عمليات اللحام والقص والمعالجات الحرارية المختلفة... الخ، ويعد تحريض الضوء هو الأساس الذي يركز عليه عمل المولد الكوانتي وجهاز تقوية الأشعة الضوئية. ويحدث التحريض الضوئي عندما تمتص الهياكل الشبكية للذرات الأمواج الكهرومغناطيسية أو الفوتونات، فعندما يمتص الهيكل الشبكي فوتوناً فإن طاقة هذا الفوتون تعطى للذرة فتصبح الذرة مثارة.

وبعد فاصلٍ زمني معين تبدأ الذرة بإشعاع هذه الطاقة ذاتياً وعلى شكل فوتونات، وتعود بعد ذلك الذرة إلى وضعها الأصلي. وعندما تكون الذرة مثارة فإنه يمكن وتحت تأثير فوتون خارجي (موجة ضوئية ساقطة) أن نجبر هذه الذرة على أن تشع فوتوناً. وتكون طاقة الفوتون الخارجي المحرّض للذرة مساوية تماماً طاقة الفوتون الذي تشعه ذاتياً، ويُسمى هذا الإشعاع الإشعاع المحرّض. من هذا كله نستنتج أن إسقاط موجة ضوئية على هيكل شبكي لذرات يُقوي الموجة الضوئية التي تشعها هذه الذرات المثارة. والشيء المهم في هذه العملية كلها هو أن قاعدة الموجة الضوئية الناتجة تنطبق على قاعدة الموجة الضوئية المحرّضة. وهذه هي الظاهرة التي تستخدم في أجهزة التقوية الكوانتية.

تقوم المولدات الكوانتية بتحويل الطاقة الكيميائية والكهربائية والضوئية والحرارية إلى إشعاعات ضوئية عادية هي أمواج كهريطيسية. ويقع مجال هذه الأشعة في مجال الأشعة فوق البنفسجية المرئية والأشعة تحت الحمراء.

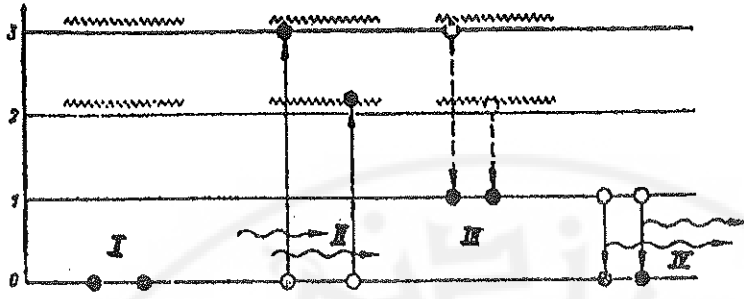
يمكن أن يكون المشع جسماً صلباً مصنوعاً من الزجاج والنيوديوم أو السياقوت... الخ. فالمولدات الكوانتية التي تحوي جسماً صلباً مصنوعاً من الألمنيوم والصوديوم والنيوديوم على شكل سبيكة يمكن أن تصل استطاعة هذا النوع من المولدات إلى (1KW). ويكون الإشعاع مستمراً. وتسمى المولدات التي تحوي جسماً صلباً كمشع المولدات الكوانتية الصلبة، ويمكن أن تستخدم بعض السوائل كمشعات مثل: محاليل أكاسيد النيوديوم أو مواد الصباغة. وتكون مزايا المولدات الكوانتية التي تحتوي على السوائل غير العضوية كعناصر إشعاع قريبة جداً من مزايا المولدات الكوانتية الصلبة النبضية ولكن طاقة الأولى في النبضة أعلى، ويمكن استخدام بعض الغازات أو مزيج منها كمشعات مثل: الهيدروجين، الآزوت، الأرجون، ثاني أكسيد الكربون... الخ.

وتعطي المولدات الغازية إشعاعات مجالها الإشعاعي كبير نسبياً واستطاعتها عالية وذات إشعاع مستمر ومردود عالٍ نسبياً يصل نحو (15 ÷ 20%).

ولقد تم في السنوات الأخيرة تصميم مشعات من أنصاف نواقل مصنوعة من الكريستال الأحادي (مونو كريستال): أرسينيدات الغاليوم والإنديوم أو خلائط الكادميوم مع الكبريت. وتتصف المولدات التي تستخدم فيها أنصاف النواقل كمشعات بالوزن الخفيف والمردود العالي الذي يمكن أن يصل لنحو (70%)، بالإضافة إلى أنها اقتصادية.

لكي تثار المشعات التي ذكرت آنفاً وتصدر إشعاعات يتم تحريضها بالشكل الآتي:

- تحرض المشعات السائلة والصلبة بضوء مصباح نبضي.
  - تحرض الغازات أو مزيج منها بالطاقة التي يصدرها قوس غازي.
  - تحرض أنصاف النواقل بطاقة تيار مستمر يمر في مجال التحويل (p-n).
- صُمِّمت في الوقت الحاضر أنظمة ليزر غازية تستخدم فيها حرارة التفاعلات الكيميائية وطاقتها لتحريض الغازات. ويعمل الليزر إما نبضياً أو مستمراً وذلك تبعاً لنوعية نظام التحريض المستخدم.
- يستعمل الياقوت كعنصر إشعاع في المولدات التقانية (أي التي تستخدم في التقانات المختلفة)، فالياقوت ما هو إلا أكسيد الألمنيوم الذي استبدلت فيه ذرات من الكروم ببعض من ذرات الألمنيوم (الذوبان التبادلي).
- ويستعمل عادةً في المولدات الكوانتية الياقوت ذي اللون الأحمر الوردي الباهت والذي يحتوي على (0.05Cr) بالإضافة إلى أكسيد الألمنيوم.
- ويصنع الكريستال الوردي (الياقوت) على شكل قضيب ويحدد طول هذا القضيب وقطره استطاعة الإشعاع الناتج. يُبلور طرفا القضيب وذلك للحصول على سطحين مستويين. ويطلّى السطحان بالفضة ليصبحا عاكسين للضوء. ويوضع بعد ذلك قضيب الياقوت بالقرب من مصباح إلكتروني يصدر ضوءاً عريضاً. ويستخدم هذا الضوء في التحريض.
- ويبين الشكل (14.1) مخطط المولد الكوانتي الذي يحوي الياقوت كمشع.



الشكل (14-1): مخطط الطاقة لمولد كوانتي يحوي كريستال الياقوت

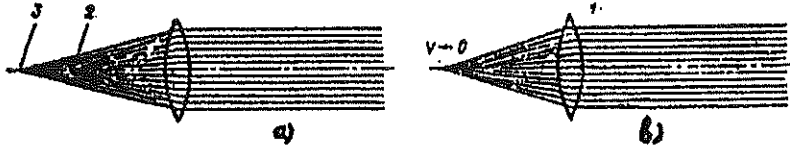
تمتص ذرات الكروم التي تكون في وضعها البدائي (I) موجودة في كريستال الياقوت، تمتص هذه الذرات الفوتونات (الخطوط المتعرجة في الشكل 14.1). وتتحول هذه الذرات نتيجة لذلك إلى مستوى (II) أعلى من المستوى الذي كانت فيه. ويتحول جزء من طاقة هذه الذرات إلى الهيكل الشبكي مما يرفع درجة حرارته وتتحول الذرات إلى مستوى أكثر استقراراً (III).

وبعد ذلك ونتيجة لتأثير الفوتونات المحرّضة والتي تطلقها ذرات كروم أخرى، فإن هذه الذرات تصدر فوتونات لها أطوال أمواج مميزة وتعود بعدها هذه الذرات إلى وضعها المبدئي (IV). يتم تغذية الليزر الياقوتي من مصباح نبضي، فعندما يشع هذا المصباح بضوئه على قضيب الياقوت فإن الجزء الأكبر من ذرات الكروم يصبح في وضع مثار. وعندما تطلق الذرة المثارة فوتوناً من ذاتها (فوتوناً ذاتياً) وباتجاه محور الكريستال فإن هذا الفوتون يجبر ذرة أخرى مثارة أن تصدر فوتوناً آخر (فوتوناً تحريضياً)، وتستمر هذه العملية بشكل سرب ضوئي ذلك لأن الفوتونات المنعكسة عن طرف الكريستال تتحرك في الكريستال نفسه وباتجاه محوره. وتزداد كثافة الحزمة الضوئية نتيجة لانعكاسات الضوئية المستمرة عن طرفي القضيب. فإذا ما وصلت كثافة الحزمة الضوئية الصادرة عن المصباح الضوئي إلى مستوى يفوق المستوى

الحدي يبدأ عندها ما يسمى ظاهرة التقوية الكوانتية، وعند ذلك في أجزاء من الألف من الثانية ينطلق من الطرف الشفاف لهذا الكريستال تيار كثيف من الفوتونات بطول موجة يساوي  $(6943\text{\AA})$ . وتتميز هذه الحزمة الضوئية الصادرة بضيق قطرها واستطاعتها العالية إضافة إلى أن أشعتها متجانسة ذاتياً. وهكذا يكون إشعاع الليزر الصادر ضيق القطر وموجهاً، وذلك لأن عدد الأمواج الصادرة يفوق عدد الأمواج المنعكسة بآلاف المرات ويكون اتجاه هذه الأمواج الصادرة موازياً تماماً لمحور الكريستال ومن دون أي انحراف في مسارها، وتكون استطاعة هذا الإشعاع عالية ذلك لأن الإشعاع المحرّض (الصادر عن الذرات المثارة) يحدث قبل الإشعاع الذاتي بوقت كبير.

إن وجود الدرجة العالية من التجانس الذاتي في الإشعاع مشروطاً بأن الإشعاع المحرّض هو عملية توافقية (resonans)، ونتيجة لذلك فإن هذا الإشعاع يكون مشدوداً إلى مركز نطاق الترددات أكثر من الإشعاع الذاتي. تحرّض هذه الترددات المميزة إشعاع له التردد نفسه. لهذا فإن الموجة في المولد الكوانتي تكون في مجال ضيق جداً من الترددات وأطوال الأمواج.

إن الضوء الأبيض العادي والمؤلف من أمواج كهرومغناطيسية ذات أطوال مختلفة يتجمع في محرق العدسة وفي حجم كبير نسبياً وهذا ناتج من ظاهرة الانتشار عند الضوء العادي. فظاهرة الانتشار هذه تؤدي إلى أن حزمة ضوئية ضيقة جداً من الضوء العادي تتوسع بعد مرورها من العدسة وتشكل طيفاً ضوئياً أما شعاع الليزر الضوئي المتجانس ذاتياً فإنه يتألف من أمواج كهرومغناطيسية لها أطوال واحدة (متساوية)، لذا فإن هذا الشعاع يتجمع في محرق العدسة ويشغل حجماً صغيراً جداً (عملياً يتجمع في نقطة - انظر الشكل 14-2).



الشكل (14-2): تجمع الضوء الأبيض في محرق العدسة (a) وتجمع الضوء المتجانس ذاتياً (b).

1- عدسة تجميع الأشعة الضوئية. 3.2- أشعة بنفسجية وحمراء.  
تُعَيَّن كثافة طاقة الشعاع الضوئي في محرق عدسة بالعلاقة الآتية:

$$\rho = \frac{E}{V} \quad (14.1)$$

حيث:  $\rho$  - كثافة الطاقة،  $E$  - طاقة الشعاع،  $V$  - حجم المحرق الذي يشغله الشعاع.

بما أن حجم المحرق للضوء الأبيض كبير نسبياً نتيجة لانتشار الضوء، لذا فإن كثافة الطاقة في هذا المحرق تكون قليلة. أما حجم المحرق لشعاع الليزر فهو صغير جداً ( $V \rightarrow 0$ ) لهذا تكون كثافة الطاقة قيم كبيرة جداً ويمكن أن تصل إلى نحو:

$$10^7 \div 10^8 \frac{W}{cm^2}$$

ولكن زمن النبضة قصير جداً ولا يتجاوز ( $10^{-9} \text{ sec}$ ).

يشكل مردود المولدات الكوانتية الحاوية الياقوت نحو (0.1%). لهذا يمكننا القول إن تصميم مولدات كوانتية عالية الاستطاعة والمردود يتطلب إعادة النظر بمجموعة العمليات التقنية الموجودة حالياً. وعلى الرغم من المردود المنخفض جداً للمولدات الكوانتية الضوئية الحاوية الياقوت فإن هذا النوع من المولدات يستخدم عملياً في اللحام. ويوضح الشكل (14.3) رسماً تخطيطياً لمولد من هذا النوع يستخدم في اللحام. وتحتوي آلة اللحام هذه على مجموعة عناصر كهربائية وضوئية - ميكانيكية والعنصر الأساسي في هذه الآلة هو المولد الكوانتي. تتألف

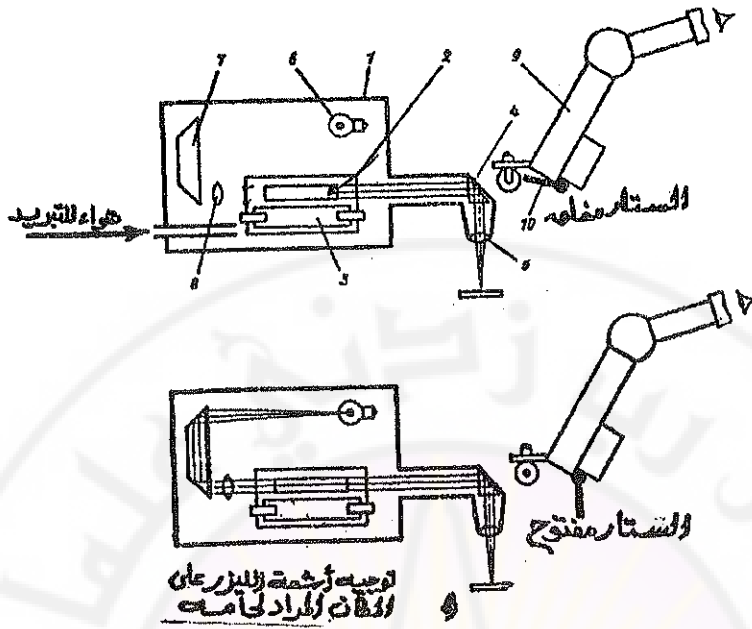


هذه الآلة من المولد وجهاز التغذية بالكهرباء وطاولة تحوي مكثفات ومجهرًا مجسمًا (stereoscope microscope). يقوم المولد بتحويل الطاقة المختزنة في مجموعة المكثفات إلى حزمة ضوئية متجانسة ذاتياً وضيقة جداً.

## 2-14- تقانة اللحام بأشعة ليزر المولدات الكوانتية الصلبة:

تعد الحجرة الضوئية (1) العقدة الأساسية في المولد (انظر الشكل a- 14.3). ويوضع بداخل الحجرة كريستال الياقوت (2). ويكون توضع المصباح النبضي (3) حيث يكون موازياً لكريستال الياقوت. وتُوصَل نهايات الكريستال بتوتر عالٍ. ويجب أن يكون السطح الداخلي للحجرة مستوياً و لماعاً وعاكساً للضوء.

يُمرر الهواء المضغوط إلى داخل الحجرة لتبريد كريستال الياقوت. ويخرج هذا الهواء من الحجرة إلى المحيط الخارجي. لتشكل الإشعاع الصادر عن الكريستال وتوجيهه إلى منطقة اللحام يستخدم ما يسمى نظام التشكيل الضوئي. ويتألف هذا النظام من موشور (4) وعدسة ومجسم يمكن تبديله (5). ويُزود نظام التشكيل هذا بعدسات مرئية يمكن بواسطتها جمع الأشعة الضوئية المتوازية (التي يصدرها المولد) في المحرق وبقطر نحو (0.05-0.25 mm). ولتجهيز المولد يُستخدم جهاز ضوئي مؤلف من المصباح (6) والموشور (7) والعدسة المكثفة (8). يمر الشعاع الضوئي الصادر من المصباح عبر الياقوت والنظام الضوئي للمولد (انظر الشكل 14.3b). يستخدم المجهر المجسم (9) لمشاهدة منطقة اللحام وذلك عند وصول الشعاع إلى هذه المنطقة ولرؤية الوصلات الملحومة. ويستخدم الستار (10) والذي يمكن تحريكه بواسطة مغناطيس كهربائي لوقاية عين العامل على الآلة من إشعاع المولد في لحظة اللحام.



الشكل (3-14): رسم تخطيطي لمولد كوانتي يستخدم في اللحام  
 a- المولد أثناء اللحام. b- تجهيز المولد قبل اللحام.

ويتألف الجزء الكهربائي لآلة اللحام من منبع تغذية للمصباح النبضي وطاولة يدخل الستار فيها بالإضافة إلى محول كهربائي للإضاءة. ويضم الجزء الكهربائي مولداً أيضاً. ويغذى المصباح النبضي بتوتر قدره (18KV). للتحكم بزمان اشتعال المصباح توضع في دارته وشائع تحريض، وبتغيير مقاومة هذه الشائع يمكن أن نغير زمن النبضة.

بعد القص بأشعة ليزر أكثر عمليات التقانة شيوعاً. ويمكن بهذه الأشعة قص الزجاج والألماس والمعادن والسيراميك... الخ. ويستخدم للقص شعاع الليزر المستمر ويملك طاقات إشعاع عالية وينحصر مجال هذه الأشعة في مجال الأشعة تحت الحمراء (حيث طول الموجة يساوي 10,6 ميكرون). يمكن أن تتم عملية قص صفائح من الجرمانيوم والسيليسيوم إلى أجزاء صغيرة تستخدم في صناعة أنصاف النواقل.

وتتم عملية القص هذه بشعاع ليزر مستمر، ويمكن بأشعة الليزر إجراء ما يسمى مطابقة (توفيق) الريزيستورات أو في صناعة الدارات التكاملية. وتتم صناعة الدارات هذه إما في الهواء أو الفراغ أو في وسط من غازات مختلفة. ويستطيع شعاع الليزر أن يخترق الزجاج والكوارتز والهواء بحرية كاملة. بما أن مردود المولد الكوانتي الحاوي الياقوت لا يتجاوز (0.1%)، فهذا يعني (0.001) من طاقة شعاع الليزر يعطي لقطعة التشغيل على شكل نبضة قصيرة، وتؤدي الطاقة العالية لهذه النبضة القصيرة إلى تبخر كثيف للمعدن في منطقة اللحام، لهذا من الضروري التحكم بزمان النبضة، ويتم ذلك عن طريق مجموعة من المكثفات.

لإجراء عملية اللحام فإنه من الضروري أن يكون للنبضات زمن أعظمي والفاصل الزمني بين هذه النبضات صغير جداً. وبما أن مردود المولدات الكوانتية منخفض جداً فإن الجزء الكبير من طاقة المصباح يتحول إلى حرارة، ونتيجة لذلك فإن هذا المصباح لا يعمل من أجل تردد عالٍ للنبضات بالإضافة إلى ارتفاع درجة حرارة القضيب المصنوع من الياقوت.

لتصغير الفاصل الزمني بين النبضات من الضروري طرح كمية حرارة كبيرة تنتج في الآلة نفسها عند توليد أشعة ليزر. ويتم ذلك باستخدام نظام تبريد يطرد الحرارة الناتجة في المولدات الكوانتية.

تعطي المولدات الكوانتية الضوئية المستخدمة حالياً في عمليات اللحام إمكان الحصول على أشعة ليزر نبضية (من 1 إلى 100 نبضة في الدقيقة)، ويكون قطر البقعة المنصهرة نتيجة تأثير النبضة الواحدة أقل بكثير من 0.1 mm، لهذا فإن هذه المولدات الكوانتية الضوئية لا تُستخدم حالياً للحصول على درزات لحامية وإنما تستعمل فقط للحصول على وصلات لحامية نقطية.

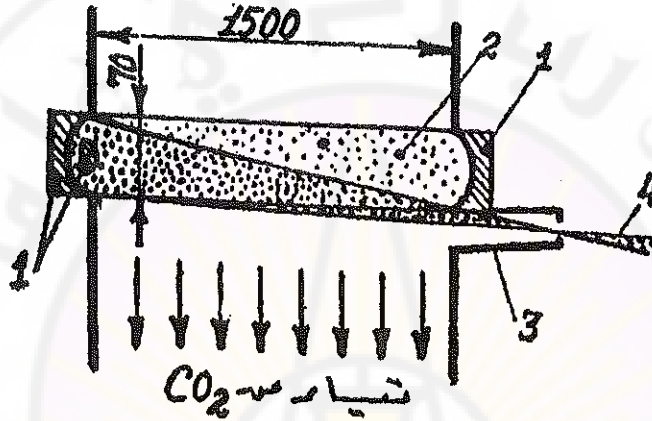
- إن أهم ما يميز طريقة اللحام بشعاع ليزر المولد الكوانتي الصلب هو إمكان الحصول على كثافة طاقة من مرتبة الطاقة نفسها التي نحصل عليها من الحزمة الإلكترونية. وفي طريقة اللحام هذه، ونتيجة لعدم وجود شحنة في شعاع الليزر، فإنه من السهل تركيز هذا الشعاع محرقياً في أي مكان. لذا فإن عملية لحام المعادن بهذه الطريقة يمكن أن تتم في الهواء وفي وسط من الغازات الواقية وفي مكان مفرغ من الهواء (مخلخل). وإن إمكان تجميع (تركيز) طاقة شعاع الليزر في نقطة معينة تجعل طريقة اللحام هذه صالحة لإجراء اللحامات الميكروية. وبما أن الدورة الحرارية في طريقة اللحام هذه قصيرة جداً فهذا يعطي أيضاً إمكان الحصول على وصلات لحامية للمعادن التي تتأثر تأثيراً سلبياً بطول مدة الدورة الحرارية.

تجد طريقة اللحام بأشعة ليزر المولد الكوانتي الصلب في الوقت الحاضر استخداماً واسعاً في لحام الدارات الإلكترونية المختلفة. ويمكن باستخدام شعاع الليزر الضوئي إجراء لحامات لوصلات متنوعة من معادن وأشباه معادن مختلفة في حقل الصناعة الإلكترونية مثل: لحام الذهب مع السيليسيوم والجرمانيوم مع الذهب والنيكل والتيتانيوم والنحاس مع الألمنيوم... الخ.

إن إمكان الحصول في الوقت الحاضر على أشعة ليزر المولدات الغازية ذات الطاقة العالية يفسح المجال لاستخدام هذه الأشعة لتقانات مختلفة. فقد حصل الباحثون مؤخراً على أشعة ليزر المولدات الغازية ذات التأثير المستمر وأشعة ليزر المولدات الغازية النبضية، وتسمى هذه الأشعة حسب نوع الغاز المستخدم: أشعة ليزر غاز النيتروجين، ليزر هالوجين الغازات الخاملة - هيليوم، آرغون، كزينون، كريبتون، أو مزيج من هذه الغازات، ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون... الخ.

### 14-3- اللحام بأشعة ليزر المولدات الغازية:

يتميز شعاع ليزر المولد الغازي بأنه يفقد طاقة قليلة في الوسط الغازي، ومن السهل تجميعه محرقياً، وثمة إمكان كبير لتوصيل تأثير هذا الشعاع إلى المناطق صعبة الوصول، وذلك باستخدام مجموعة من المرايا. ويتم حماية حوض اللحام في هذه الحالة بواسطة أحد الغازات الخاملة أو مزيج منها.



الشكل (14-4): جهاز توليد أشعة ليزر ذات التأثير المستمر

- ١- مجموعة مرايا. 2- المنطقة الفعالة (النشطة). 3- فتحة لخروج الشعاع.
- 4- شعاع الليزر الخارج.

يأخذ شعاع ليزر المولد الغازي ذي التأثير المستمر شكلاً حلقياً عند خروجه من المولد. ويمكن تجميع أشعة الليزر هذه بواسطة مجموعة المرايا (انظر الشكل 14-4). وبما أن ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون يملك أكبر طاقة ومردود بين ليزر الغازات فإنه يستخدم حالياً في لحام المعادن المختلفة. إذ يمكن بوساطته لحام الفولاذ الذي تصل سماكته إلى (15 mm). ويجد هذا النوع من الليزر الغازي حالياً تطوراً سريعاً لاستخدامه في المعالجات الحرارية للسبائك المعدنية وفي عمليات القص المختلفة.



# **الفصل الخامس عشر**

## **اللحام بالهيدروجين الذري**

- 1- مفهوم اللحام الهيدروجيني الذري وتقنيته.
- 2- مجالات استخدام اللحام بالهيدروجين الذري.





## اللحام بالهيدروجين الذري

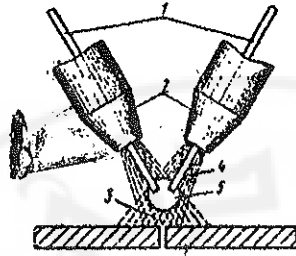
### 15-1- مفهوم اللحام بالهيدروجين الذري وتقناته:

يتم صهر المعدن بهذه الطريقة بواسطة الحرارة المنطلقة نتيجة لتحول الهيدروجين الذري إلى جزيئي وحرارة القوس المشتعل بين إلكترودين من التنجستين.

تعد كمية الحرارة الناتجة عن إشعاع القوس وعن احتراق جزيئات هيدروجين في المنطقة الخارجية للمشعل صغيرة جداً إذا ما قورنت بكمية الحرارة المنطلقة نتيجة لارتطام ذرات الهيدروجين بالمعدن وتحولها إلى هيدروجين جزيئي. وتبلغ درجة حرارة لهب الهيدروجين الذري نحو  $3700^{\circ}\text{C}$  (ويقوم الهيدروجين في طريقة اللحام هذه بنقل الحرارة من القوس إلى المعدن). إذ يمتص الهيدروجين الجزيئي في البداية كمية الحرارة اللازمة لتحوله إلى هيدروجين ذري (انشطاره)، وعند ارتطام ذرات الهيدروجين بسطح المعدن فإنها تفقد جزءاً كبيراً من حرارتها فتبرد هذه الذرات وتكون من جديد جزيئات الهيدروجين، ويقوم الهيدروجين أيضاً بحماية منطقة اللحام من تأثير أكسجين وأزوت الهواء الخارجي.

ويشتعل القوس عند اللحام بالهيدروجين الذري، وكما ذكرنا بين إلكترودين من التنجستين يميلان على بعضهما بزاوية معينة (الشكل 1-15). ويتم دفع الهيدروجين النقي إلى منطقة القوس، وأحياناً يدفع مزيج من الهيدروجين والأزوت الناتجين عن انشطار النشادر. وتتم تغذية القوس بمنبع تيار كهربائي متناوب، ونظراً لأن انشطار الهيدروجين يحدث تأثيراً عالياً (يبرد منطقة القوس)، وإن عملية الانشطار هذه تتطلب طاقة كامنة عالية عند الهيدروجين لكي ينشطر فإن توتر المنبع الكهربائي اللازم لقدح القوس يصل إلى نحو

(250-300 V). بينما يراوح توتر القوس المشتعل بين (60-120 V). وتراوح شدة التيار بين (10-80A).



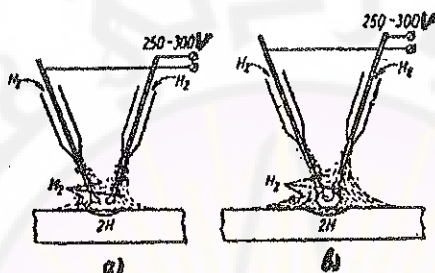
الشكل (1-15): اللحام بالهيدروجين الذري

- 1- الإلكترويدات. 2- ماسكات الإلكترويدات. 3- منطقة تحول الهيدروجين الذري إلى هيدروجين جزيئي. 4- الهيدروجين الجزيئي القادم من الاسطوانات. 5- منطقة انشطار الهيدروجين الجزيئي إلى ذري.

إن تغير توتر القوس في حدود كبيرة لا يؤثر إلا بشكل قليل جداً في شدة التيار الكهربائي في هذا القوس. ويتعلق توتر القوس بكمية الهيدروجين المستهلكة وبالمسافة بين إلكترودي التنجستين.

يتم قـدح القوس بإحداث دائرة قصر بين إلكترودي التنجستين بعد دفع الهيدروجين إلى منطقة القوس. ويفضل أحياناً قـدح القوس بإحداث دائرة قصر بين الإلكترودين وصفيحة من الغرافيت وبعد ذلك يتم دفع الهيدروجين أيضاً ذلك لأن قـدح القوس بهذه الطريقة لا يتطلب توتراً عالياً لإدارة القصر في المنبع الكهربائي. لهذا تكون عملية القـدح أسهل بهذه الطريقة، وبعد قـدح القوس يتم ضبط المسافة بين رأسي الإلكترودين وسطح المعدن المراد لحامه وفي حدود (4-10mm). وتتعلق هذه المسافة باستطاعة لهب الهيدروجين الذري وسماكة المعدن.

يكون القوس هادئاً عندما لا يتشكل داخله ما يسمى مروحة اللهب (شكل a 15-2)، ويكون القوس مدوياً (له طنين) عندما تلامس مروحة اللهب هذه سطح المعدن المراد لحامه (الشكل b 15.2)، ويرأوح توتر القوس الهادئ بين (20-25 V)، وتبلغ كمية الهيدروجين المستهلكة في هذه الحالة (500-800 L/h). أما توتر القوس المدوي فيأروح بين (60-120 V) وكمية الهيدروجين (900-1800 L/h).



الشكل (15-2): أنواع القوس

a- القوس الهادئ b- القوس المدوي

يتم بوساطة اللحام بالهيدروجين الذري الحصول على وصلات تناكبية بدون أو مع شنفرة الحواف ووصلات تراكبية وزاوية وعلى شكل حرف T. ويمكن لحام الوصلات الزاوية باستخدام سلك المعدن المضاف أو من دونه. وينصح بشنفرة الحواف بزاوية 45° عند لحام سماكات تزيد على (3 mm) على شكل وصلات تناكبية أو زاوية.

## 15-2- مجالات استخدام اللحام الهيدروجين الذري:

تستخدم طريقة اللحام بالهيدروجين الذري عادةً للحام المعادن و الخلائط المعدنية ذات السماكات (0.5-10 mm) ويأحم بهذه الطريقة وبشكل جيد وصلات مسن الفولاذ الكربوني، السبائك ومن الفونيت ومن سبائك الألمنيوم

و المغنزيوم، ويلحم بشكل سيء النحاس و الاليتانيوم. ويجب عند لحام الألمنيوم وسبائكها استخدام البودرة (والتي هي أملاح المعادن القلوية).

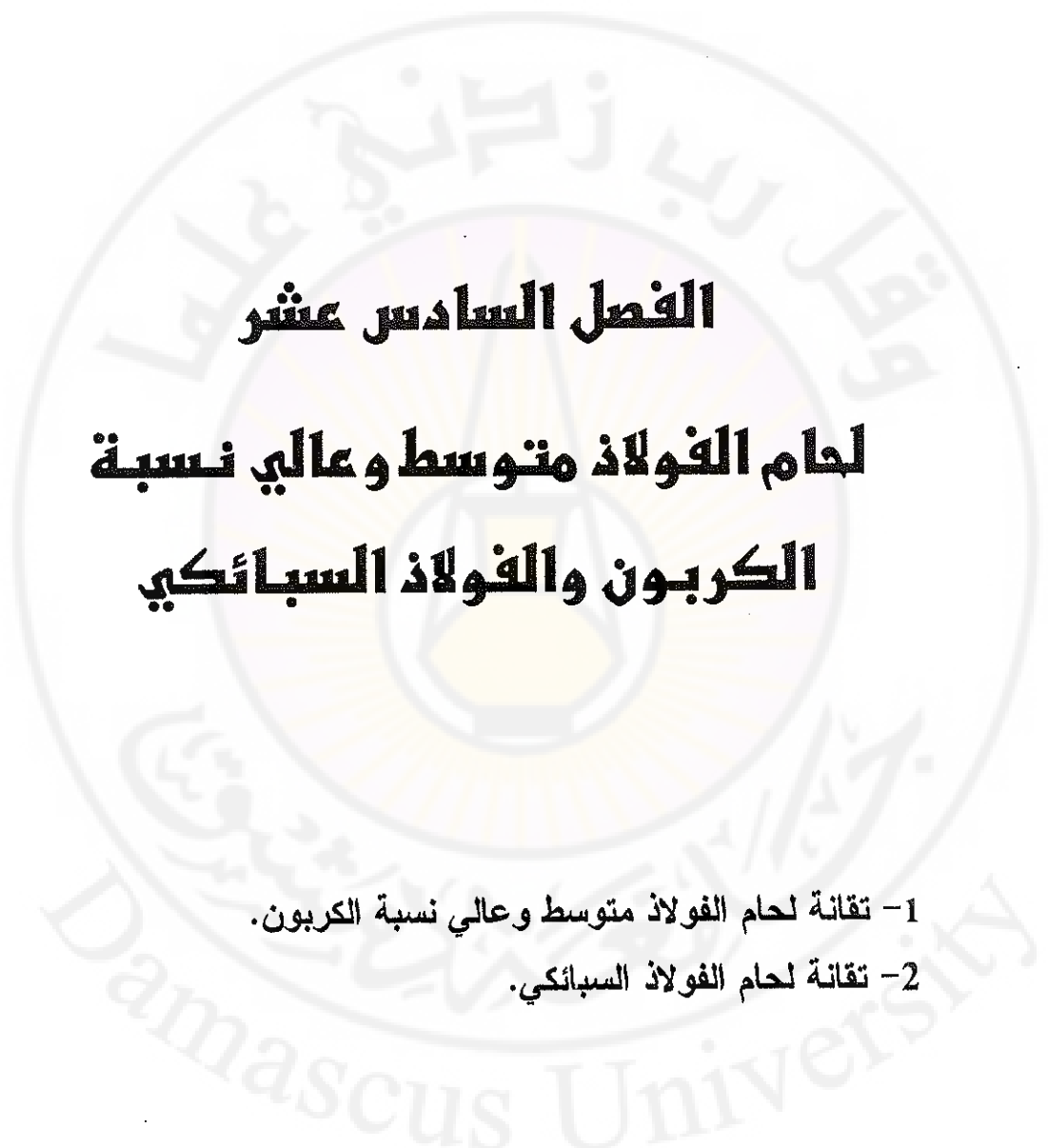
هناك بعض المعادن التي تتفاعل مع الهيدروجين (تبدى شراة قوية نحوه) مثل التيتان و الزوركونيوم و التينيتاليوم... الخ، حيث لا ينصح لحام هذه المعادن بالهيدروجين الذري.

تشبه تقانة اللحام بالهيدروجين الذري تقانة اللحام بلهب الأكسي استيلين. إذ يمكن أن تتم عملية اللحام بالهيدروجين الذري إلى اليسار وإلى اليمين كما في طريقة اللحام الغازي.

يمكن أن تتم عملية اللحام بالهيدروجين الذري بالوضعين السفلي والشاقولي. ويبين الجدول (15-1) أنظمة اللحام بالهيدروجين الذري.

الجدول (15-1) أنظمة اللحام بالهيدروجين الذري

| سماكة المعدن<br>mm   | قطر<br>الإلكترود<br>mm | شدة التيار<br>A | كمية<br>الهيدروجين<br>المستهلك<br>L/h | ضغط<br>الهيدروجين<br>Kgf/cm <sup>2</sup> |
|----------------------|------------------------|-----------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| { 1<br>3             | 2                      | 30              | 1200                                  | 0.055                                    |
|                      |                        | 40              | 1400                                  | 0.064                                    |
| { 5<br>6-8           | 3                      | 50              | 1500                                  | 0.068                                    |
|                      |                        | 60              | 1600                                  | 0.073                                    |
| { 8-10<br>أكبر من 10 | 4                      | 70              | 1750                                  | 0.080                                    |
|                      |                        | 80              | 1850                                  | 0.085                                    |



## **الفصل السادس عشر**

### **لحام الفولاذ متوسط وعالي نسبة الكربون والفولاذ السبائكي**

1- تقانة لحام الفولاذ متوسط وعالي نسبة الكربون.

2- تقانة لحام الفولاذ السبائكي.



## لحام الفولاذ متوسط وعالي نسب الكربون

### والفولاذ السبائكي

يمكن استخدام جميع طرق اللحام آنفة الذكر (سواء طرق لحام الضغط أو الصهر) في لحام الفولاذ الكربوني منخفض نسبة الكربون (أي الفولاذ الذي يحوي نسبة من الكربون لا تزيد على  $C \leq 0.25\%$ )، ونحصل عادةً على وصلات لحامية ذات نوعية جيدة ويمكن معاملتها بأدوات القطع بسهولة. أما لحام الفولاذ الكربوني متوسط نسب الكربون وعاليها فله تقانة معينة يجب اتباعها.

### 16-1- تقانة لحام الفولاذ الكربوني متوسط وعالي نسب الكربون :

يُنسب للفولاذ الكربوني متوسط نسب الكربون كل أنواع الفولاذ الكربوني الحاوية نسباً من الكربون تراوح بين  $C \leq 0.3-0.5\%$  وللفولاذ الكربوني عالي نسب الكربون كل أنواع الفولاذ الكربوني الحاوية نسباً من الكربون تراوح بين  $C \leq 0.5-1\%$ .

فعند لحام الفولاذ متوسط نسب الكربون فإنه يجب الانتباه على أنه إذا بردت الوصلات اللحامية تبريداً أسرع من الحد المسموح به فإن منطقة التأثير الحراري سوف تحتوي على بنية تروستيتية أو مارتنسييتية وكلتاها هشتان مما يؤدي إلى تصدع الوصلة اللحامية تصدعاً هشاً، وكلما ازدادت نسبة الكربون ازداد احتمال وجود فقاعات غازية في الدرزات اللحامية. لهذا وللتخلص من ظاهرة حدوث التشققات الباردة فإنه يجب تسخين الفولاذ تسخيناً مسبقاً قبل لحامه إلى درجة الحرارة ( $C \leq 200-350$ ) ومن ثم معالجة الوصلات اللحامية الناتجة حرارياً وذلك بإجراء مراجعة حرارية لهذه الوصلات بتسخينها إلى درجة حرارة ( $C \leq$

700-675) ثم تبريدها مع الفرن ببطء حتى درجة الحرارة (150-100 °C) وبعد ذلك تبريدها في الهواء حتى درجة حرارة الوسط المحيط.

- لدى الوصلات اللحامية المصنوعة من الفولاذ الكربوني عالي نسبة الكربون ميولٌ أكبر للتصدع الهش إذا ما قورن بالوصلات المصنوعة من الفولاذ متوسط نسبة الكربون ، ويمكن أن توجد في هذه الوصلات الشقوق الساخنة والباردة على حد سواء، لهذا ينصح عادةً بتسخين الفولاذ عالي نسبة الكربون تسخيناً مسبقاً إلى درجة الحرارة (400-350 °C) ثم إجراء عملية تخمير مباشرة للوصلة وبمجرد أن تصل درجة حرارة هذه الوصلة إلى (20°C).

ونود أن ننوه إلى أن لحام الفولاذ عالي نسب الكربون يجب ألا يُجرى إذا كانت درجة حرارة القطع المراد لحامها (5°C+) وأقل من ذلك.

## 16-2 - تقانة لحام الفولاذ السبائكي:

يضم الفولاذ السبائكي ثلاث مجموعات من الفولاذ:

### 1- مجموعة الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط:

وينسب إلى هذه المجموعة أنواع الفولاذ السبائكي التي لا تزيد نسبة عناصر الخلط فيها (مثل: Mn, Si, Cr, Cu, Ti وغيرها) على 5%.

### 2- مجموعة الفولاذ السبائكي متوسط نسب الخلط:

وهي أنواع الفولاذ قليل نسب الخلط بعد أن يضاف إليها في أثناء صهرها بعض عناصر الخلط الإضافية مثل (W, V, Mo وغيرها)، حيث ترفع هذه المعادن من متانة الفولاذ الستاتيكية في درجات الحرارة المرتفعة (400-600 °C)، وتتراوح نسبة عناصر الخلط في هذه المجموعة بين (5 ÷ 10%) لهذا يمكن استخدام هذه الأنواع من الفولاذ في الوصلات اللحامية



التي تستثمر في درجات الحرارة (C° 400-600)، وكذلك تزيد عناصر الخلط الإضافية من مقاومة الصدم عند هذه الأنواع من الفولاذ.

### 3- مجموعة الفولاذ السبائكي عالي نسب الخلط:

وينسب إلى هذه المجموعة أنواع الفولاذ السبائكي التي تزيد نسبة عناصر الخلط فيها على (10%) شريطة أن لا تقل نسبة عنصر الخلط الواحد في السبيكة الفولاذية على (5%).

لهذا تتنوع تقانات لحام الفولاذ السبائكي تبعاً لنسب عناصر الخلط الداخلة في تكوينه .

### 1-2-16- لحام الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط:

يمكن أن نميز هنا نوعين من الفولاذ:

- إذا كانت نسبة الكربون أقل من (0.25%) فإن هذا النوع من الفولاذ يلحم جيداً ذلك لأن منطقة التأثير الحراري في وصلاته اللحامية لا تصبح ذات بنية مقساة بعد إجراء عملية اللحام مهما اختلفت طريقة اللحام المستخدمة ومهما اختلفت عناصر نظام اللحام. ولهذا يلحم هذا الفولاذ من دون تسخين مسبق وبدون إجراء معالجة حرارية للوصلات اللحامية الناتجة.

- أما إذا كانت نسبة الكربون أكبر من (0.3%) فإنه يمكن أن تظهر في منطقة التأثير الحراري بنية مقساة، وهذه البنية عادة ذات ميول كبيرة للتصدع الهش نتيجة لتشكل التشققات فيها. وكلما ازداد كل من نسبة الكربون في الفولاذ عن الحد المذكور آنفاً وسرعة تبريد الوصلة اللحامية ازدادت الشقوق في منطقة التأثير الحراري، ولهذا فإن لحام هذه الأنواع من الفولاذ يتم يدوياً بالكترودات مغلقة أو آلياً بالقوس المغمور بالفلاكس أو في وسط من الغازات الواقية أو باللحام الكهربائي الخبثي. ويمكن استخدام التسخين المسبق في لحام بعض أنواع هذا الفولاذ وكذلك المعالجة الحرارية اللاحقة. وهناك في الوقت الحاضر جداول

خاصة أعدت تجريبياً تحتوي على أنظمة اللحام ودرجات حرارة التسخين المسبق ودرجات حرارة المعالجة الحرارية اللاحقة وزمن الإبقاء.

### 2-2-16 - لحام الفولاذ السبائكي متوسط نسب الخلط:

تسبب عملية الصهر الموضعي والتبريد اللاحق (أثناء اللحام) لهذه الأنواع من الفولاذ حدوث تغيرات كبيرة ليس فقط في بنية الدرزة اللحامية، وإنما في بنية منطقة التأثير الحراري، وتتوافر في هذه المنطقة إجهادات داخلية مختلفة القيم والنوعية (تسمى حالة الإجهاد المعقد)، وهذا يسبب انخفاض متانة الوصلات اللحامية. لهذا كله يتطلب تسخين القطع قبل اللحام إلى درجة حرارة تراوح بين ( $200-300^{\circ}\text{C}$ ) ومن ثم إخضاع الوصلات اللحامية الناتجة إلى معالجة حرارية لاحقة (عملية تخمير)، حيث تسخن بعض أنواع هذه الوصلات إلى درجة حرارة تزيد على ( $700^{\circ}\text{C}$ ) وتحفظ عند هذه الدرجة لمدة لا تقل عن 5 دقائق لكل (1 mm) من سماكة المعدن، ومن ثم تبرد ببطء.

### 3-2-16 - لحام الفولاذ السبائكي عالي نسب الخلط:

تتنوع بنية هذه المجموعة من الفولاذ تبعاً لتنوع نسب عناصر الخلط الداخلة في تكوينها.

(مثل: Cu, N, Mn, Ni, Nb, Ti, W, Mo, Si, Cr وغيرها). فمن هذه الأنواع ما تكون بنيته أحادية الطور (فيريتية أو أوستينيتية أو مارتينسيتية) ومنها ما تكون بنيته ثنائية الطور (فيريتية - أوستينيتية أو فيريتية - مارتينسيتية). وتبعاً لذلك سوف تختلف طرق اللحام المستخدمة لهذه الأنواع مختلفة التركيب والبنية من الفولاذ عالي نسب الخلط، وسوف تختلف معها قيم عناصر أنظمة اللحام وكذلك درجات حرارة التسخين المسبق ونوع المعالجة الحرارية المستخدمة للوصلات اللحامية. وتتوافر في الوقت

الحاضر أنواع كثيرة جداً من هذا الفولاذ وتتوافر معها جداول تجريبية تحتوي على طرق لحام نوع الفولاذ المراد استخدامه وقيم عناصر نظام اللحام طبقاً للسماكة المستعملة وكذلك درجات حرارة التسخين المسبق ونوع المعالجة الحرارية اللازمة للوصلات اللحامية.





## **الفصل السابع عشر**

### **لحام حديد الصب (الفونت)**

- 1- تصنيف حديد الصب وخواصه.
- 2- قابلية اللحام عند حديد الصب.
- 3- توصيات عامة للحام حديد الصب.
- 4- لحام حديد الصب بالقوس الكهربائي مع استخدام تسخين سبق ودون تسخين مسبق.
- 5- لحام حديد الصب عالي المتانة.



## لحام الفونت

### 1-17- تصنيف الفونت وخواصه:

يلقى الفونت في الوقت الحاضر استخداماً واسع النطاق في مجالات الصناعة المختلفة. ويعود ذلك إلى سهولة التحضير والكلفة غير العالية في إعداد قطع التشغيل منه، بالإضافة إلى الخواص السبائكية الجيدة للفونت ومقاومته للتآكل وإمكان استخدامه في الإنشاءات التي تخضع لتأثير إجهادات متغيرة ودرجات حرارة عالية... الخ.

و الفونت سبيكة من الحديد والكربون، تحوي بالإضافة إلى الحديد والكربون مجموعة من العناصر الأخرى. فهي تحوي أكثر من (2%C) وحتى (5% Si) بالإضافة إلى كمية محدودة من المنغنيز. أما عنصري الكبريت و الفوسفور فتوجدان في الفونت على شكل شوائب.

ويدخل في تركيب الفونت السبائكي بالإضافة لهذا كله بعض العناصر الأخرى مثل الكروم والنيكل و الموليبدنيوم وغيرها التي تكسب هذا الفونت مزايا خاصة.

يمكن أن يوجد الكربون في الفونت إما متحداً مع الحديد ومشكلاً ما يسمى السمنتيت ( $Fe_3C$ ) أو على شكل بنية بلورية حرة (الغرافيت). ويتعلق وجود الكربون بأحد الشكلين السابقين بالتركيب الكيميائي للفونت وشروط تبلوره وسرعة تبريده.

إن وجود السمنتيت في الفونت يضيفي على مكسر الأخير لوناً ناصعاً، لهذا يسمى الفونت في هذه الحالة الفونت الأبيض، ويضيفي الغرافيت على مكسر الفونت لوناً رمادياً، ويسمى الفونت في هذه الحالة بالفونت الرمادي.

يُعدّ الكربون والسيليسيوم والألمنيوم والنحاس والنيكل وغيرها من العناصر التي تساعد على تشكل الغرافيت، إذ تتحد هذه العناصر مع الحديد وتشكل محاليل صلبة. وتزيد هذه المحاليل من عدد الفراغات والانتقالات في الهيكل الشبكي للحديد وتسهل عملية الانتشار (diffusion) وتُقلل من القدرة النشطة (energy of activation) وتُضعف من الارتباط بين ذرات الحديد والكربون. لهذا تُسهل بما يسمى عملية تشكل الغرافيت، يكون مستوى تأثير كل عنصر من هذه العناصر في عملية تشكل الغرافيت مختلفاً، وأكثر العناصر تأثيراً هما عنصر السيليسيوم والكربون، إذ بتغير نسبة هذين العنصرين تتغير بنية الفونت أو بمعنى آخر بتغير المستوى الذي يمكن أن تصل إليه عملية تشكل الغرافيت (أي تشكل كامل أو غير كامل). ويبين الشكل (17.1 a) كيف يمكن التحكم ببنية الفونت بتغير نسبة الكربون و السيليسيوم في خليطته.

وتتعلق عملية تشكل الغرافيت بسرعة تبريد السبيكة. فكلما قلّت سرعة التبريد تمت عملية تشكل الغرافيت كاملة. وتتعلق سرعة تبريد سبيكة الفونت من الناحية العملية بسماكة جدارها. فكلما صغرت سماكة جدار السبيكة ازدادت سرعة تبريدها وعند الظروف نفسها. لهذا ولجعل عملية تشكل الغرافيت تتم كاملة في حالة صغر سماكة جدار السبيكة فإنه من الضروري زيادة نسبة الكربون و السيليسيوم معاً في الخليطة (انظر الشكل 17.1 b).

يمكن تصنيف الفونت حسب بنيته البلورية إلى المجموعات الآتية:

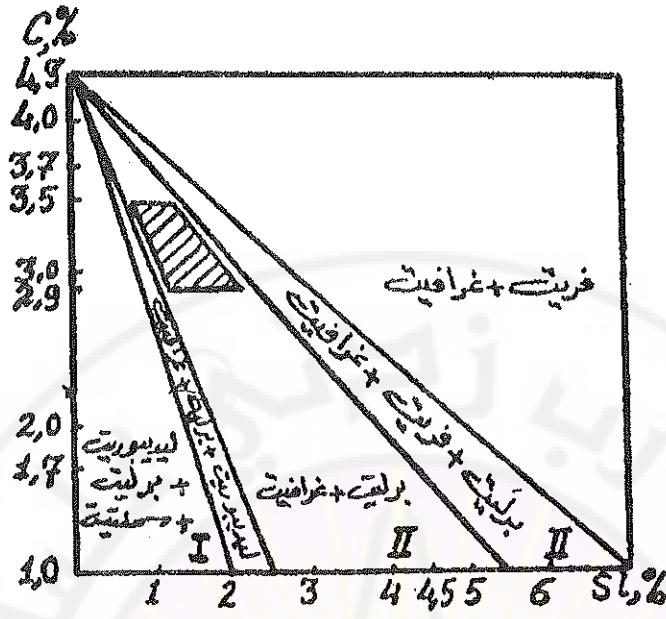
- 1- الفونت الأبيض: ويكون فيه كل الكربون متحداً مع الحديد على شكل سمنتيت.
- 2- الفونت الرمادي: ويكون فيه الكربون موجوداً على هيئة غرافيت صفائحي.



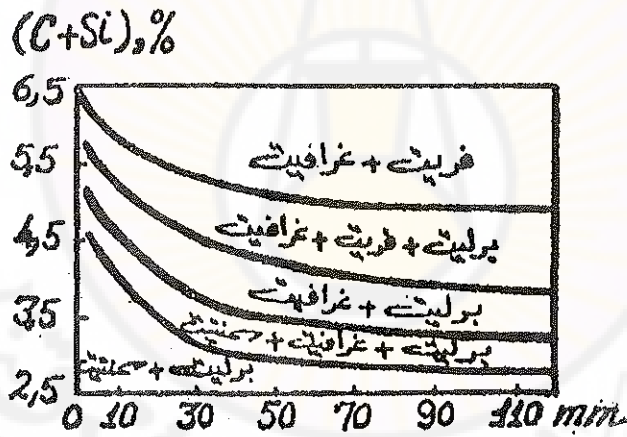
3- الفونت عالي المتانة: ويكون فيه الكربون موجوداً على شكل غرافيت كروي.

4- الفونت المطروق: ويكون فيه الغرافيت على شكل أزهار القطن. يلقي الفونت الأبيض استخداماً محدوداً ذلك لأن السمنتيت الموجود في بنيته يجعل الفونت عالي القساوة وقصيفاً (مُشاً).

لهذا فإن هذا النوع من الفونت لا يمكن عملياً معاملته بالقصص. ولكن في الصناعة يُستخدم ما يسمى الفونت المبيض ولا سيما في سباكة قطع آلات التكسير والجرش وغيرها. حيث يتطلب في هذا القلح توافر القساوة السطحية العالية ومقاومة التآكل. ففي سبيكة الفونت «مبيض»، ونتيجة لاختلاف شروط التبريد، يتشكل في الطبقة السطحية ما يسمى اليونكتيك السمنتيتي، حيث تبلغ قساوته (400-500 HB). وفي وسط السبيكة يتشكل اليونكتيك الغرافيتي. ويمكن توفير شروط التبريد هذه وذلك بصب الفونت في قوالب معدنية أو في قوالب رملية جافة. ويستخدم لهذا الغرض الفونت الحاوي نسبة قليلة من السيليسيوم.



a)



b)

الشكل (17-1) مخططات البنية للفونت

a- تأثير نسبة الكربون والسيليسيوم في بنية الفونت. b- تأثير كل من سرعة التبريد (سماكة جدار السبيكة) ونسبة (C+Si) في بنية الفونت.

## I- الفونت الأبيض II- الفونت الرمادي.

أما الفونت الرمادي فهو سبيكة مؤلفة من ثلاثة عناصر (Si - Fe - C) وتحتوي هذه السبيكة المنغنيز والفوسفور والكبريت على شكل شوائب. وأكثر أنواع الفونت الرمادي استخداماً في الصناعة هو الفونت الهيبويونكتيكي والذي يحتوي على (C% 2.4-3.8). فإذا زادت نسبة الكربون على هذا الحد فإن ذلك يؤثر سلباً في الخواص الميكانيكية للفونت. ويمكن توفير أفضل الخواص السبائكية في هذا النوع من الفونت إذا كانت نسبة الكربون فيه لا تقل عن (2.4%).

ويكون الغرافيت في الفونت الرمادي صفائحياً، وتحدد نسبته بنية الأساس المعدني لسبيكة الفونت، إذ كلما ازداد مستوى تشكل الغرافيت تحولت البنية من برليتيّة إلى برليتيّة - فريتيّة. ويقسم الفونت الرمادي عادةً إلى أربع مجموعات، حيث تحوي كل مجموعة أنواعاً من الفونت الرمادي تتشابه تقريباً بالتركيب الكيميائي ولا تزيد قيم خواصها الميكانيكية على حد معين، وتستخدم أنواع الفونت في هذه المجموعات الأربع في صناعة قطع التشغيل وقواعد الآلات الضخمة والمكابس والمحاور وأحياناً في صناعة أجزاء الآلات التي تعمل على الاحتكاك.

وأما الفونت عالي المتانة والحاوي الغرافيت الكروي فيشبه الفونت الرمادي من حيث التركيب الكيميائي، ولكن بإضافة بعض المعادن ذات الطبيعة القلوية والمعادن النادرة وبكميات قليلة جداً تُكسب الغرافيت الشكل الكروي، وغالباً ما يُستخدم لهذا الغرض المغنزيوم بنسبة (0.03 ÷ 0.07Mg). ويمكن أن تكون بنية الأساس المعدني برليتيّة أو برليتيّة - فريتيّة أو فريتيّة. يختلف الغرافيت الكروي عن الغرافيت الصفائحى بأن الأول لا يكون موضعاً لتركز الإجهادات، ويملك الفونت ذي الغرافيت الكروي خواص سبائكية جيدة ومقاوم للتآكل ويمكن

معامليته بالقص وله خواص ميكانيكية شبيهة بالخواص الميكانيكية للفولاذ الكربوني، وتستخدم سبائك الفونت عالي المتانة في الصناعة الثقيلة وفي الصناعات النفطية والكيميائية.

وينتج الفونت المطروق بتسخين سبائك من الفونت الأبيض إلى درجات حرارة عالية ولفترة زمنية طويلة، حيث تؤدي هذه المعالجة الحرارية إلى تحول الغرافيت إلى شكل زهرة القطن. وهذا الشكل للغرافيت لا يخفّض كثيراً من متانة الأساس المعدني لهذا الفونت ولدونته، ويستخدم في الصناعة الفونت المطروق ذي البنية الفيريتية، والسبب في ذلك هو لدونته العالية. وأما الفونت المطروق ذي البنية البرليتية فهو أقل استخداماً من الأول.

يحتوي الفونت المطروق على نسب قليلة من الكربون والسيليسيوم (  $0.7 \div 1.5\% \text{Si}$ ،  $2.5 \div 3\% \text{C}$  )، إذ تؤدي هذه النسبة القليلة من الكربون للحصول على سبائك فونت عالية اللدونة، ذلك لأن كمية الغرافيت المتشكلة تكون قليلة، وتؤدي نسبة السيليسيوم القليلة إلى انعدام وجود غرافيت صفائحي في بنية السبيكة بعد تبريدها.

تستخدم سبائك الفونت المطروق في صناعة قطع التشغيل التي تخضع لقوى صدم وحمولات ترددية.

## 2-17- قابلية اللحام عند الفونت:

يستخدم اللحام بصفة عامة لإصلاح العيوب المختلفة في سبائك الفونت. ونادراً ما يستخدم اللحام في وصل قطع الإنشاءات أو الآلات المصنوعة من الفونت، إذ يرافق لحام الفونت مجموعة من الصعوبات، وليس بالأمر السهل التغلب عليها. فكل أنواع الفونت التي ذكرناها سابقاً تملك قابلية ضعيفة جداً للحام. ويعد الفونت الرمادي أكثر هذه الأنواع قابلية للحام. لهذا تستخدم في

الوقت الحاضر مجموعة من الطرق وتقانات اللحام المختلفة للوصلات المصنوعة من هذا الفونت.

ويمكن تفسير قابلية اللحام الضعيفة عند الفونت كما يأتي: إن للفونت ميولاً كبيراً نحو تشكل التشققات المختلفة فيه مما يؤدي إلى خفض المتانة واللدونة عنده، بالإضافة إلى أنه يمكن ومن أجل سرعات تبريد عالية أن تتشكل في منطقة اللحام ومنطقة التأثر الحراري بلورات هشة. ويشكل وجود هذه البلورات صعوبة كبيرة في تشغيل الفونت.

- يمكن أن تظهر التشققات في معدن الدرزة اللحامية وفي منطقة التأثر الحراري وذلك بسبب عدم انتظام تسخين الوصلة اللحامية وتبريدها. ويمكن أن تظهر التشققات في مناطق أخرى من الوصلة نتيجة الانفعالات الإضافية التي يسببها اللحام أو التسخين المسبق الموضعي، حيث يؤدي اللحام أو التسخين المسبق إلى ظهور إجهادات تفوق حد المتانة لمعدن الوصلة، ولا يوجد زمن محدد لظهور التشققات فيه، إذ يمكن أن تظهر في بداية اللحام (أي عندما يسبب التسخين المسبق إجهادات ضغط)، ويمكن أن تظهر في أثناء إجراء عملية اللحام ويمكن أن تظهر بعد عملية اللحام (أي ظهور إجهادات شد عند تبريد الوصلة).

- وللتخلص من التشققات والبلورات القاسية الهشة في معدن الدرزة اللحامية، أو بمعنى آخر لكي نوجد في الدرزة اللحامية بلورات فونت رمادي فقط، يجب أن يكون التركيب الكيميائي لمعدن الدرزة وكذلك شروط تبريده حيث يوفر ذلك عملية تشكل الغرافيت في هذه الدرزة كاملة.

### 3-17- توصيات عامة للحام الفونت:

يتم اختيار طريقة اللحام وكذلك الأسلوب التقني لتحضير القطع المراد لحامها بناءً على مكان توضع العيب وأبعاده في هذه القطع. ويبين الجدول (17.1) تصنيف العيوب التي يمكن أن تكون في سبائك الفونت وذلك حسب أشكالها وأبعادها.

الجدول (17-1): تصنيف العيوب حسب الشكل والأبعاد

| نوع العيب       | ميزة العيب | أبعاد العيب (مساحة العيب)                                                                   |
|-----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| عيب غير نافذ    | صغير       | حتى $12 \text{ cm}^2$                                                                       |
| (فجوات سطحية)   | كبير       | $30-120 \text{ cm}^2$                                                                       |
| ثقب             | صغير       | في مارجل تعمل بدون ضغط حتى $200 \text{ cm}^2$ في مارجل تعمل تحت الضغط حتى $20 \text{ cm}^2$ |
|                 | كبير       | $200-600 \text{ cm}^2$ / $20-100 \text{ cm}^2$                                              |
| ثقب نافذ (تشقق) | صغير       | في محيط صلب حتى $50 \text{ mm}$ في محيط غير صلب حتى $250 \text{ mm}$                        |
|                 | كبير       | $250 \div 600 \text{ mm}$ أكبر من $600 \text{ mm}$                                          |

يمكن أن تتم الشنفرة المسبقة للعيوب إما بالطريقة الميكانيكية أو بالقص بالقوس الكهربائي. ولكن طريقة تجهيز العيب للحام تختلف باختلاف طريقة اللحام التي سوف تستخدم.

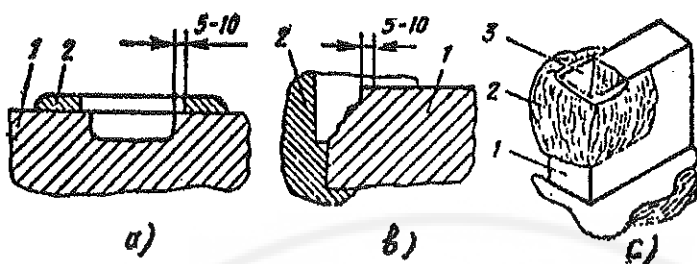
بما أن عملية اللحام بالقوس الكهربائي (وباستخدام تسخين مسبق) تتم عادة بما يسمى طريقة الحوض (أي صهر منطقة العيب كاملاً باستعمال أنظمة لحام ذات قيم عالية). لذا بعد إجراء عملية الشنفرة وخوفاً من انسياب المعدن عبر الأطراف فإنه توضع عادة حول مكان العيب المشنفر حماية مصنوعة من مادة مقاومة للحرارة (أو مزيج مقاوم للحرارة - انظر الجدول 17-2).

الجدول (17-2): تركيب المزيج المقاوم للحرارة

| اسم العنصر                   | تركيب المزيج |    |    |    |
|------------------------------|--------------|----|----|----|
|                              | 1            | 2  | 3  | 4  |
| المزيج المشكل (مصنوع مسبقاً) | 30           | 30 | —  | —  |
| تراب أبيض                    | 30           | —  | 40 | —  |
| رمل الكوارتز                 | 40           | 50 | 10 | 85 |
| الغرافيت الفضي               | —            | —  | 50 | —  |
| السائل الزجاجي               | —            | 20 | —  | 15 |

عند وجود عيوب نافذة (أي تخترق كامل المقطع) فإن الحماية تثبت من الجهة السفلى للعيوب. ويتم تجهيز السطح الداخلي للحماية ليكون مستوياً وبعد ذلك تتم عملية التثبيت بواسطة لوالب معدنية، يجب أن توفر الحماية ارتفاع المعدن المصهور حتى (5 mm) فوق سطح القطعة الملحومة. ويبين الشكل (17.2) نماذج لأنواع حمايات مختلفة.

عند اللحام دون تسخين مسبق فإن العيوب التي يقع بعضها على مسافة أكثر من 20 mm عن بعضها الآخر تُقطع أو يحدث فيها ثقب. وعندما تكون العيوب قريبة من بعضها بعضاً تجري عملية شنفرة كاملة لمنطقة العيب، ويتعلق نوع الشنفرة بسماكة القطعة (شكل 17.3)، فعندما تكون سماكة القطعة (7 ÷ 5 mm) تجري عملية الشنفرة بزوايا (70° ÷ 80°)، وعندما يراد أن تجري عملية اللحام من الوجهين ومن أجل سماكة القطعة أكثر من (20 mm) فإن عملية الشنفرة تتم على شكل حرف X.



الشكل (17-2): مخططات تجهيز الحماية عند اللحام بالقوس

الكهربائي وباستخدام تسخين مسبق

a- في حالة الفجوة غير النافذة. b- في حالة وجود عيب جانبي.  
c- الشكل العام للحماية.

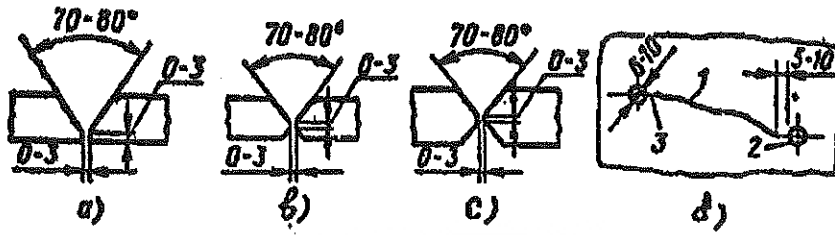
1- القطعة المراد لحامها. 2- المزيج المقاوم للحرارة (الحماية).  
3- الوجه الداخلي الناعم للحماية.

إذا كانت نهايات الشقوق لا تخرج إلى سطح القطعة تحدث ثقب عند هذه النهايات، ويتم قطع المنطقة الحاوية التشقق ميكانيكياً أو بواسطة القوس الكهربائي (شكل 17-3).

يتم إحداث ثقب على عمق (2 ÷ 4 mm) عند نهايات التشقق غير النافذ، أما عند نهايات التشقق النافذ فيتم إحداث ثقب بكامل العمق وبقطر (6 ÷ 10 mm).

بعد التسخين المسبق لقطع الفونت المراد لحامها من العمليات الهامة جداً، وتحدد أبعاد القطعة المراد لحامها وجساعتها وكذلك طريقة اللحام التي سوف تستخدم وحجم المعدن المراد صهره والتركيب الكيميائي والبنية البلورية للفونت كل هذه العوامل تحدد درجة حرارة التسخين المسبق وتراوح درجة الحرارة هذه بين (400 ÷ 700 °C) - انظر الجدول (17-3).





الشكل (3-17): شنفرة الشقوق

- a- الشنفرة من وجه واحد.
  - b- الشنفرة على شكل حرف X عندما تكون السماكة أقل من (20 mm).
  - c- الشنفرة على شكل حرف X عندما تكون السماكة أكثر من (20 mm).
  - d- إحداث ثقوب عند نهايات التشقق:
  - 1- التشقق. 2- ثقوب محددة.
- يستخدم عادةً التسخين المسبق حتى  $(400 \div 550 \text{ } ^\circ\text{C})$ . ولكن عند لحام القطع المعقدة فيسمح بالتسخين المسبق حتى  $(600-700 \text{ } ^\circ\text{C})$ . فإذا زادت درجة حرارة التسخين على هذه الحدود فإنها تسبب الانخفاض المفاجئ في الخواص الميكانيكية للفونت.
- للحصول على تسخين منتظم للقطع ولا سيما تلك التي تتمتع بسماكات مختلفة يجب ألا تزيد سرعة التسخين على  $(150 \text{ } ^\circ\text{C/h})$ .
- ويتم التسخين في أفران كهربائية أو في أكوام (مواقد) تسخين غازي أو في مواقد مصنوعة من الطوب المقاوم للحرارة، وأحياناً يتم التسخين بوساطة لهب الأكسي استيلين المتنقل (المحمول) أو بوساطة التحريض الكهربائي.

الجدول (17.3): الطرق المستخدمة للتسخين المسبق ودرجات حرارة هذا التسخين لقطع

الفوننت

| أنواع العيوب                                                                                                                | طرق التسخين المستخدمة                                                                                  | درجة حرارة التسخين المسبق | طرق التحكم بسرعة تبريد الوصلة اللحامية                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| عيوب صغيرة في محيط غير قاسٍ (الأجزاء البارزة في السبائك)                                                                    | تسخين موضعي -<br>بلهب الأكسي -<br>استيلين المتثقل بحيث يتراوح تصريف الغاز بين (5-10 m <sup>3</sup> /h) | 300-400 C°                | يتم التسخين بلهب الغاز المتثقل والذي يبتعد بالتدريج عن الوصلة اللحامية خلال (1-2 min)                                  |
| عيوب كبيرة في محيط غير قاسٍ                                                                                                 | تسخين موضعي -<br>بمشعل الأكسي -<br>استيلين المتثقل، أو التسخين الموضعي في أكوار غازية                  | 450-600 C°                | يتم التسخين حتى الدرجة (600-700) والإبقاء على هذه الدرجة نحو (1-2 h) ومن ثم التبريد البطيء في الرمل أو في الكور الغازي |
| عيوب صغيرة وكبيرة في محيط قاسٍ (العيوب الموجودة) في السبائك ذات العقد الضخمة ذلك لأن هذه العقد تسبب الانتقال السريع للحرارة | تسخين موضعي في أكوار غازية، أو تسخين عام في أفراد كهربائية                                             | 600-700 C°                | يتم التسخين حتى الدرجة (700 C) والإبقاء على هذه الدرجة (1-2 h) ومن ثم تبريد القطعة مع الفرن                            |

17-4- اللحام بالقوس الكهربائي وباستخدام تسخين مسبق

(اللحام الساخن):

1- اللحام اليدوي بالإلكترودات المغلفة:

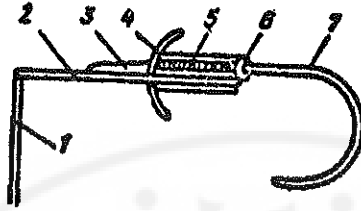
يُستخدم هذا النوع من اللحام في إصلاح العيوب المختلفة وأحياناً في لحام العيوب الكبيرة التي في أماكن من السبائك يصعب الوصول إليها بطرق اللحام الأخرى.

ويعد اللحام بالإلكترودات المغلفة (التي تكون نواتاتها قضباناً من الفونت) من أكثر طرق لحام الفونت استخداماً والسبب في ذلك إنتاج هذه الإلكترودات يتم بالسكب.

توفّر قضبان الفونت هذه وصلات لحام ذات نوعية جيدة. ويدخل في تركيب غلاف الإلكترود تلك العناصر التي تؤدي إلى اشتعال القوس بشكل هادئ وتوفّر تشكّل الخبث الواقي لمنطقة اللحام بالإضافة إلى خلط معدن الدرزة اللحامية ببعض العناصر مثل الكربون والسيليسيوم. ويجب ألا تتجاوز سماكة طبقة التغطية (0.5 mm).

وتتم عملية اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي عادةً إما باستخدام تيار متناوب أو تيار مستمر ذي قطبية مباشرة. ويجب أن يوفرّ ماسك الإلكترود تلامساً جيداً مع إلكترود الفونت وألاّ يسخن هذا الماسك بسرعة. ويستخدم في الوقت الحاضر ماسك الإلكترود الذي يحوي في نهايته قضيباً فولادياً يلحم به إلكترود الفونت قبل البدء بعملية اللحام (انظر الشكل 17.4).

تراوح شدة التيار الكهربائي بين (900-1000A) عند اللحام بطريقة الحوض، حيث يتم قبل البدء بملء منطقة العيب بمعدن الإلكترود المنصهر فصل أول وجبة منصهرة من هذا الإلكترود وذلك للتخلص من الشوائب التي فيها من جهة ولتحقيق تسخين إضافي لمنطقة اللحام من جهة أخرى. ويتم عادة فصل الخبث باستمرار من على سطح حوض الصهر في أثناء عملية اللحام.



الشكل (4-17): ماسك الإلكترود المستخدم عند لحام الفونت مع التسخين المسبق

- 1- إلكترود الفونت. 2- قضيب فولاذي قطره (12 mm). 3- مكان وصل الكبل الكهربائي إلى القضيب الفولاذي. 4- الواقي. 5- المقبض. 6- حلقة. 7- الكبل الكهربائي.

تتعلق خواص المعدن المضاف في منطقة اللحام بشكل كبير بسرعة التبريد فكلما كانت سرعة التبريد قليلة كانت خواص معدن الدرزة اللحامية قريبة من خواص المعدن الأساسي.

## 2- اللحام نصف الآلي:

تستخدم هذه الطريقة لإصلاح العيوب الكبيرة في سبائك الفونت، ويمكن أن تتم عملية اللحام بسلك واحد أو بثلاثة أسلاك دفعة واحدة مما يرفع في إنتاجية اللحام، حيث تصل إنتاجية اللحام في هذه الحالة إلى (17-20 Kg/h)، بينما تبلغ الإنتاجية عند اللحام اليدوي بالإلكترودات المغلفة (10-15 Kg/h).

## 5-17- اللحام بالقوس الكهربائي بدون تسخين مسبق (اللحام البارد):

### 1- اللحام اليدوي:

ويتم هذا النوع من اللحام باستخدام إلكترودات مصنوعة من سبائك المعادن الملونة التي تغلب فيها نسبة النحاس على المعادن الأخرى، ذلك لأن النحاس لا يشكل مع الحديد أي اتحادات كيميائية ولا يذوب في الحديد، لذا فإنه عند استخدام

هذه الإلكتروودات نحصل على درزة لحامية غير متجانسة، حيث تحوي الدرزة اللحامية النحاسية دقائق من الحديد فيها نسبة عالية من الكربون، وتكون بنية هذه الدقائق في أغلب الأحيان مارتنسيتية. وأما على خط الصهر وفي معدن الأساس بالذات ينتج منطقة عالية الصلادة وذلك نتيجة لتشكل الليديبوريت. لذا فإن معالجة هذه الوصلات ميكانيكياً فيها صعوبة بالغة.

وتصنع الإلكتروودات إما على شكل قضبان من سبائك النحاس ويكون معدن الحديد موجوداً في طبقة التغطية أو تُصنع على شكل أنابيب نحاسية تحوي بداخلها قضباناً من الحديد. وتستخدم هذه الإلكتروودات في إصلاح العيوب الصغيرة والكبيرة وتعطي الوصلات اللحامية الناتجة متانة جيدة تصل إلى:

$$\sigma_b = 18 - 25 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

أما اللحام بالإلكتروودات التي تحوي قضباناً من سبائك النيكل فيستخدم في إصلاح العيوب الصغيرة وفي تلك الحالات التي تتطلب فيها معالجة الوصلة ميكانيكياً بعد اللحام. ويذوب النيكل في الحديد ذوباناً مطلقاً ويشكل معه ما يسمى الأوستينيت النيكلي. ويستطيع هذا الأخير أن يذيب كمية كبيرة من الكربون من دون أن تتشكل كربيدات. ويملك الأوستينيت النيكلي خاصية اللدونة العالية والصلادة المنخفضة. وتستخدم في صناعة الإلكتروودات خلائط من النحاس والنيكل أو من النيكل والحديد، وعند إصلاح العيوب في السبائك الهامة تستخدم الإلكتروودات التي تحوي قضباناً مصنوعة من خليطة النحاس والنيكل بحيث تزيد نسبة النيكل فيها على (90%).

## 2- اللحام اليدوي بالالكترودات تحوي في تغطيتها عناصر مشكلة الكربيدات:

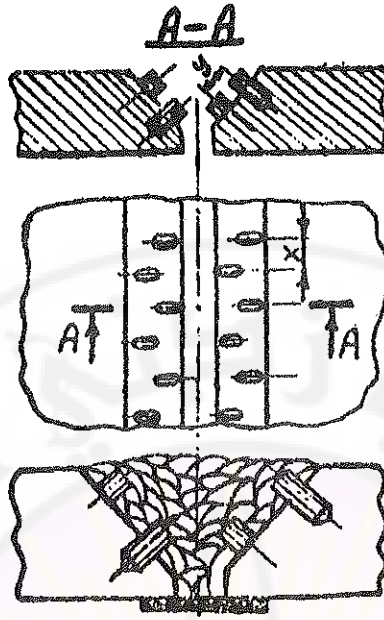
يستخدم هذا النوع من اللحام في إصلاح العيوب الصغيرة الموجودة على سطوح السبائك، ويحصل عند استخدام هذه الأنواع من الإلكترودات أن الكربون الذي ينتشر من معدن الأساس إلى الدرزة اللحامية يتفاعل مع الفناديوم أو التيتان (الموجودين أصلاً في التغطية) ويشكل دقائق كربيدية صغيرة جداً، وتكون بنية الدرزة بنية فيريئية تحوي دقائق من الكربيدات. ويمكن معالجة هذه الوصلات ميكانيكياً بعد اللحام.

وأكثر أنواع هذه الإلكترودات استخداماً هي تلك الإلكترودات التي تحوي في تغطيتها الفيروفيناديوم، وتتم عملية اللحام باستخدام تيار منخفض الشدة (حيث تبلغ شدة التيار 23-30A لكل 1 mm من قطر الإلكترود)، ولا يزيد قطر الإلكترود عن (4 mm)، ويكون التيار مستمراً ذا قطبية معكوسة.

## 3- اللحام بالإلكترودات الفولاذية:

تستخدم هذه الإلكترودات في إصلاح العيوب الصغيرة والكبيرة في القطع التي لا يلزم عادةً معالجتها ميكانيكياً بعد اللحام. ولا يأخذ لمتانة الوصلة أي جوانب تصميمية. وتتم عملية اللحام بالإلكترودات التي تستعمل عادةً في لحام الفولاذ قليل نسبة الكربون، ويستعمل نظام لحام منخفض القيم، وتتم عملية اللحام على مسافات قصيرة وتعطى فرص كافية لتبريد معدن الأساس.

يمكن أن يتم إصلاح العيوب بهذه الطريقة وذلك بتثبيت لوالب فولاذية كما في الشكل (5-17). ويؤدي هذا إلى الحصول على وصلة لحامية ذات متانة متجانسة.



الشكل (5-17): مخطط توضع اللوالب الفولاذية وكيفية إجراء لحام الوصلة المشنفرة

$$X = 4d, y = 2d$$

حيث:  $d$  قطر اللولب (mm).

يمكن أن لا تجرى عملية شنفرة العيب إذا كانت سماكة القطعة أقل من (20 mm). أما عندما تكون السماكة أكبر من ذلك فإن الشنفرة تجرى بزاوية من  $(90-120^\circ)$ ، عندما تكون السماكة أقل من (10 mm) تثبت لولب أقطارها (6 mm) وعندما تكون السماكة أقل من (20 mm) تثبت لولب أقطارها (10 mm)، أما للسماكات الأكبر من ذلك فتكون أقطار اللوالب (16 mm)، وتثبت اللوالب بالطريقة الشطرنجية، وتتم عملية اللحام بالشكل الآتي:

تصهر في البداية اللوالب الفولاذية ويغطى سطح الفوننت بطبقة فولاذية.

وتتم هذه العملية بالإلكتروودات التي تحوي في تغطيتها الفيروفناديوم أو بالإلكتروودات التي تحوي قضباناً مصنوعة من سبائك النيكل. وتتم عملية اللحام

بعمق تغلغل صهر أقل ما يمكن. وبعد ملء منطقة اللحام (المنطقة المشنفرة) تتم عملية تقوية خط اللحام بصهر قضبان فولاذية فقط.

#### 6-17- لحام الفونت عالي المتانة:

إن للحام الفونت عالي المتانة مزايا خاصة به، ذلك لأن هذا النوع من الفونت يملك خواص لحام أسوأ من الفونت الرمادي، ويمكن استخدام اللحام بالقوس الكهربائي مع التسخين المسبق لإصلاح العيوب الصغيرة والكبيرة في هذا النوع من الفونت، ويمكن لحام العيوب المكشوفة قبل المعالجة الحرارية أو بعدها، أما اللحام بالقوس الكهربائي من دون تسخين مسبق فيستخدم لإصلاح العيوب الصغيرة في السبائك، ويمكن أن تتم عملية الإصلاح هذه قبل المعالجة الحرارية أو بعدها، ويتم تجهيز العيوب ميكانيكياً أو بالقص بالقوس الكهربائي وذلك قبل البدء بلحامها. أما عملية اللحام فتتم إما بالإلكتروودات التي تستخدم في لحام الفولاذ أو بالإلكتروودات تحوي قضباناً من سبائك النيكل.



## **الفصل الثامن عشر**

### **لحام المعادن الملونة**

### **(المعادن غير حديدية)**

- 1- لحام الألمنيوم و خلائطه.
- 2- لحام النحاس.
- 3- لحام التيتانيوم و خلائطه.
- 4- لحام النيكل و خلائطه.
- 5- لحام البرونز.



## لحام المعادن الملونة و خلائطها

### 18-1- لحام الألمنيوم و خلائطه:

يعد الألمنيوم النقي من المعادن ذات الاستخدام المحدود في الصناعة وذلك بسبب متانته المنخفضة نسبياً ولدونته العالية، بينما تلقى خلائط الألمنيوم مثل: (الديور ألمنيوم والسيلومين) استخداماً أكثر في مجالات الصناعة المختلفة وهناك بعض الصعوبات التي تعترض تنفيذ لحام الألمنيوم و خلائطه وأهمها:

- 1- تتشكل على سطح الألمنيوم المنصهر قشرة من أكسيد الألمنيوم  $Al_2O_3$  تعيق انصهار جزيئات معدن الأساس، وتصل درجة حرارة انصهار أكسيد الألمنيوم إلى نحو  $(2050^{\circ}C)$ ، بينما تبلغ درجة حرارة انصهار الألمنيوم النقي  $(658^{\circ}C)$ ، وهذا يعيق تنفيذ عملية اللحام.
  - 2- إن توافر الناقلية العالية للحرارة عند الألمنيوم و خلائطه تتطلب عمليات تكنولوجية خاصة، وفي بعض حالات لحام القطع ذات السماكات الكبيرة يلزم استخدام التسخين المسبق قبل إجراء اللحام.
  - 3- يمكن أن تتشكل في وصلات الألمنيوم و خلائطه الفقاعات الغازية، أو أن تحدث تشققات في أثناء اللحام أو بعده.
- يتم لحام الألمنيوم باستخدام القوس الكهربائي اليدوي أو نصف الآلي، في وسط من الأرجون أو دونه أو باستخدام اللحام الغازي. وبغض النظر عن أسلوب اللحام المستخدم فإن قطع الألمنيوم يجب أن تخضع لعمليات تحضير أولية، وتطبق هذه العمليات نفسها على سلك المعدن المضاف وعلى قضبان الألمنيوم قبل تغليفها (تغطيتها).

#### 18-1-1- تحضير قطع الألمنيوم قبل اللحام:

يستخدم لإزالة الدهون والشحوم والزيوت من على سطح القطع، كذلك القشرة الأكسيدية، مجموعة من العمليات نوجزها فيما يلي:

1- تستخدم لإزالة الدهون والشحوم محاليل عضوية (مثل بنزين الطائرات أو الأسيتون الصناعي أو ثاني كلور الإيثان).

2- تستخدم لإزالة القشرة الأكسيدية الطريقة الميكانيكية أو الطريقة الكيميائية (أي باستخدام حموض كيميائية) وتتلخص الأخيرة فيما يأتي:

أ- تغطس القطع لمدة (1 ÷ 0.5 min) في محلول يحتوي على (45 ÷ 55 g) من الصودا الكاوي مع (40 ÷ 50 g) من فلوريد الصوديوم على ليتر من الماء.

ب- تغسل القطع بالماء الجاري.

ج- تغطس القطع في محلول يحتوي على 30% من حمض الآزوت لمدة (2 ÷ 1 min).

د- تغسل القطع بالماء الجاري ثم بالماء الساخن.

هـ- تجفف القطع حتى تزال الرطوبة من عليها تماماً.

ويجب أن تجري جميع هذه العمليات قبل اللحام نحو ساعتين إلى أربع ساعات.

تلحم صفائح الألمنيوم التي لا تزيد سماكتها على (5 mm) دون شنفرة حوافها،

ويمكن أن تلحم السماكات التي لا تزيد على (25 ÷ 20 mm) دون تسخين مسبق،

وعادةً يستخدم التسخين المسبق حتى (300 ÷ 400 °C) عندما تزيد السماكة على

(20 mm). أما مسبوكات السيلومين فتسخن إلى درجة الحرارة

(200-300 °C).

## 2-1-18- لحام الألمنيوم و خلانطه بالقوس الكهربائي اليدوي:

تتم عملية اللحام اليدوي باستخدام إلكترودات فحمية أو معدنية. وتجري عملية اللحام بالإلكترودات فحمية بتيار مستمر ذي قطبية مباشرة، ويبين الجدول (18.1) أنظمة اللحام اليدوي للألمنيوم و خلائطه باستخدام إلكترودات فحمية أو غرافيتية.

جدول (18-1): أنظمة اللحام اليدوي للألمنيوم وخلائطه عند استخدام إلكترودات فحمية أو غرافيتية

| شدة التيار الكهربائي A | قطر الإلكترود الفحامي أو الغرافيتي mm | قطر سلك اللحام المستخدم mm | سماكة المعدن المراد لحامه mm |
|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 200-120                | 8                                     | 6-1                        | 5-2                          |
| 280-200                | 10                                    | 7-5                        | 10-5                         |
| 350-280                | 12                                    | 10-7                       | 15-10                        |
| 450-350                | 15                                    | 12-10                      | أكثر من 15                   |

وتجري عملية اللحام بالإلكترودات معدنية بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة، ويبين الجدول (18-2) أنظمة اللحام اليدوي للألمنيوم و خلائطه باستخدام إلكترودات معدنية.

جدول (18-2): أنظمة اللحام اليدوي للألمنيوم وخلائطه عند استخدام إلكترودات معدنية

| شدة التيار (A) | قطر الإلكترود (mm) | سماكة المعدن المراد لحامه (mm) |
|----------------|--------------------|--------------------------------|
| 130÷80         | 3                  | 3÷1                            |
| 180÷150        | 4                  | 5÷3                            |
| 320÷250        | 5                  | 8÷5                            |
| 350÷300        | 6                  | 10÷8                           |
| 400÷350        | 8                  | 15÷10                          |
| 450÷400        | 10                 | أكثر من 15                     |

### 3-1-18- لحام الألمنيوم وخلائطه بالقوس الكهربائي الآلي:

تتم عمليات لحام الألمنيوم وخلائطه الآلية باستخدام إلكترونيات معدنية مستهلكة (تنصهر) إذ تكون سرعة سحب سلك اللحام ثابتة وتكون حواف القطع المراد لحامها بدون شنفرة. ويبين الجدول (3-18) أنظمة اللحام الآلية باستخدام إلكترونيات معدنية مستهلكة وذلك عند لحام وصلات تناكبية من الألمنيوم أو خلائطه وبحيث تتم عملية اللحام من الوجهين.

جدول (3-18): أنظمة اللحام الآلي للألمنيوم وخلائطه

بإستخدام إلكترونيات مستهلكة

| سمكة المعدن (mm) | قطر سلك اللحام (mm) | شدة التيار (A) | توتر القوس (V) | سرعة اللحام (m/h) | مقدار الخلوص بين حافتي القطعتين (mm) |
|------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 12               | 1.8                 | 300-280        | 38÷36          | 16                | 1÷0                                  |
| 16               | 2.5                 | 400-350        | 40÷38          | 16                | 1÷0                                  |
| 18               | 2.85                | 430-400        | 41÷39          | 16                | 1.5÷0                                |
| 25               | 4.5                 | 600-500        | 42÷40          | 16                | 2÷0                                  |

### 3-1-18- لحام الألمنيوم وخلائطه بالقوس الكهربائي في وسط من

الآرغون:

تتميز هذه الطريقة من غيرها من طرق لحام الألمنيوم وخلائطه بصفة رئيسية وهي أنه لا يستخدم في هذه الطريقة الفلكسات أو الإلكترونيات المغلفة ويستعمل اللحام بهذه الطريقة الأرغون الخالي من الرطوبة وتصل درجة نقاوته إلى (99.8%). وتتم عمليات اللحام يدوياً أو نصف آلياً أو آلياً. وتستخدم لعمليات اللحام اليدوية إلكترونيات مصنوعة من معدن التنجستين وباستعمال ماسكات إلكترونيات خاصة. ويتم اختيار قطر الإلكترود تبعاً لسمكة القطع المراد لحامها:

سماكة المعدن المراد لحامه (mm): حتى 2 5÷2 أكثر من 5.

قطر الإلكترود المستخدم (mm): 1,5÷1 3÷1,5 4÷3

ويمكن أن تتم عملية اللحام بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة أو بتيار متناوب. ويبين الجدول (4-18) أنظمة اللحام اليدوي باستخدام إلكترودات غير مستهلكة. وتتم عمليات اللحام الآلية باستخدام إلكترودات مستهلكة أو غير مستهلكة وعلى آلات لحام معدة خصيصاً لهذا الغرض. وتجرى عملية اللحام بالإلكترودات غير مستهلكة مع استخدام سلك المعدن المضاف أو بدونه. ويبين الجدول (5-18) أنظمة اللحام الآلي عند استخدام إلكترودات غير مستهلكة ومن دون استعمال سلك المعدن المضاف وذلك عند لحام وصلات تناكبية من معدن الألمنيوم وخالئطه.

جدول (4-18): أنظمة اللحام اليدوي في وسط من الآرغون باستخدام إلكترودات غير مستهلكة وعلى وسادة من النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ

| سماكة المعدن (mm) | وصلة تناكبية مع استخدام سلك المعدن المضاف |                       | وصلة تناكبية بدون استخدام سلك المعدن المضاف |                       | وصلة تناكبية مشفهة بدون استخدام سلك المعدن المضاف |                       |
|-------------------|-------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|-----------------------|
|                   | شدة التيار (A)                            | تصريف الآرغون (L/min) | شدة التيار (A)                              | تصريف الآرغون (L/min) | شدة التيار (A)                                    | تصريف الآرغون (L/min) |
| 0,8               | —                                         | —                     | 55÷45                                       | 5÷4                   | 45÷40                                             | 5÷4                   |
| 1,0               | 85-65                                     | 5÷4                   | 65÷50                                       | 5÷4                   | 55÷45                                             | 5÷4                   |
| 1,2               | 90-70                                     | 6÷5                   | 70÷60                                       | 6÷5                   | 70÷55                                             | 6÷5                   |
| 1,5               | 100-80                                    | 8÷7                   | 90÷70                                       | 8÷7                   | 85÷70                                             | 8÷7                   |
| 2,0               | 110-90                                    | 8÷7                   | 110÷90                                      | 8÷7                   | —                                                 | —                     |
| 3,0               | 120-100                                   | 9÷8                   | 120÷100                                     | 9÷8                   | —                                                 | —                     |

جدول (18-5): أنظمة اللحام الآلي في وسط من الأرجون وباستخدام إلكترونيات غير مستهلكة وبدون استعمال سلك المعدن المضاف

| تصريف<br>الأرغون<br>I/min | سرعة اللحام عندما<br>يتم اللحام في وضع<br>أرضي (m/h) | شدة التيار<br>(A) | قطر إلكترود<br>التنجستن )<br>(mm) | سماعة<br>المعدن )<br>(mm) |
|---------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 6÷5                       | 50÷25                                                | 70÷40             | 2                                 | 1                         |
| 7÷6                       | 45÷20                                                | 80÷50             | 3                                 | 1,5                       |
| 8÷7                       | 40÷20                                                | 120÷80            | 4                                 | 2,0                       |
| 9÷8                       | 30÷15                                                | 200÷150           | 4                                 | 3,0                       |

### 18-1-5 - اللحام الغازي للألمنيوم وخليطه:

تتميز هذه الطريقة من غيرها بأنها ذات مردود قليل، ومن عيوبها: ضرورة استخدام الفلكسات عند اللحام، يبقى تركيز الحرارة قليلاً إذا ما قورن بأسلوب اللحام بالقوس الكهربائي، ويتم اختيار استطاعة لهبة اللحام تبعاً لسماعة المعدن المراد لحامه:

سماعة المعدن المراد لحامه (mm):

0,8÷0,5    1,0    1,2    2,0÷1,5    4÷3

استطاعة لهبة اللحام (L/min):

50    75    150÷75    300÷150    500÷300

ويجب أن يتم اللحام بلهبة معتدلة، ويستعمل للحام سلك المعدن المضاف المصنوع من الألمنيوم وخليطه، ويتعلق قطر هذا السلك بسماعة المعدن المراد لحامه:

سماعة المعدن المراد لحامه (mm):

1,5    3-1,5    5-3    7-5    10-7

قطر سلك المعدن المضاف (mm):

2-1,5    3-2,5    4-3    4,5-4    5,5-4,5



## 6-1-18- معالجة وصلات الألمنيوم للحامية ميكانيكياً وحرارياً:

يجب أن تخضع الدرزات للحامية المنفذة بالقوس الكهربائي أو باللحام الغازي مع استعمال إلكترودات مغلقة أو فلكسات إلى معالجة ميكانيكية لإزالة الخبث الذي على سطح هذه الدرزات لأنه يسبب تآكل المعدن. أما الوصلات للحامية المصنوعة من الديور ألمنيوم و السيلومين فيجب أن تخضع لعملية تخمير وذلك بتسخينها إلى درجة حرارة ( $300 \div 370^\circ \text{C}$ ) مع مدة إبقاء لا تزيد على (1.5-2h)، ومن ثم تبريدها ببطء. أما وصلات اللحام المصنوعة من الديور ألمنيوم المسقى فتخضع لعملية سقاية وذلك بتسخينها حتى درجة حرارة ( $500 \div 510^\circ \text{C}$ ) ومن ثم تبريدها بالماء، وبعد ذلك تجري لها عملية تعتيق. وتستخدم هذه الطريقة من المعالجة الحرارية للقطع ذات الأهمية في الصناعة.

## 2-18- لحام النحاس:

على الرغم من الاستخدام الواسع للنحاس في مجالات الصناعة المختلفة إلا أن هناك بعض الصعوبات التي تعترض تنفيذ عمليات لحامه وأهمها:

- 1- الناقلية العالية للحرارة.
- 2- سيولته العالية.
- 3- تأكسده السريع عند ارتفاع درجة حرارته وبخاصة في حالة انصهاره.

وتؤثر الشوائب التي تدخل في تركيب النحاس في قابليته للحام (مثل الأوكسجين والزنك والكبريت والفوسفور والقصدير والزرنيخ). ويتأكسد النحاس عند تسخينه أو صهره ويتشكل أكسيد النحاسي ( $\text{Cu}_2\text{O}$ )، ويتفاعل هذا الأخير مع الهيدروجين ويسبب تشكل تشققات سطحية للدرزات للحامية. وأفضل أنواع النحاس قابلية للحام هو النحاس المستحصل بالطريقة الإلكترونية، وذلك لأنه يحتوي على شوائب لا تزيد نسبتها على (0.05%).

## 18-2-1- لحام النحاس بالقوس الكهربائي اليدوي:

تستخدم طريقة اللحام اليدوية عند لحام النحاس بالكترودات معدنية أو فحمية، وتستعمل لصناعة إلكترودات اللحام قضبان مصنوعة من النحاس أو من البرونز السيليسي المنغنيزي أو من اللاتون أو من البرونز الفوسفوري القصديري، وتغطي هذه القضبان بغلاف خاص، وتتم عملية اللحام بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة، ويبين الجدول (18-6) أنظمة اللحام اليدوي عند استخدام إلكترودات معدنية.

أما عند اللحام بالكترودات فحمية أو غرافيتية فتستعمل أسلاك المعدن المضاف المصنوعة من المواد نفسها التي صُنعت منها قضبان اللجام أنفة الذكر، ولجعل عملية اللحام تجري بشكل أفضل تستخدم فلكسات خاصة تطلّى بها أسلاك المعدن المضاف أو ترش على سطوح القطع قبل إجراء عملية اللحام، ويبين الجدول (18-7) أنظمة اللحام اليدوي للنحاس عند استخدام إلكترودات فحمية أو غرافيتية.

جدول (18-6): أنظمة اللحام اليدوي للنحاس عند استخدام

إلكترودات معدنية مغلّفة

| سماكة المعدن (mm) | قطر الإلكترود (mm) | شدة التيار (A) |
|-------------------|--------------------|----------------|
| 2                 | 3                  | 150÷120        |
| 3                 | 4÷3                | 210÷160        |
| 4                 | 4                  | 280÷240        |
| 5                 | 5                  | 350÷300        |
| 6                 | 6÷5                | 380÷330        |

ويجب أن ننوه هنا إلى أن قطع النحاس التي لا تزيد سماكتها على 4 mm تلحم من دون شنفرة الحواف. تجمع الوصلات التناكبية للحامها من دون أن

يترك خلوص بينها، ويجب تسخين القطع التي تزيد سماكتها على 5 mm إلى درجة حرارة 200÷300C قبل إجراء عملية اللحام.

جدول (18-7): أنظمة اللحام اليدوي للنحاس عند استخدام إلكتروادات

فحمية أو غرافيتية

| سماكة المعدن (mm) | قطر الإلكترود (mm) | شدة التيار (A) |
|-------------------|--------------------|----------------|
| 1                 | 4                  | 180÷135        |
| 2                 | 6                  | 260÷195        |
| 4                 | 6                  | 330÷250        |
| 6                 | 8                  | 430÷315        |
| 12                | 10                 | 550÷420        |

## 2-2-18- لحام النحاس بالقوس الكهربائي المحكم آلياً:

يمكن لحام النحاس آلياً بالقوس المغمور بالفلاكس، وتستخدم لهذا الغرض إلكتروادات فحمية أو معدنية وتتم عملية اللحام بالإلكتروادات الفحمية باستخدام رأس لحام يتحرك بسرعة ثابتة على طول الدرزة اللحامية. ويستخدم الإلكترود الفحامي الذي قطره يساوي 20 mm للحام النحاس الذي سماكته (4-8 mm) ويبين الجدول (18-8) أنظمة اللحام الآلي للنحاس باستخدام إلكتروادات فحمية.

جدول (18-8): أنظمة اللحام الآلي للنحاس بالقوس المغمور بالفليكس

وباستخدام إلكتروادات فحمية

| سماكة المعدن (mm) | قطر الإلكترود (mm) | شدة التيار (A) | توتر القوس (V) | سرعة اللحام (m/h) |
|-------------------|--------------------|----------------|----------------|-------------------|
| 4                 | 20                 | 800-780        | 18             | 22,4              |
| 6                 |                    | 980-960        |                |                   |
| 8                 |                    | 1000           | 19-18          | 16                |

وتتم عملية لحام النحاس آلياً بالقوس المغمور بالفليكس عند استخدام إلكتروادات معدنية على آلات اللحام العادية. ويرأوح قطر سلك اللحام بين

3 mm ÷ 1.6 ويتم اللحام بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة. ويبين الجدول (18-9) اللحام الآلي للنحاس عند استخدام إلكترونيات معدنية شريطة أن تتم عملية اللحام المنفذة باستعمال هذه الأنظمة دون شنفرة الحواف ولوصلات تناكبية فقط. أما للوصلات التناكبية ذات الحواف المشنفرة ولوصلات أخرى فتمت أنظمة لحام أخرى أيضاً.

جدول (18-9): أنظمة اللحام الآلي للنحاس بالقوس المغمور بالفليكس وبالإلكترونيات المعدنية ولوصلات تناكبية من دون شنفرة الحواف

| سماكة المعدن<br>(mm) | قطر الإلكترود<br>(mm) | شدة التيار<br>(A) | توتر القوس<br>(V) | سرعة اللحام<br>(m/h) |
|----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 2                    | 1,6                   | 160÷140           | 35-32             | 25                   |
| 3                    | 2                     | 210÷190           |                   | 20                   |
| 4                    |                       | 280÷250           | 35-30             | 25                   |
| 5                    |                       | 340÷300           |                   | 25                   |
| 6                    |                       | 350÷330           | 38-33             | 20                   |
| 8                    | 3                     | 450÷400           |                   | 16                   |

### 3-2-18- لحام النحاس في وسط من الغازات الواقية:

يمكن لحام النحاس في وسط من الأرجون أو الأزوت وباستخدام إلكترونيات من التنجستين أو إلكترونيات معدنية مستهلكة. وأكثرها انتشاراً هو اللحام في وسط من الأرجون وبالإلكترونيات من التنجستين وبتيار مستمر ذي قطبية مباشرة. ويبين الجدول (18-10) أنظمة لحام النحاس يدوياً وباستخدام إلكترونيات من التنجستين.

جدول (18-10): أنظمة لحام النحاس بالقوس الكهربائي اليدوي وباستخدام إلكترونيات من التنجستين وفي وسط من الآرغون

| تصريف<br>الآرغون )<br>(L/min | شدة<br>التيار A<br>( | قطر إلكترود<br>التنجستين (mm) | قطر سلك<br>المعدن المضاف<br>(mm) | سماكة<br>المعدن )<br>(mm |
|------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 3,3+2,8                      | 100+80               | 2,4                           | 2,4                              | 1,6                      |
| 6                            | 200                  | 3,2                           | 3,2                              | 3,2                      |
| 7                            | 300                  | 4,8                           | 4,8                              | 6,4                      |
| 8                            | 350                  | 4,8                           | 4,8                              | 10                       |
| 8                            | 400                  | 4,8                           | 6,4                              | 12                       |
| 8                            | 400                  | 4,8                           | 6,4                              | 16                       |

#### 4-2-18- اللحام الغازي للنحاس:

تستعمل طريقة اللحام هذه على نحو واسع في لحام القطع المصنوعة من النحاس والتي تصل سماكتها حتى 5 mm إذ يستعمل سلك المعدن المضاف من الماركات العادية للنحاس. أما عند لحام سماكات أكبر بهذه الطريقة فيستعمل السلك الذي يحتوي في تركيبه إما على (0.2%) فوسفوراً وإما على (0.15-0.3%) سيليسيوماً أو (0.2-0.7%) فوسفوراً ويبين الجدول (18-11) أنظمة اللحام الغازي للنحاس.

جدول (18-11): أنظمة اللحام الغازي للنحاس

| رقم فالة شلمون اللحام | قطر سلك المعدن المضاف (mm) | سماكة المعدن (mm) |
|-----------------------|----------------------------|-------------------|
| 1                     | 1,5                        | حتى 1,5           |
| 2                     | 2                          | 2,5+1,5           |
| 3                     | 3                          | 4+2,5             |
| 5-4                   | 5                          | 8+4               |
| 6                     | 6                          | 15+4              |
| 7-6                   | 8                          | أكثر من 15        |

### 5-2-18- معالجة وصلات اللحام النحاسية حرارياً:

مهما كانت طريقة اللحام المستخدمة للنحاس فإنه يفضل إخضاع الدرزات للحامية الناتجة إلى عملية الدرفلة فعندما تكون سماكة الوصلة أقل من 5mm فإن عملية الدرفلة تكون على البارد، وعندما تكون سماكة الوصلة أكبر من ذلك فإن عملية الدرفلة تكون على الساخن وعند درجة الحرارة ( $250-350^{\circ}\text{C}$ ) ويمكن درفلة وصلات النحاس عند درجة حرارة تزيد على  $400^{\circ}\text{C}$  لأن النحاس يصبح هشاً، ويمكن أن يتصدع. ولتحسين خواص وصلات اللحام النحاسية تُستخدم عملية التخمير، وتتلخص بتسخين هذه الوصلات إلى درجة حرارة نحو ( $500-600^{\circ}\text{C}$ ) ومن ثم تبريدها بالماء.

### 3-18- لحام التيتان وخلائطه:

يجد معدن التيتان و خلائطه استخداماً واسع النطاق في الصناعة في الوقت الحاضر، وتعد شراهة التيتان الكبيرة للأوكسجين و الآزوت العقبة الوحيدة التي تعترض تنفيذ عمليات لحام التيتان و خلائطه. ويؤثر في قابلية التيتان للحام كثيراً كل من الأوكسجين و الآزوت والهيدروجين والكربون فكلها عناصر ضارة على خواص التيتان. وللحصول على درزات لحامية جيدة فإن نسب الشوائب في التيتان وفي سلك المعدن المضاف يجب ألا تزيد على النسب الآتية: الأوكسجين ( $0.15\%$ )، الآزوت ( $0.04\%$ )، الهيدروجين ( $0.01\%$ )، الكربون ( $0.1\%$ ).

وعند لحام التيتان فإنه يجب توفير حماية كاملة من التأثير الضار للهواء المحيط لكل من: منطقة اللحام (المعدن المصهور) — أجزاء الوصلة التي ترتفع درجة حرارتها إلى أعلى من  $500^{\circ}\text{C}$  — جذر الدرزة اللحامية. ويتم لحام التيتان و خلائطه بالقوس الكهربائي في وسط من الأرجون أو بالقوس المغمور

بالفيلكس والمحكم آلياً أو بوساطة لحام التماس الكهربائي (التناكبي أو النقطي أو التدريزي).

### 1-3-18- لحام التيتان وخلائطه بالقوس الكهربائي في وسط من الأرغون:

تعد هذه الطريقة الأكثر استخداماً من غيرها في لحام التيتان و خلائطه. وتتم عمليات اللحام بهذه الطريقة باستخدام إلكترودات من معدن التنجستين، ولا يسمح باستعمال إلكترودات فحمية. ويجب ألا تقل درجة نقاوة الأرغون عن (99.7%).

ويمكن أن تستعمل في اللحام أسلاك المعدن المضاف المصنوعة من التيتان و خلائطه، ويُفضّل استخدام وسادات فولاذية مع تسليط تيار من الأرغون، وذلك لحماية الوجه العكسي للدرزة اللحامية (جذر الدرزة). ويجب تنظيف حواف القطع المراد لحامها وأسلاك اللحام من الأوساخ والقشور الأكسيدية قبل البدء بعملية اللحام.

وتتم عملية اللحام بهذه الطريقة بالإلكترود من التنجستين وبتيار مستمر ذي قطبية معكوسة. ويبين الجدول (12-18) أنظمة لحام التيتان و خلائطه بالقوس الكهربائي اليدوي في وسط من الأرغون.

يمكن أن تلحم الصفائح التي لا تزيد سماكتها على (6 mm) تناكيباً بالطريقة الآلية ومن دون استخدام سلك المعدن المضاف، شريطة أن تلحم الصفائح التي لا تزيد سماكتها على (3 mm) من وجه واحد، أما الصفائح التي تراوح سماكاتها بين (3-6 mm) فتلحم من الوجهين. وتتوافر حالياً أنظمة لحام لاستخدامها في هذا الأسلوب من لحام التيتان.

جدول (18-12): أنظمة اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي في وسط  
من الأرجون للتيان وخالطه

| سمكة المعدن )<br>(mm | شدة التيار (A) | توتر القوس (V) | قطر الإلكترود )<br>(mm) |
|----------------------|----------------|----------------|-------------------------|
| 0,8                  | 40-50          | 14-18          | 1,5-2,0                 |
| 1,0                  | 50-60          |                |                         |
| 1,2                  | 50-60          |                |                         |
| 1,5                  | 70-80          |                |                         |
| 2,0                  | 90-100         |                |                         |
| 2,5                  | 110-120        |                |                         |
| 3,0                  | 120-140        |                |                         |

### 18-3-2- لحام التيتان و خلائطه بالقوس المغمور بالفلاكس:

يتم لحام التيتان وخلائطه آلياً على آلات لحام عادية. ويحضر سلك المعدن المضاف من التيتانيوم الصناعي أو من خلائطه، ويتم تنفيذ الوصلات التناكبية على وسادة من التيتانيوم أو النحاس. ويبين الجدول (18-13) أنظمة لحام التيتان لوصلات تناكبية على وسادة من التيتان.

### 18-3-3- لحام التيتان وخلائطه بالتماس الكهربائي:

يستخدم لحام التماس النقطي والتدريزي للتيان وخلائطه على نحو واسع في الوقت الحاضر. وتبين الجداول (18-14) و (18-15) أنظمة لحام التماس النقطي والتدريزي للتيان وخلائطه.



جدول (18-13): أنظمة لحام التيتان وخلائطه على وسادة من

التيتان باستخدام الطريقة الآلية

| أبعاد<br>وسادة<br>التيتان )<br>(mm | سرعة<br>اللحام )<br>(m/h | سرعة<br>سحب سلك<br>اللحام )<br>(m/h | شدة التيار<br>(A) | توتر<br>القوس<br>(V) | سمائة<br>المعدن )<br>(mm | قطر<br>الإلكترود<br>(mm) |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| 12x105                             | 55+60                    | 150                                 | 180+160           | 34+30                | 1,8+1,5                  | 2                        |
| 15x2,0                             | 50                       | 175+162                             | 220+190           | 36+34                | 2,5+2,0                  |                          |
| 18x2,5                             |                          | 221+175                             | 250+220           | 38+34                | 3,0+2,8                  |                          |
| 20x2,0                             |                          | 239+211                             | 320+300           | 38+34                | 4,5+4,0                  |                          |
| 18x2,8                             |                          | 204+184                             | 260+230           | 34+32                | 3,0+2,8                  | 2,5                      |
| 20x3,0                             |                          | 150+139                             | 340+310           | 32+30                | 5+4,0                    |                          |
| 20x3,0                             |                          | 111+25                              | 340+310           | 32+30                | 5+4,0                    | 3                        |

جدول (18-14): أنظمة لحام التماس النقطي للتيتان الصلبانحي

| شدة التيار (A) | القوة المطبقة<br>على<br>الإلكترودات<br>Kgf | زمن<br>اللحام<br>sec | قطر الإلكترود<br>في منطقة<br>تلامسه مع<br>الصفحة (mm) | سمائة<br>المعدن )<br>(mm |
|----------------|--------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|
| 10000+6000     | 350+250                                    | 0,2+0,1              | 5+4                                                   | 1+1                      |
|                | 450+350                                    | 0,2+0,1              | 5+4                                                   | 1,5+1,5                  |
|                | 550+450                                    | 0,4+0,3              | 6+5                                                   | 2+2                      |
|                | 650+550                                    | 0,5+0,4              | 7+6                                                   | 2,5+2,5                  |

جدول (15-18): أنظمة لحام التماس التدريزي للتيتان (عند استخدام اسطوانات الدرفلة للحام التدريزي)

| عرض<br>الدرزة<br>للحامية<br>(mm) | سرعة<br>اللحام<br>(m/h) | القوة<br>المطبقة<br>على<br>الاسطوانات<br>Kgf | شدة<br>التيار<br>(A) | عرض<br>الاسطوانة<br>(mm) | سمائة<br>المعدن<br>(mm) |
|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------|
| 3,5                              | 0,85÷0,65               | 200                                          | 6000                 | 5÷4                      | 0,5+0,5                 |
| 4                                | 0,8÷0,7                 | 250                                          | 6500                 | 5÷4                      | 0,8+0,8                 |
| 5                                | 0,6÷0,7                 | 300                                          | 7500                 | 6÷5                      | 1+1                     |
| 5,5                              | 0,65÷0,55               | 350                                          | 8500                 | 7÷6                      | 1,2+1,2                 |
| 6                                | 0,6÷0,5                 | 400                                          | 9000                 | 7÷6                      | 1,5+1,5                 |
| 7                                | 0,6÷0,5                 | 450                                          | 11500                | 8÷7                      | 2+2                     |

#### 18-3-4- المعالجة الحرارية لوصلات التيتان وخلاتطه:

يفضل أن تخضع وصلات التيتان اللحامية المنفذة بالقوس الكهربائي لعملية تخمير، إذ لا تتأخر عملية التخمير هذه عن ساعتين بعد الانتهاء من عملية اللحام. ويتم تخمير القطع المصنوعة من التيتان وخلاتطه بحرارة تراوح بين (600-650 °C) مدة تراوح بين (30-45 min).

#### 18-4- لحام النيكل وخلاتطه:

يحتوي النيكل الصناعي على شوائب لا تزيد نسبتها على (1%) وهذه الشوائب هي: الحديد، الكربون، السيليسيوم، النحاس وغيرها، ويتم لحام النيكل الصناعي وخلاتطه بالقوس الكهربائي وبالغاز، فلحام النيكل بالقوس الكهربائي في وسط من الأرجون يتم عادة باستعمال إلكترودات غير مستهلكة وبتيار مستمر ذي قطبية مباشرة. ويجب أن لا تقل درجة نقاوة الأرجون عن 99.8%. أما اللحام بالقوس الكهربائي عند استخدام إلكترودات مستهلكة فيتم بتيار مستمر

ذي قطبية معكوسة. وعندما تكون سماكة المعدن قليلة فإنه يمكن استعمال اللحام الغازي. ويتم اختيار رقم فالة شلمون اللحام بعد الأخذ في الحسبان أنه لكل (1 mm) من سماكة المعدن يجب أن يكون تصريف الغاز (100L/h).

#### 18-5- لحام البرونز:

تُستخدم طرق اللحام آنفة الذكر لإصلاح العيوب في سبائك البرونز (مثل: الفقاعات والتشققات والفجوات... الخ)، وعامةً يتم إصلاح عيوب البرونز بالقوس الكهربائي باستعمال إلكترودات فحمية أو معدنية أو إصلاح هذه العيوب باللحام الغازي.

##### 18-5-1- إصلاح عيوب البرونز باللحام بالقوس الكهربائي:

عند اللحام بإلكترودات فحمية فإن قطر سلك المعدن المضاف يتراوح بين (5 ÷ 12 mm)، ويجب أن يكون تركيب هذا السلك من تركيب قطعة البرونز المراد لحامها نفسها، وتطلى هذه الأسلاك البرونزية بغلاف خاص، أما عمليات اللحام باستعمال إلكترودات معدنية فتتخذ بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة، وأما اللحام بإلكترودات فحمية فيتخذ بتيار ذي قطبية مباشرة، ويفضل تسخين القطع الكبيرة قبل اللحام إلى درجة حرارة تراوح بين (350÷450 °C).

##### 18-5-2- إصلاح عيوب البرونز باللحام الغازي:

يتم اختيار رقم فالة الشلمون في هذه الحالة بعد الأخذ بالحسبان أن لكل (1 mm) من سماكة المعدن المراد لحامه يجب أن يكون تصريف الغاز (100 ÷ 150 L/h)، ويجب أن تكون لهبة اللحام معتدلة، والتركيب الكيميائي لسلك المعدن المضاف قريب من تركيب المعدن المراد لحامه.

ويستعمل للحام البرونز الألوميني الفلوكسات نفسها التي تستعمل عند لحام الألمنيوم، أما اللحام أنواع البرونز الأخرى فتستعمل الفلوكسات التي تصلح للحام

النحاس. ويفضل أن يتم اللحام الغازي بعد تسخين القطع تسخيناً مسبقاً إلى درجة حرارة (350 ÷ 450 C°).

3-5-18- المعالجة الحرارية لسبائك البرونز التي تم إصلاحها باللحام:

يفضل أن تخضع سبائك البرونز إلى إصلاح عيوبها باللحام بالقوس الكهربائي أو باللحام الغازي إلى عملية تخمير وذلك بتسخينها إلى درجة حرارة (450 ÷ 500 C°). ويمكن أن تستخدم عملية الدرفلة للقطع التي يتم إصلاح عيوبها باستخدام أسلاك المعدن المضاف المصنوع من البرونز المسحوب.

The background of the page features a large, faint watermark of the Damascus University logo. The logo is circular, with the Arabic text "جامعة دمشق" (Damascus University) at the top and "Damascus University" at the bottom. In the center is a shield with a sunburst design and a book.

## **الفصل التاسع عشر**

### **اللحام والقص تحت الماء**



## اللحام والقص تحت الماء

### 19-1- اللحام تحت الماء:

لقد صُمِّمت طريقة اللحام تحت الماء انطلاقاً من قدرة القوس الكهربائي للاشتعال بشكل متزن في الفقاعة الغازية وبسبب التبريد المكثف للماء المحيط بهذا القوس (انظر الشكل 19-1). تتشكل الفقاعة الغازية نتيجةً لتبخّر الماء أو بخاره وتحللها إلى عنصريهما الهيدروجين والأكسجين، بالإضافة إلى الغازات المتشكلة نتيجةً لانصهار معدن الإلكترود وطبقة التغطية.

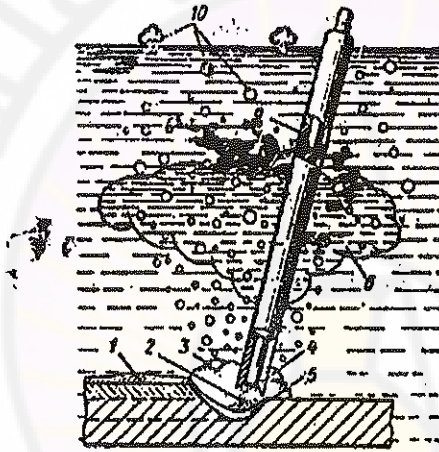
تنطلق حول القوس المشتعل كمية كبيرة من الغازات تؤدي إلى زيادة الضغط في الفقاعة الغازية وإلى تشكل جزء من هذه الغازات على شكل فقاعات على سطح الماء، يتحلل الماء الموجود في القوس المشتعل إلى هيدروجين وأوكسجين. ويتحد الأخير مع المعدن مشكلاً أكسيد المعدن. أما نواتج اشتعال المعدن الإلكترود وطبقته المغلفة فتكون معلقة في الماء وتتألف بشكل أساسي من أكاسيد الحديد وتشكل سحابة معلقة حيث تشكل هذه السحابة صعوبة في مراقبة اشتعال القوس الكهربائي.

إن اشتعال القوس تحت الماء بشكل متزن يمكن تفسيره انطلاقاً من مبدأ الطاقة الصغرى: أي أن التبريد القوي لجزء من القوس يقابله ازدياد كمية الحرارة المنطلقة منه. لتعويض الضياع الحراري الناتج من التأثير التبريدي للماء ووجود كمية كبيرة من الهيدروجين فإن ذلك يتطلب نسبياً توتراً مرتفعاً (  $30 \div 35 \text{ V}$  ). تُجرى عملية اللحام تحت الماء باستخدام تيار مستمر أو متناوب. ويكون اشتعال القوس أكثر اتزاناً عند استخدام تيار مستمر، ذلك لأن التيار المستمر يُحلل الماء إلى عنصريه قبل أن يشتعل القوس بينما يحلل التيار

المتناوب الماء إلى عنصريه وتتشكل الفقاعة الغازية في لحظة قدح القوس (وجود دائرة القصر) ودرجة حرارة عالية.

إن ازدياد العمق وارتفاع ضغط الوسط المحيط لا يؤثران في اتزان القوس المشتعل وإنما يؤديان إلى ازدياد توتر القوس وارتفاع شدة التيار الكهربائي المار فيه.

يمكن أن تتم عملية اللحام تحت الماء في المياه الحلوة والمالحة على حد سواء.



الشكل (1-19): الشكل العام لاشتعال القوس الكهربائي تحت الماء

- 1- الخبث. 2- القوس. 3- فقاعة غازية. 4- طبقة ورقية. 5- حوض الصهر.
- 6- سحابة. 7- القضيب المعدني. 8- طبقة التغطية. 9- الطبقة غير المنفذة للماء. 10- فقاعات غازية.

وتستخدم لعملية اللحام هذه آلة اللحام التي يراوح توتر المحولة

فيها بين (70 ÷ 110 V). أما قطر الإلكتروودات المستخدمة فيتراوح بينر

(4 ÷ 6 mm). لتحسين صفة عدم النفاذية للماء عند الطبقة المغلفة للإلكتروود

تغطي هذه الطبقة من الخارج بقشرة من البارافين أو محلول السيليلوز في

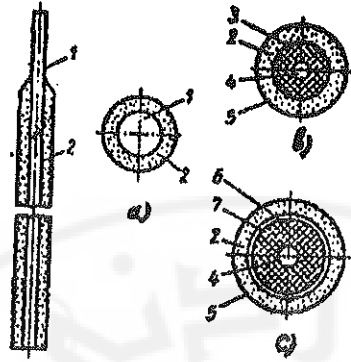


الأسيتون أو محلول الغراء في الكلوريتان. ويتم طلاء الإلكترودات المغلفة بهذه القشرة وذلك بغمسها من ثلاث مرات إلى أربع مرات في أحد المحاليل آنفة الذكر وتجفيفها بعد كل مرة عند درجة حرارة الغرفة.

تصنع إلكترودات اللحم اليدوي تحت الماء من أسلاك فولاذية مغلفة بطبقة تغطية كما هي الحال في الإلكترودات العادية (انظر الشكل a 19-2)، إلا أن هناك بعض المواد الخاصة تدخل في تركيب طبقة التغطية هذه إضافة إلى المواد المعدنية وغير المعدنية المستخدمة عادةً. ويبين الشكل (b,c 19-2) مقطعاً للإلكترودات المستخدمة في القص تحت الماء. يستخدم لعملية اللحم تحت الماء ماسكات إلكترود مغطى سطحها تماماً بطبقة عازلة للكهرباء.

يتم تغيير (استبدال) الإلكترود فقط بعد قطع التيار الكهربائي. يمكن تحت الماء إجراء أنواع الوصلات اللحامية كافة من تراكيبه وزاوية وعلى شكل حرف T، وقلما تُجرى اللحامات التناكبية، وتستخدم لهذه اللحامات ما يسمى طريقة الإلكترود المستند (المتكأ)، والسبب في ذلك أن اشتعال القوس في هذه الحالة يكون أكثر اتزاناً. ويستطيع عامل اللحم في هذه الحالة أن يحرك الإلكترود بدون هزه على عرض خط اللحم ومع الاحتفاظ بزاوية ميل الإلكترود ثابتة.

ويمكن باستخدام الإلكترود المستند أن تتم عملية اللحم وفي جميع الأوضاع (الأفقي، الشاقولي، الرأسى)، وتتم عملية اللحم الشاقولي في هذه الحالة من الأعلى إلى الأسفل. ويكون ميل الإلكترود عندئذ باتجاه سير عملية اللحم.



الشكل (19-2): الإلكترودات المستخدمة في اللحام والقص تحت الماء

a- إلكترود منصهر يستخدم للحام. b- إلكترود أنبوبي للقص.

c- إلكترود مصنوع من كربيد السيليسيوم يستخدم للقص.

1- قضيب معدني. 2- التغطية. 3- أنبوب فولاذي. 4- فتحة للأوكسجين.

5- قشرة مانعة لنفاذ الماء. 6- قضيب من كربيد السيليسيوم.

7- غلاف معدني.

تكون شدة التيار عند اللحام الأفقي تحت الماء وباستخدام إلكترود مستند

أكبر من شدة التيار عند اللحام في الشروط العادية (انظر

الجدول 19-1). أما عند اللحام الشاقولي فإن شدة التيار تقل بنسبة (10%) وفي

اللحام السقفي تقل بنسبة (15%) عنها في الشروط العادية.

جدول (1-19): أنظمة اللحام تحت الماء

| عامل صهر<br>الإلكترود g/A.h | نوع التيار وقطبيته                                 | شدة التيار<br>A | قطر<br>الإلكترود<br>mm |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|-----------------|------------------------|
| 6.5÷6.0                     | تيار مستمر ذو قطبية مباشرة                         | 240÷220         | 5÷4                    |
| 6,3÷6,0<br>9,7÷9,2          | تيار مستمر ذو قطبية<br>مباشرة ومعكوسة              | 220÷200         | 4                      |
|                             |                                                    | 220÷160         | 4                      |
|                             |                                                    | 270÷250         | 5                      |
| 9,7÷6,7                     | تيار مستمر ذو قطبية مباشرة<br>ومعكوسة وتيار متناوب | 260÷240         | 4                      |
|                             |                                                    | 275÷200         | 5                      |

إن تقانة إنتاج عمال اللحام - الغواصين - للوصلات اللحامية تحت الماء هي أصعب بكثير من تقانة إنتاج هذه الوصلات في الظروف العادية (في الهواء الجوي) وذلك للأسباب الآتية:

- 1- صعوبة الرؤيا داخل الماء.
  - 2- ارتداء الغواص عادة لجهاز الغطس الثقيل وغير المريح للحركة.
  - 3- ضرورة صرف الغواص لطاقة إضافية وذلك للتغلب على تيارات الماء.
  - 4- إمكان اختلال توازن عامل اللحام - الغواص - على القاع.
  - 5- عدم تكيف جسم الإنسان للعمل في أعماق كبيرة.
- لذا فإنه غالباً ما ينتج بعض العيوب في الوصلات اللحامية المنتجة تحت الماء مثل: عدم صهر أحد أطراف الوصلة، وجود فقاعة غازية في الوصلة اللحامية... الخ.

يؤدي اللحام اليدوي بالإلكتروودات تحت الماء، ولعمق حتى (50 m)، إلى زيادة كمية الهيدروجين في الدرزة اللحامية حتى (60-70 mL/100g). أما كمية الكربون فتتخفض من 0.26% وحتى 0.09% ، وكمية المنغنيز من 0.63% حتى 0.12%، وكمية السيليسيوم من 0.16% حتى 0.03%. وتكون بنية الدرزة اللحامية بنية ناعمة. ونتيجة لسرعة التبريد العالية تكون أبعاد منطقة التأثير الحراري في الوصلة اللحامية المنتجة تحت الماء أصغر منها في وصلة مماثلة ولكن ملحومة في الهواء.

تتعلق متانة الوصلة اللحامية المنتجة تحت الماء بماركة الإلكتروود المستخدم للحام، ولكن متانة هذه الوصلات عامة جيدة ولدونتها منخفضة. فمثلاً تراوح قيم الخواص الميكانيكية للوصلات اللحامية تحت الماء وفق ما يأتي:

$$\alpha_K = 4 \div 9 \frac{\text{Kgf.m}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta = 3 \div 12\%$$

$$\sigma_b = 35 \div 55 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

تلحم بشكل جيد تحت الماء كل أنواع الفولاذ منخفض نسب الكربون وبشكل مقبول بعض أنواع الفولاذ السبائكي قليل نسب الخلط وبشكل سيء الفولاذ الذي عنده ميول للتقسية.

تجد طريقة اللحام تحت الماء في الوقت الحاضر استخداماً واسعاً بخاصة في عمليات إصلاح التشققات في الهياكل الخارجية للبواخر وفي صهر رؤوس البراشيم وفي تثبيت الأعمدة المحافظة على توازن الإنشاءات تحت الماء وفي وصل الأنابيب وفي عمليات أخرى كثيرة.

## 19-2- القص تحت الماء:

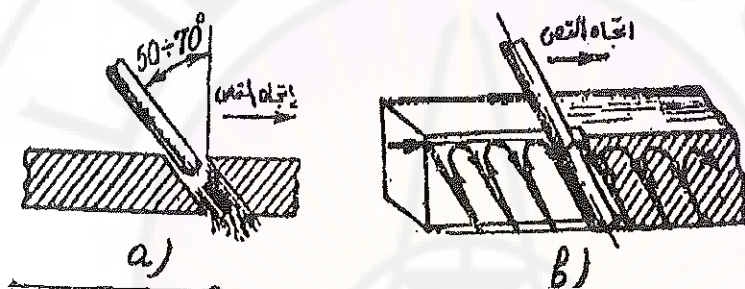
يرافق عملية القص تحت الماء مجموعة من الصعوبات والأخطار مثلها في ذلك مثل عملية اللحام تحت الماء. ويستخدم للقص تحت الماء مجموعة من الطرق الميكانيكية والحرارية أو طرق القص بالانفجار. ولكن أكثر هذه الطرق شيوعاً في الوقت الحاضر هي طرق القص الحرارية (بالقوس الكهربائي أو بالأكسي - استيلين أو بالقوس الأوكسجيني أو بقوس البلازما). وتتألف الحرارة اللازمة للقص في هذه الحالة من كل من حرارة المصدر المركز (سواء أكان هذا المصدر القوس الكهربائي أم قوس البلازما) ومن الحرارة الناجمة عن التفاعل الكيميائي بين الأوكسجين والمعدن، وبما أن المعدن المراد قصه موجود تحت الماء ويبرد بسرعة فإن مصدر الحرارة يجب أن يكون عالي التركيز في مكان القص.

يختلف القص بالقوس الكهربائي تحت الماء عن اللحام بالقوس الكهربائي تحت الماء فقط بشدة التيار الكهربائي، إذ يجب أن تكون شدة تيار القوس في حالة القص أعلى منها في حالة اللحام، لهذا يمكن استخدام آلات اللحام بالقوس الكهربائي تحت الماء لإجراء عمليات القص، ويُفضل استخدام تيار مستمر ذي قطبية مباشرة لأن ذلك يؤدي إلى انتشار كمية كبيرة من الحرارة في مكان القص.

يختلف إلكتروود القص عن إلكتروود اللحام بالطول والقطر ونوع التغطية. إذ يصنع إلكتروود القص من سلك قطره  $(5 \div 7 \text{ mm})$  وطوله  $(500 \div 700 \text{ mm})$ . وعند اختيار نظام اللحام يجب أن تراوح قيمة المعامل  $K$  بين  $(60 \div 80 \text{ A/mm})$ .

وقد أظهرت التجربة أنه يمكن إجراء عمليات قص المعدن الذي سماكته أكثر من  $(50 \text{ mm})$  بإلكتروودات قطرها  $(5 \text{ mm})$ . ومن أجل شدة تيار تراوح بين  $(350 \div 500 \text{ A})$ .

تتم عملية القص بتحريك الإلكترود تحريكاً مستمراً (دون انقطاع) من طرف القطعة المراد قصها أو من ثقب في هذه القطعة لتكون حركة الإلكترود منشارية (حركة المنشار). ويمكن قص المعدن ذي السماكة غير الكبيرة (10-15 mm) وذلك بتحريك رأس الإلكترود بشكل مستمر على طول خط القص كما في الشكل (19-3a)، أما عندما تكون السماكة أكبر من ذلك فيجب أن تتم حركة الإلكترود من السطح العلوي إلى السفلي ببطء ومن السفلي إلى العلوي بسرعة (الشكل 19-3b).



الشكل (19-3): مخطط عملية القص بالقوس الكهربائي تحت الماء في الوضع السفلي

a- معدن ذو سماكة قليلة. b- معدن ذو سماكة كبيرة.

يكون التأثير مشتركاً للقوس الكهربائي وتيار الأوكسجين وذلك عند القص بالقوس الكهربائي الأوكسجيني. إذ تسبب حرارة القوس تسخين المعدن وصهره بينما يسبب تيار الأوكسجين اشتعال المعدن الموجود في مكان القص وتدفقه إلى الخارج. وتستخدم لهذه الطريقة إلكترودات أنبوبية (ذات قناة محورية) وذلك لتمرير الأوكسجين في هذه القناة. وتستخدم أحياناً إلكترودات خاصة مصنوعة من كربيد السيليسيوم.

يصنع قضيب الإلكترود من الفولاذ قليل نسبة الكربون وعلى شكل أنبوب مستقيم وذو سماكة غير كبيرة ويساوي قطره الخارجي (5-7 mm) وقطره الداخلي (1.5 ÷ 2 mm)، انظر الشكل (19-2b).

ويراوح طول الإلكتروود بين (350-400 mm)، ويغطي هذا الإلكتروود بطبقة تغطية سماكتها (1.0-1.2 mm).

تستخدم طريقة القص بالقوس الكهربائي بشكل عام لقص المعادن السوداء فقط، أما طريقة القص بالقوس الكهربائي الأوكسجيني فتستخدم لقص المعادن السوداء والملونة والتي يمكن أن تصل سماكاتها إلى (100-120 mm) وعلى عمق تحت الماء يصل لنحو (100 m). أما إنتاجية القص بالقوس الكهربائي الأوكسجيني فهي أعلى من إنتاجية القص بالقوس الكهربائي والقص بلهب الأوكسي - استيلين. ويبين الجدولان (2-19) و(3-19) إنتاجية القص عند استخدام كل من القوس الكهربائي والقوس الكهربائي الأوكسجيني.

لقد صُمِّمت حديثاً طريقة قص بالقوس الكهربائي لسماكات تصل إلى (45 mm) من الفولاذ الكربوني والفولاذ الذي لا يصدأ والألمنيوم. ومبدأ هذه الطريقة أن القوس يشتعل بين الإلكتروود والمعدن المراد قصه فينصهر المعدن. ويسلط على هذا المعدن المنصهر تيار مائي كثيف في الوقت نفسه (بدلاً من تيار الأوكسجين في الطريقة التي ذكرت آنفاً). وتتم عملية القص هذه بتيار مستمر ذي قطبية معكوسة، إذ يكون نظام القص كما يأتي: شدة التيار (500-1000A) توتر القوس (20-40V)، ضغط الماء ( $5-10 \text{ Kg/cm}^2$ )، كمية الماء المصروفة ( $6 \div 12 \text{ L/min}$ )، سرعة القص ( $14 \text{ m/h}$ ).

تستخدم طريقة القص بقوس البلازما في المياه الحلوة والمالحة على حد سواء، ويمكن باستعمال هذه الطريقة قص المعدن الذي تراوح سماكته بين (8-40 mm) وعلى عمق تحت الماء يصل إلى (10 m). ويكون نظام القص كما يأتي: شدة التيار (200-600A)، توتر القوس (120-140V)، وتراوح سرعة القص بين ( $5-24 \text{ m/h}$ ).

جدول (19-2): إنتاجية القص بالقوس الكهربائي وكمية الإلكترودات المستهلكة

| كمية الإلكترودات المستهلكة<br>(الكتروود على كل متر قص) | الإنتاجية<br>m/h | سماعة الفولاذ<br>mm |
|--------------------------------------------------------|------------------|---------------------|
| 3                                                      | 1,3              | 5                   |
| 7                                                      | 0,8              | 10                  |
| 15                                                     | 0,6              | 15                  |
| 40                                                     | 0,4              | 20                  |
| 80                                                     | 0,3              | 30                  |
| 120                                                    | 0,22             | 40                  |
| 150                                                    | 0,17             | 50                  |
| 200                                                    | 0,14             | 60                  |

جدول (19-3): إنتاجية القص بالقوس الكهربائي الأوكسجيني وكمية الإلكترودات المستهلكة

| كمية الإلكترودات<br>المستهلكة (الكتروود<br>على كل متر قص) | زمن قص<br>المتر الواحد<br>min | ضغط<br>الأوكسجين<br>Kgf/cm <sup>2</sup> | شدة التيار<br>الكهربائي<br>A | سماعة<br>المعدن<br>mm |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| 5                                                         | 23                            | 2                                       | 200                          | 10                    |
| 6                                                         | 33                            | 3                                       | 220                          | 15                    |
| 8                                                         | 45                            | 4.5                                     | 250                          | 20                    |
| 10                                                        | 60                            | 5.5                                     | 275                          | 30                    |
| 12                                                        | 90                            | 6                                       | 300                          | 40                    |
| 15                                                        | 105                           | 6.5                                     | 320                          | 50                    |
| 18                                                        | 120                           | 7                                       | 350                          | 60                    |
| 24                                                        | 145                           | 9                                       | 350                          | 80                    |
| 30                                                        | 180                           | 11                                      | 350                          | 100                   |

إن طريقة القص بلهب الأوكسجين مع غاز آخر (الاستيلين أو الهيدروجين أو أي غاز هيدروكربوني وأحياناً يستخدم البنزين) تعتمد على مبدأ اشتعال المعدن في تيار الأوكسجين، ويقوم هذا التيار أيضاً بدفع أكاسيد المعدن والمعدن المنصهر نفسه من مكان القص. وتكون عملية القص بهذه الطريقة ممكنة عند



تشكل فقاعة غازية مستقرة باستمرار (غير متقطع) حول المشعل المسخن. وتتشكل هذه الفقاعة الغازية من نواتج احتراق اللهب المسخن الذي ينتج من احتراق الغازات المذكورة أعلاه. وبما أن المعدن الموجود تحت الماء يبرد بسرعة، لذا فإن المشعل المستخدم لتسخين هذا المعدن يجب أن يكون أكبر بـ (10÷15) مرة من المشعل المستخدم في حالات القص في الهواء.

وقد وجدت طرق القص تحت الماء بلهب الأوكسجين والهيدروجين أو الأوكسجين والبنزين استخداماً واسعاً في الوقت الحاضر وتستخدم بشكل أكبر من طريقة القص بلهب الأكسي - استيلين.

ويوصل الهيدروجين والأوكسجين إلى مكان القص بواسطة خرطومين من الأسطوانات. أما الهواء فيمر بخرطوم خاص من أسطوانة الهواء أو بواسطة ضاغط هواء خاص. ويمكن باستخدام هذه الطريقة قص الفولاذ الذي تصل سماكته إلى (70 mm) وعلى عمق تحت الماء يصل إلى (30-40 m).

وفي الوقت الحاضر آلات قص بنزينية صُممت خصيصاً ليستخدَم فيها البنزين، ومبدأ هذه الطريقة أن البنزين لا يتبخر مسبقاً وإنما يتم انشطاره بواسطة الأوكسجين ويدفع إلى مكان المشعل على شكل رذاذ. وتحتوي نواتج الاشتعال على كمية كبيرة من الغازات التي تشكل الفقاعة الغازية المستقرة مما يوفر دفع هواء إضافي أو أوكسجين إلى منطقة القص، وهذا يجعل الآلات التي تعمل بهذه الطريقة بسيطة التصميم ورخيصة وسهلة الاستعمال.



# **الفصل العشرون**

## **مميزات المنشآت المعدنية الملحومة**

### **واختيار نوع الفولاذ**

### **المخصص لإنتاج الوصلات اللحامية**

- 1-مميزات المنشآت المعدنية الملحومة بمقارنتها مع منشآت البرشمة .
- 2-مميزات المنشآت المصنوعة باللحام على مثيلاتها المصنوعة بالسكب .
- 3-اختيار نوع الفولاذ المخصص من أجل لحام المنشآت .



## مميزات المنشآت المعدنية الملحومة واختيار نوع الفولاذ المخصص لإنتاج الوصلات اللحامية

تستعمل المنشآت المعدنية الملحومة عمليا في جميع المجالات الصناعية ، وتستخدم بشكل واسع في إنتاج معدات الطاقة الكهربائية ، والتعدين ، وصناعة الآلات والآليات ، والسكك الحديدية ، والقطارات ، والمعدات الزراعية ، والبواخر ، ومنشآت البناء ، وأنابيب النقل .

### 1-20- مميزات المنشآت المعدنية الملحومة بمقارنتها بمنشآت البرشمة :

تتميز المنشآت المعدنية الملحومة بمقارنتها بمنشآت البرشمة كالاتي :

1-توفير المعدن بنسبة تراوح من (15-20%) على حساب استعمال المقطع العامل كاملا.

2-تنظيم عملي لإنتاج أشكال المنشآت .

3-التخفيض من كتلة عناصر التوصيل المستخدمة في عملية إنجاز اللحام .

4-انخفاض كلفة تحضير المنشآت على حساب انخفاض عمل تحضير المنشآت، إضافة إلى الاستغناء عن عملية التصليح والتنقيب عند تحضير منشآت اللحام للتبشيم .

5-انخفاض كلفة تحضير المنشآت أيضا على حساب الرخص في كلفة معدات اللحام ، حيث أن كلفة معدات اللحام المستعملة في الورشات أقل من كلفة المعدات المستعملة في ورشات البرشمة .

### 2-20- مميزات المنشآت المصنوعة باللحام على مثيلاتها المصنوعة بالسكب:

1-توفير المعدن بنسبة تراوح بين (30-60%) على حساب تخفيض

الطبقة الزائدة من أجل التشغيل الميكانيكي.

2-المتانة الميكانيكية لمنشآت اللحام أكثر .

3-كلفة تحضير منشآت اللحام أقل .

4-تزيد النفقات المالية لتحضير ورشات السكب وتجهيزها عن النفقات المالية لمعدات اللحام .

5-يمكن استعمال اللحام عند إنتاج المنشآت افراديا أو بالجملة، أو من الممكن أيضا تحضير منشآت ذات أشكال معقدة .

3-20- أهم سلبيات عملية اللحام على متانة المنشآت واستثمارها:

1-تشكل اجهادات داخلية متبقية بعد اللحام قد تؤثر في متانة المنشآت وشكلها.

2-تغيير الخواص البدائية للمعدن الأساس في منطقة التأثر الحراري.

يمكن تجاوز السلبيات المؤثرة في المنشآت بوساطة :

1-اختيار مخططات المنشآت بشكل صحيح .

2-الاختيار الصحيح للمعدن الأصلي ومواد اللحام .

3-إنجاز العمليات التكنولوجية بالشكل الصحيح ولاسيما تسلسل إنجاز الدرزات اللحامية .

4-20- اختيار نوع الفولاذ المخصص من أجل لحام المنشآت :

يلعب اختيار الفولاذ بشكل صحيح دوراً أساسياً في إنجاز وصلات لحامية جيدة، تقترب مواصفاتها من مواصفات المعدن الأساس .

يقسم الفولاذ الكربوني المستخدم في المنتجات اللحامية إلى : فولاذ منخفض نسبة الكربون لغاية (0.22-0.25%) كربون . ومتوسط الكربون وتساوي نسبة الكربون من (0.25-0.60%) . وعالي الكربون إذ تزيد نسبة الكربون فيه على (0.60%) . وتقسم أنواع الفولاذ الكربوني ذي النوعية العادية إلى ثلاث مجموعات :

- A. تصنع حسب الخواص الميكانيكية للشروط الاستثمارية .  
 B. تصنع حسب التركيب الكيميائي للشروط الاستثمارية .  
 C. تصنع حسب الخواص الميكانيكية والتركيب الكيميائي .
- ويجب أن تصنع المنتجات للحامية من أنواع الفولاذ من المجموعة C ، وتتألف من ست ماركات تبعا للتركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية ودرجة الإرجاع ورقم فئة الفولاذ .

#### 1-4-20- مفهوم قابلية الفولاذ للحام :

إن قابلية المعادن للحام ، هي خاصية أحد المعادن أو زوج من المعادن ، إذ يتم تشكيل وصلة طبقا للتقانة المعتمدة في اللحام ، تستجيب للمتطلبات الواجب توفرها في صنع واستثمار القطعة الملحومة .

تعد إمكانية الحصول على وصلات لحامية متساوية المتانة مع المعدن الأساسي دون استخدام طرق تقنية خاصة ( مثل : تسخين مسبق ، معالجة حرارية وغير ذلك ) ، دليلا على القابلية الجيدة للحام الفولاذ الكربوني في المنتجات العاملة بحمولات ستاتيكية وفي درجة حرارة عادية .

أما دلائل قابلية لحام الفولاذ السبائكي المخصص مثلا لتصنيع المعدات الكيميائية ، فهي عبارة عن إمكانية الحصول على وصلة لحامية تضمن الخواص المميزة مثل الصمود ضد الصدأ والمتانة في درجات الحرارة المرتفعة أو المنخفضة .

تعد إمكانية تجنب العيوب في الوصلات اللحامية ، التي تؤثر سلبا في عمل المنتجات اللحامية ، عاملا مهما لتحديد قابلية اللحام ، وعند تحديد قابلية لحام الفولاذ الذي زيدت متانته بالمعالجة الحرارية ، تكون الصفة الهامة جداً هي ميل الفولاذ نحو فقدان المتانة أثناء اللحام . ويحصل فقدان المتانة عادة في منطقة التأثير الحراري عند القسم الذي تصل فيه درجة الحرارة إلى  $(400 \div 700^{\circ}\text{C})$  وذلك تبعا لدرجة حرارة مراجعة الفولاذ أثناء تصنيعه في المصنع المنتج

(نفسية + مراجعة) ويبدو من التحليل السابق لقابلية اللحام ، أن هذه القابلية تتعلق بتركيب المعدن ، وبخصائصه الفيزيائية ، و بتقانة اللحام ( اختيار مادة الإضافة ، نظام اللحام وغيره) ، وبالشكل التصميمي للقطعة الملحومة وبظروف استثمارها . فلا دليل وحيد لقابلية اللحام ، إذ أنها متعلقة بعوامل عدة ، وقبل كل شيء بخصائص المعدن المراد لحامه .



# **الفصل الحادي والعشرون**

## **أنواع الوصلات الملحومة**

### **ومقاومتها التصميمية**

1- تصنيف الوصلات الملحومة .

2- المقاوّمات التصميمية للوصلات اللحامية .



## أنواع الوصلات الملحومة ومقاومتها التصميمية

### 21-1- تصنيف الوصلات الملحومة :

هناك العديد من تصاميم الوصلات اللحامية أهمها :

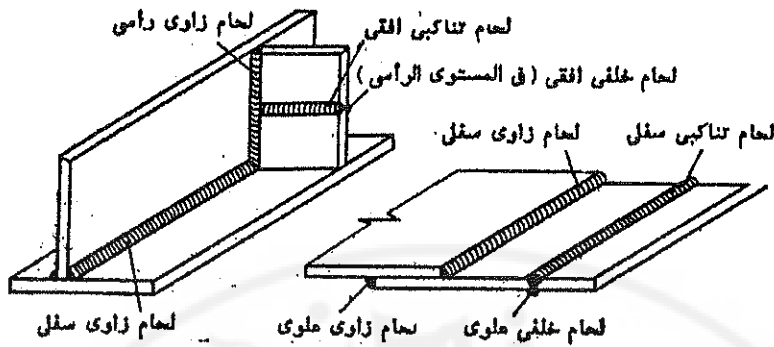
- أ- وصلات تناكبية ( But joints ) .
- ب- وصلات تراكبية ( Lap joints ) .
- ت- وصلات مركبة ( Composite joints ) .
- ث- وصلات متعامدة بشكل حرف T ، ( T-joints ) .
- ج- وصلات زاوية ( Corner joints ) و غيرها .

يبين الجدول (21-1) أسماء الدرزات الملحومة وأنواع الوصلات الملحومة .  
وتصنف الدرزات الملحومة التي يتم بوساطتها لحام أو إنجاز الوصلات إلى الأنواع الآتية طبقا لعدد من الخصائص ، هي :

- أ- تبعا لوضعها على القطع الملحومة إلى : درزات سفلية ، درزات رأسية ، درزات أفقية وعلوية (شكل 21-1) .
- ب- تبعا لتصميم الدرزات للوصلات : درزات تناكبية وزاوية، وتقسم اللحامات الزاوية تبعا للقوى المؤثرة إلى : لحامات زاوية جانبية ولحامات زاوية طرفية .
- ت- تبعا للطريقة المتبعة في تشكيل حافات أو أطراف الألواح المعدنية : وصلات مشنفرة بشكل (x) أو (K) أو وصلات مشنفرة بشكل (U) جدول (21-2) .

- ث- تبعا لطول اللحامات : لحامات متواصلة ولحامات متقطعة .
- ج- تبعا لعدد الطبقات التي تتألف منها الدرزات : درزات ذات طبقة واحدة ودرزات متعددة الطبقات .





الشكل (21-1) تصنيف اللحامات من حيث موقعها في الفراغ

جدول (21-2) تصنيف الدرزات اللحامية تبعاً لطريقة تشكيل حافات الألواح

| ملحوظات                                                                          | تستخدم عندما يبلغ ثخن اللوح 1 مم | رسم تخطيطي يبين كيفية تشكيل حافات الألواح | نوع اللحام تبعاً لطريقة تشكيل الحافات |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| <p>a - خلوص ،<br/>b - طول الجذر ،<br/><math>\alpha</math> - الزاوية المحصورة</p> | حتى 8 - 10                       |                                           | بدون تشكيل                            |
|                                                                                  | من 10 - 20                       |                                           | شكل - V                               |
|                                                                                  | اكثر من 20                       |                                           | شكل - X                               |
|                                                                                  | كذلك                             |                                           | شكل - K                               |
|                                                                                  | كذلك                             |                                           | شكل - U                               |
| يتم اللحام عند $\delta$ حتى 16 مم، باستعمال الوصلات المربعة، و بخلوص يبلغ 1 مم   | اكثر من 16                       |                                           | شكل - V في حالة اللحام الأوتوماتيكي   |

يتم تعيين الإجهاد المسموح به في الوصلات اللحامية التي تعمل في شروط ثقيلة مثل : درجات الحرارة العالية أو في وسط حمضي أو قلوي بعد إجراء اختبارات وتجارب خاصة من أجل الاستثمار ضمن الشروط المذكورة .

يساعد حساب الاجهادات الحدية تبعا لشروط عمل وصلة اللحام افراديا وتتضمن هذه الطريقة ما يأتي :

تدرس وصلة اللحام في الحالة الحدية أي في حالة اجهادات إذا تخطيناها يصبح عمل الوصلة غير طبيعي .

تحتسب منشآت اللحام بحالتين حديتين :

حسب صلاحية الوصلة للعمل وحسب تطور تشوهات الوصلة نتيجة الاجهادات المتبقية الناتجة عن اللحام ، ويجب أن تكون الاجهادات أقل من مقاومة المعدن المحسوبة  $(\sigma \leq R)$  أو مساوية لها .

ويتم تحديد الحمولة الحسابية بالمعادلة الآتية :

$$P = P_H \times n \quad (21.1)$$

حيث :

$P_H$  : الحمولة الاسمية .

$n$  : عامل زيادة الحمولة .

يأخذ عامل زيادة الحمولة في الحسبان خطر ازدياد الحمولة بالمقارنة مع القيم

المعيارية الموجودة في الجداول وتتعلق قيمة العامل بنوع الحمولة مثال :

$(n = 1.0 - 1.1)$  للحمولة العادية .

$n = 1.2 - 1.3$  للحمولة المستخدمة في الروافع .

$n = 1.4$  : للحمولة الناتجة من الثلج .

تتعلق الحمولة الحسابية بالخواص الميكانيكية للمعدن وخصائص المقاطع

الهندسية ( مساحة المقطع وعزم المقاومة  $W$  ) وشروط عمل المنشآت .

يتم تحديد المقاومة الحسابية بالمعادلة التالية :

$$R = K.R_H.m \quad (21-2)$$

حيث :

$R_H$  : المقاومة المعيارية للمعدن تساوي القيمة الصغرى لحد السيولة ( $\sigma_T$ ) وهي بالنسبة إلى الفولاذ منخفض نسبة الكربون ( $R_H = 2100 \text{ kg/cm}^2$ ) .  
 $K$  : عامل تجانس المعدن يأخذ في الحسبان خطر انخفاض مقاومة المعدن بمقارنتها مع القيم المعيارية .

حيث :  $K = 0.9$  للفولاذ الكربوني العادي .

$K = 0.85$  لكل من الفولاذ منخفض نسبته في خليط الألومنيوم .

$m$  : عامل شروط العمل يأخذ في الحسبان إمكانية الانحراف عن شروط الاستثمار الطبيعية وخصائص عمل المنشآت .

مثال :

نستعمل ( $m = 0.8$ ) عند حساب خزانات لحفظ منتجات النفط و ( $m = 0.9$ ) عند حساب عوارض الروافع التي تعمل بشروط ثقيلة .





# **الفصل الثاني والعشرون**

## **تصميم الوصلات اللحامية**

### **تبعاً لتأثير القوى المحورية**

- 1- تصميم الوصلات اللحامية التناكبية .
- 2- تصميم الوصلات اللحامية التراكبية .
- 3- تصميم الوصلات اللحامية المركبة .
- 4- تصميم الوصلات اللحامية التي على شكل حرف T .



## تصميم الوصلات اللحامية تبعاً لتأثير القوى المحورية

### 1-22- تصميم الوصلات اللحامية التناكبية :

تستخدم هذه الوصلات عادة لربط الصفائح الفولاذية والعناصر الأخرى المعرضة للشد أو للضغط المحوري ولربط مقاطع الجوائز التي بشكل (I) أو المجاري بشكل (U) والمقاطع المختلفة المعرضة للقص .

عند تصميم الوصلات التناكبية يجب التفكير جيداً لتحقيق عمق صهر جيد للحام ( اختراق جيد ) . ولأجل ذلك . عندما تزيد سماكة الألواح عن (10مم) من الضروري إجراء شنفرة حافة واحدة أو الحافتين معاً للألواح كما ورد في الجدول (21-2) الأمر الذي يساعد على إدخال الإلكترود إلى عمق أكبر وبذلك نحصل على عمق الصهر المطلوب ، مع ترك خلوص ثابت الحجم ، بين اللوحين الملحومين ( جدول 21-2 ) وبعد تقلص الحجمي للوصلة يختفي الخلوص تماماً ، مما يدل على وجود تقلص مستعرض ملموس في اللحام ، إن عدم وجود الخلوص يؤدي إلى وجود اعوجاج (warping) الألواح ، وإلى ظهور تشوهات لحام كبيرة .

وعند لحام الألواح المثبتة أو المربوطة ، تظهر بعد تجمد معدن اللحام ، إجهادات شد متبقية ، تساعد على تكون التشوهات أو الشقوق ، مما يؤدي إلى انهيار الوصلات اللحامية .

في حالة اللحام الآلي ، ونتيجة لشدة التيار العالية ، لا يتم تشكيل شنفرة الحافات دائماً الأمر الذي يقلل من حجم المعدن المترسب ( معدن سلك اللحام ) وعندما تصل سماكة الألواح أو القطع الفولاذية إلى (16مم) ، يتم اللحام الآلي من جهة واحدة ، وبطبقة واحدة دون تشكيل الحافات ولكن مع ترك خلوص معين بينهما وإذا زادت سماكة الألواح أو القطع عن (16مم) فيتم تشكيل ( شنفرة ) الحواف بزاوية قدرها  $(60^0)$  . وتجري عملية اللحام الآلي على ألواح سائدة مؤقتة من

النحاس ، أو دائمة من الفولاذ ، أو على طبقة من المواد المساعدة للصهر ، أو باللحام الخلفي الساند المنجز مسبقا .

والقسيم بعملية اللحام الآلي من الوجهين عندما ( $t < 24$  مم) يجب تشكيل شفرة القطع بشكل  $\times$  بطول جذر يساوي  $3/1$  سماكة الألواح الملحومة من كل جهة . وعند لحام ألواح الألمنيوم التي تصل سماكتها إلى (10مم) ، يمكن عدم شفرة حواف الألواح ، أما ابتداء من (12مم) فما فوق ، فيجب تشطيب الحافات حتماً ، والخلوص بين الألواح التي تصل سماكتها إلى (10مم) ، يؤخذ مساويا إلى (1 مم) ، أما عندما تصل سماكة الألواح إلى (30مم) فيتراوح الخلوص بين (1,5-2مم) .

يجري حساب مقاومة وصلة التناكب المعرضة لتأثير القوى المحورية ، على فرض توزيع الإجهادات توزيعاً منتظماً على مساحة المقطع العرضي للحام شكل (22-1.a) وعند وجود عيب في الوصلة اللحامية شكل (22-1.b) ، يكون مجال القوة المؤثرة في اللوح ، غير منتظم ، ويولد عزم انحناء إضافي ، وتتركز إجهادات خطيرة ، ولتلافي ذلك يجهز لحام خلفي ساند بعد الاستئصال التام للخبث الموجود في جذر اللحام .

إن المقطع المصمم للحام التناكبي ، عندما يكون ذلك اللحام عمودياً على محور القطعة (وصلة قائمة) يؤخذ مساوياً لمساحة المقطع على امتداد الخط II-II شكل (22-1.a) ، ولكن دون أن نأخذ في الحسبان التقوية باللحام الخلفي الساند ، وارتفاع ندبة الدرزة اللحامية المترسبة على الوصلة اللحامية . أي :

$$A_W = L_W \cdot t \quad (22.1)$$

حيث :

$t$  : الثخن ( السمك ) الأصغر للقطع الملحومة .

$L_w$  : الطول المصمم للحام ويساوي الطول الفعلي ناقصا (10مم) ( وهو مجال التسامح الذي يؤخذ بالحسبان وتكون النقطة أي الاختراق الضعيف عند أطراف الوصلة اللحامية ) .

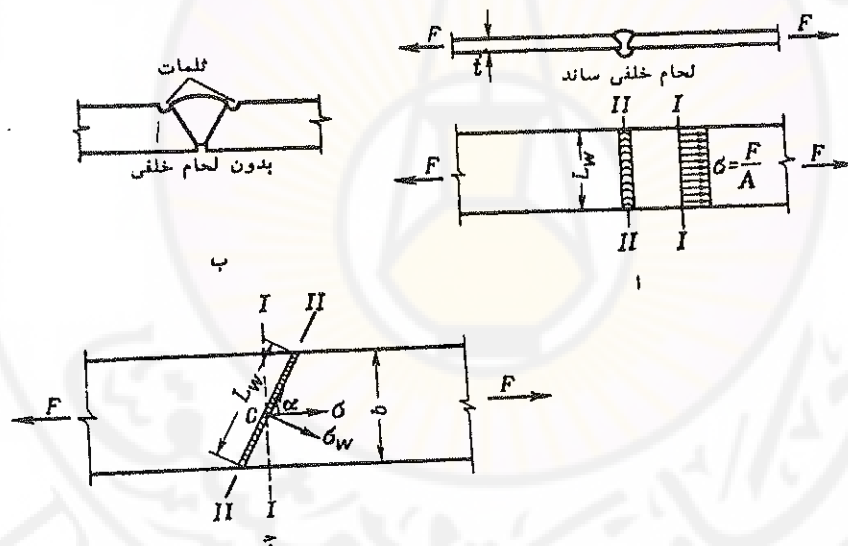
وإذا امتد اللحام إلى الألواح الساندة ، يمكن عدم طرح الـ 10مم المذكورة .  
ويعطى الإجهاد الموجود في اللحام بواسطة الصيغة الآتية :

$$\sigma_w = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{L_w \cdot t} \leq R_w \quad (22.2)$$

حيث :

$R_w$  : مقاومة الشد أو الانضغاط التصميمية للحام التناكبي .

وتؤخذ من جداول خاصة :



الشكل (1-22) وصلات ذات لحامات جانبية (تناكبية) :

a. وصلة تناكبية مستقيمة .

b. وصلة تناكبية ناقصة (معابة) .

c. وصلة تناكبية مائلة .

إن تصميم الوصلة المائلة ، المبينة في الشكل (22-1.c) تكون مقاومتها مساوية لمقاومة المعدن الأساسي، ولا يجب أن تزيد الزاوية  $\alpha$  ، المحصورة بين اتجاه القوى المحورية ( الطولية ) واتجاه اللحام المائل ، على  $65^0$  ، تكون هذه الزاوية في الواقع مساوية  $60^0$  . وعندما تأخذ مثل هذه الزاوية ، يمكن عندئذ عدم مراجعة مقاومة الوصلة المذكورة .

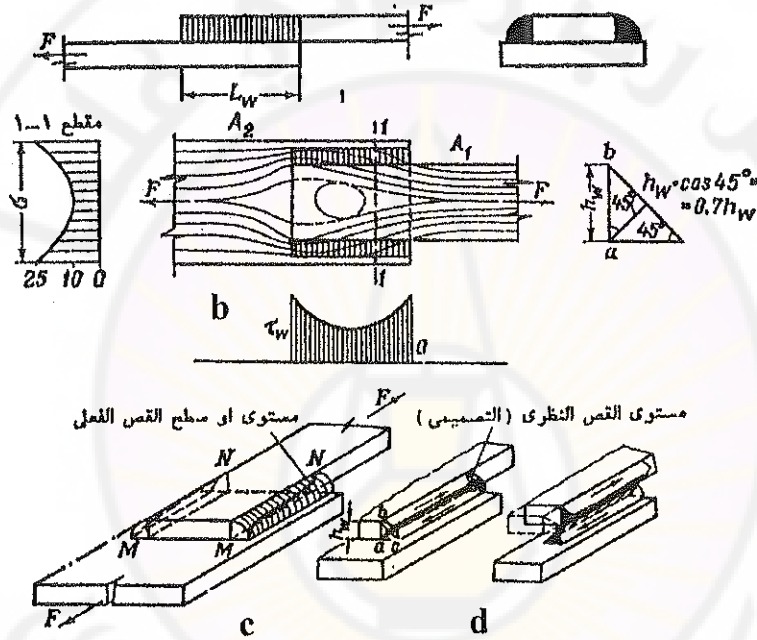
## 22-2- تصميم الوصلات اللحامية التراكبية :

يمكن إنجاز وصلة التراكب باستخدام أطواق أو شرائط معدنية أو من دونها ، بوساطة لحام الزاوية . و اللحامات الزاوية ، تبعا لتركيبها بالنسبة للقوى المؤثرة على القطع الملحومة ، قد تكون جانبية ( تقع بموازاة القوة ) ، و طرفية أو حافية ( تقع بصورة عمودية على القوة ) .

### أولا : تصميم وصلة تراكبية بلحامات جانبية :

يوضح الشكل (22-2) وصلة تراكبية . إن انتقال القوة من قطعة إلى أخرى ، يتم من غير انتظام مطلقا على طول الدرزة اللحامية وعلى مساحة المقطع العرضي للوصلة أيضا . ويبين الشكل (22-2.a) مجال القوة في القطعة ، وقد تتمركز عند الدرزة اللحامية ، فالشكل (22-2.b) يبين الرسم البياني لتوزيع الإجهادات على طول اللحام . و لكن في حالة تأثير الأحمال الستاتيكية ، بعد وصول الإجهادات في النقاط الطرفية للدرزات اللحامية ، إلى قيمة مساوية إلى نقطة الخضوع ، مع الاستمرار في التحميل ، فسوف يقل عدم الانتظام في توزيع الإجهادات على طول الدرزة اللحامية . وسوف تتعادل الرسوم البيانية للإجهادات ، ويحدث الانهيار أو التصدع ، بطريقة القص على امتداد السطح المميز بالخط (MN) شكل (22-2.C) .

ولهذا الخط طرفان منحنيان في البداية والنهاية ( عند النقاط الأكثر إجهادا ) ، وقسم مستقيم في منتصف الدرزة اللحامية . إن هذا النوع من التصدع يسمح أن يكون التصميم مبنيا على أساس الافتراض بأن إجهادات القص موزعة بانتظام على أصغر مساحة للمقطع العرضي للدرزة اللحامية ، تمر خلال ارتفاع الدرزة اللحامية الزاوية المستقيمة شكل (22-2.d) .



الشكل (22-2) وصلات لحامية تراكبية .

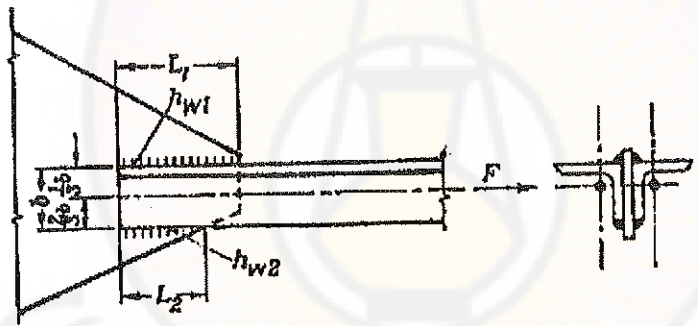
وعند تساوي ساقى الدرزة اللحامية فإن ارتفاع الدرزة اللحامية الزاوية يساوي  $(0.7h_w)$  حيث  $(h_w)$  تمثل طول ضلع الدرزة الزاوية شكل (22-2.c) وبما أنه في حالة اللحام الآلي ونصف الآلي ، يكون عمق الصهر عند جذر اللحام أعمق مما هو عليه في حالة اللحام اليدوي ، وأنه عندما تكون مهمة اللحام هي مقاومة القص يشارك قسم من المعدن الأساسي في هذه المقاومة ، فلذلك نرى أن

مركز ثقل الزاوية ، الذي يبعد عن ظهرها بمسافة تقدر بحوالي (1/3) الشفة (الساق) . وتؤخذ هذه القوة عند ظهر الزاوية ، مساوية للمقدار :  $\left(F_1 = \frac{2}{3}.F\right)$  وعند رأس الزاوية تؤخذ مساوية للمقدار :  $\left(F_2 = \frac{1}{3}.F\right)$  . وعندئذ نحصل على صيغة تحدد الطول التصميمي للحام  $\sum L_1$  ، عند ظهر الزاوية من العلاقة :

$$\sum L_1 \geq \frac{2}{3} \frac{F}{K_w \cdot h_{w1} \cdot R} \quad (22.6)$$

حيث :

$h_{w1}$  : تمثل طول ضلع الدرزة اللحامية عند ظهر الزاوية .



الشكل (22-3) وصلة تراكب غير متماثلة

وبما أن القوة من جهة رأس الزاوية أقل من ذلك كثيرا ، يمكن تقليل طول ضلع الدرزة اللحامية ( ثخن اللحام ) عند رأس الزاوية ، ومن غير المنطقي قص ساق الزاوية لتقليل طول اللحام ( $L_2$ ) .

مثال ١ :

يطلب حساب وتصميم اللحام اللازم لوصل زاويتين ( $75 \times 75 \times 8mm$ ) مع لوح تقوية سماكته ( $t=10$  مم) شكل (22-4) .



هذا مع العلم أن قوة الشد التصميمية في الزاويتين :  $(F = 42.5)$  طن . وان  
المادة من الفولاذ الإنشائي نوع (ST.3) واللحام اليدوي بالكترود (E42) .

الحل :

نحدد الطول التصميمي للحام بالعلاقة :

$$\sum L_1 \geq \frac{2}{3} \frac{F}{K_w \cdot h_{w1}} R_{wf}$$

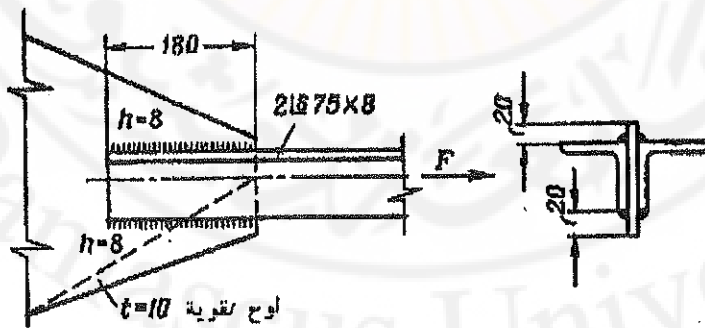
بعد أن نأخذ طول ضلع اللحام ( ثخن اللحام )  $(h_w = 0.8)$  سم ونتيجة لوجود  
زاويتين ولحامين مناظرين لهما ، طول كل منهما  $(L_1)$  ، يقعان عند ظهري  
الزاويتين المذكورتين فنحصل على ما يلي :

$$L_1 = \frac{\sum L_1}{2} = \frac{2}{2.3 \cdot 0.7 \cdot h_{w1} \cdot R_{WF}} =$$

$$\frac{2.42500}{2.3 \cdot 0.7 \cdot 0.8 \cdot 1500} = 16.8 \text{ cm} \approx 170 \text{ mm}$$

نأخذ  $(L_1 = 10 + 170 = 180 \text{ mm})$  كما موضح الشكل (4-22) .

وعند التصميم يمكن في الحالات الضرورية تقليل أبعاد لوح التقوية ، كما يبين  
الخط المنقط في الشكل (4-22) ، مع الأخذ بالحسبان إمكانية تقليل طول اللحام  
عند رأس الزاوية .



الشكل (4-22) رسم توضيحي للمثال (1)

ثانيا : تصميم وصلة تراكيبية بلحامات طرفية :

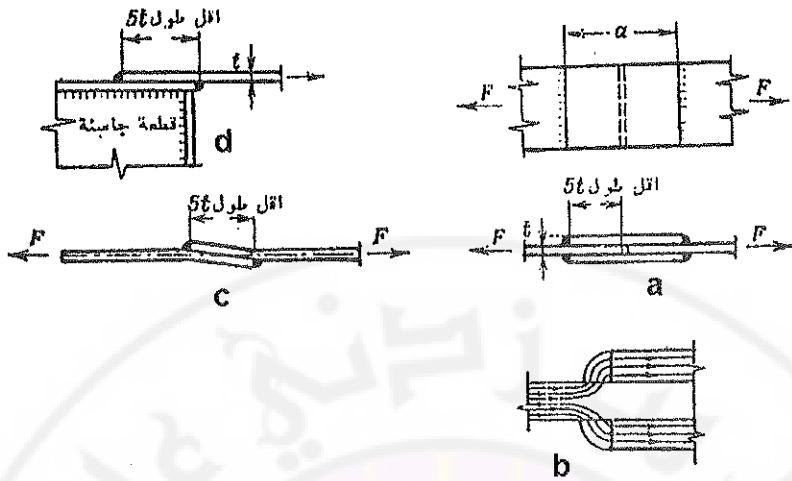
يوضح الشكل (5-22) وصلة تراكيبية ذات لحامات طرفية .

عندما توضع الصفائح المعدنية بصورة متماثلة شكل (a. 5-22) نجد أن الدرزات اللحامية الطرفية تبدي مقاومة عالية بما فيه الكفاية ، ولكن نتيجة للتغير الحاد في اتجاه مجال القوة شكل (b. 5-22) ، وتتركز في جذر اللحام اجهدادات كبيرة ، تؤدي إلى حدوث التصدع عند وجود انفعالات طولية صغيرة بحدود  $(\epsilon = 4 \div 6\%)$  ، أي يحدث الانهيار الهش في حالة الشد ، على امتداد مستوى التلامس بين اللحام وطرف اللوح .

وان تصميم الدرزات اللحامية الطرفية ، يجري اصطلاحيا بالنسبة إلى إجهاد القص في أصغر مساحة مقطع ، وهي المساحة التي تعد بمثابة المساحة المصممة ، المارة خلال ارتفاع الدرزة اللحامية الزاوية المساوي للمقدار  $(K_w \cdot h_w)$  .

وتبقى صيغة الحساب ، كما لو كانت عليه في حالة الدرزات اللحامية الجانبية ، كالآتي :

$$\tau_w = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{K_w \cdot h_w \cdot \sum L_w} \leq R_{wf} \quad (22.7)$$



الشكل (22-5) وصلات ذات لحامات طرفية .

يؤخذ طول التداخل بين الصفائح a شكل (22-5. a) حيث لا يقل عن  $(10t)$  ، على ألا يكون أقل من  $(80\text{ مم})$  .

ولا ينصح باستخدام وصلة غير متماثلة بشريط ( طوق ) معدني واحد ، وذلك لوجود لا تمركزية تؤدي إلى حدوث عزم إضافي .

ويمكن السماح باستخدام وصلة التراكب ذات اللحامات الطرفية في حالة واحدة

فقط ، وهي إذا كانت إحدى القطعتين الملحومتين جاسئة ، إلى حد كاف شكل (d)

(22-5. ، أو على العكس من ذلك ، إذا كانت القطع الملحومة عبارة عن ألواح

رفيقة قابلة للانثناء شكل (22-5.c) . ولتقليل تأثير عزم الانحناء الإضافي في

مثل هذه الوصلات ، يجب ألا تقل مسافة التراكب ( التداخل بين القطع ) عن  $5t$

، حيث  $t$  : تمثل سماكة القطعة المراد لحامها .

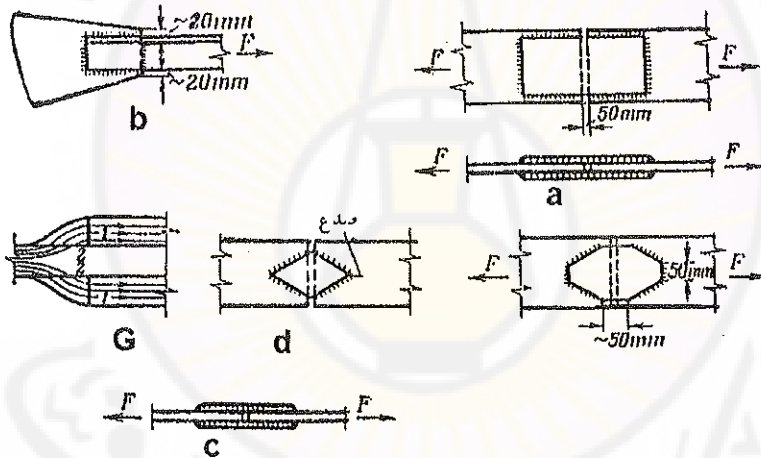
### 22-3- تصميم الوصلات اللحامية المركبة :

يطلق على الوصلة اللحامية اسم وصلة مركبة إذا احتوت على عدة أنواع مختلفة

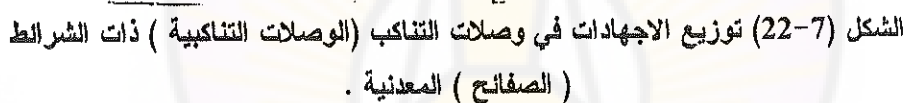
من الدرزات اللحامية : أي الدرزات اللحامية الجانبية والطرفية أو التناكبية .

وابسط مثال لهذه الوصلات ، هي الوصلات ذات اللحام الإطاري ( المحيطي ) ، أي على امتداد المحيط بأكمله شكل (22-6a.b) .

إن السلوك الحقيقي للوصلة المركبة ، الذي يعتمد على توزيع القوى بين اللحامات الجانبية والظرفية ، يمكن تفسيره كما يلي : في بداية تسليط الحمل تتحمل اللحامات الظرفية - وهي : الدرزات الأكثر جسوءة - قسما أكبر من القوى ، ولا تبدأ الدرزات اللحامية الجانبية الأقل جسوءة بتحمل ما يصيبها من القوى ( الحمل ) ، إلى بعد أن تنتشوه اللحامات الظرفية تشوها معينا ، ويحدث التصدع (الانهيار) في مرحلة اللدونة ، عند التعادل النسبي للاجهادات في كافة الدرزات اللحامية ، وذلك بسبب تجاوز التحميل الذي تتعرض له اللحامات الظرفية ، وخاصة عند تأثير الأحمال المتناوبة .



الشكل (22-6) وصلات مركبة (موحدة)



ويتم انتقال مجال القوة بصورة أكثر انتظاما ، في الوصلات التي تحتوي على صفائح معدنية على شكل معين ، مشطوفة بزاوية تراوح بين  $(45^0 - 35^0)$  شكل (22-6.b) . وفي هذه الحالة ولتجنب التركيز الكبير للاجهادات عند ثغرة الوصلة ، لا يمد اللحام إلى منتصف الوصلة ، وتترك فاصلة قدرها (25مم) من كل جهة . ولا ينصح باستخدام الصفائح المعدنية التي على شكل معين ، ذات الزوايا الحادة (زوايا غير مقطعة) ، وذلك بسبب تكون الشروخ أو الصدوع عند زوايا المعين شكل (22-6.d) . ولانتقال مجال القوة بصورة أكثر سلاسة يجب مد ارتفاع الدرزة للحامية إلى مسافة أكبر ، عند اللوح المعدني الأساسي شكل (22-6.G) .

عند تصميم الدرزات اللحامية للوصلات المؤلفة ، يفترض بأن تكون الاجهادات ( القوى ) موزعة بانتظام بين كافة الدرزات اللحامية ، فتبقى صيغة التصميم كما كانت عليه سابقا حسب الصيغة (22,4) أو (22,5) ويبين الشكل (7-22) كيفية توزيع الاجهادات على المقطع بأكمله وعلى الألواح المعدنية .

ويمكن إنجاز النوع الثالث من الوصلات المركبة ، الذي يستخدم في قطع الشد الإنشائية بواسطة اللحام التناكبي للقطع ، مع وضع صفائح أو أطواق معدنية على شكل معين ، وهذه الوصلة تكلف ثمنا أعلى ، وذلك لضرورة تشكيل حافات القطع على الآلات ، وجلخ وتنظيف زوائد اللحام الناتجة ، بعد اللحام التناكبي . إن حساب وتصميم مثل هذه الوصلة ، يتم بالشكل الآتي :

$$\sigma = \frac{F}{A_w + \sum A_s} \leq R_{wt} \quad (22.8)$$

حيث :

$A_w$  : مساحة المقطع العرضي للحام التناكبي .

$A_s$  : مساحة الطوق المعدني للحام .

$R_{wt}$  : مقاومة الشد التصميمية للحام .

وبمقارنة الطرق المختلفة لوصل الألواح المعدنية ، يمكن التوصل إلى النتيجة الآتية : وهي أن أحسن أنواع الوصلات بالنسبة إلى الألواح المعرضة للقوى المحورية ، هي الوصلات اللحامية التناكبية القائمة ( أو الوصلة المائلة ذات المقاومة المعادلة لها ، في حالة الشد ) وإذا كانت الضرورة تستدعي استخدام الصفائح المعدنية لإنجاز وصلة التناكب القائمة ، يجب في هذه الحالة استخدام صفائح معدنية على شكل معين ، ذات زوايا مقطوعة . أما في القطع الإنشائية المهمة جدا ، فيكون من الأفضل لحام الألواح بواسطة اللحام الآلي .

ومن الأفضل وصل المقاطع الجاسئة مع الألواح المعدنية ، بواسطة الدرزة للحامية الجانبية ، من حيث أنها أكثر الدرزات للحامية لدونة .  
مثال 2 :

يطلب تصميم وصلة لوحين من الفولاذ الإنشائي ماركة ( $St_3$ ) أبعاد مقطعيها ( $250 \times 12$ ) مم وتحمل قوة شد تصميمية  $F$  قدرها (62) طن .  
ويجب أن تصمم الوصلة المذكورة بصفيحتين معدنيتين على شكل المعين شكل (8-22) مع استخدام اللحام القوس الكهربائي اليدوي .  
الحل :

أوجد مساحة المقطع العرضي اللازم للصفيحتين ( $2A_S$ ) ،  
التي يتضح بأنها إما تساوي مساحة المقطع الأصلي للوح ( $A_P$ ) أو تكون أكبر منه قليلا ، وإلا فلن تنتقل القوة  $F$  من لوح إلى آخر ، أي يجب أن نأخذ ( $2A_S \geq A_P$ ) . وانطلاقا من الجوانب التصميمية ، نعين أبعاد اللوحين بالمقدار ( $200 \times 8$ ) مم ، عندئذ يكون لدينا:

$$2A_S = 2.20.0.8 = 32cm^2$$

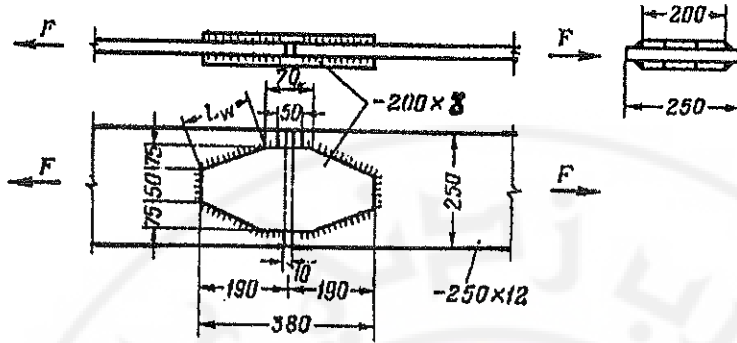
$$A_P = 25.1.2 = 30cm^2$$

وهكذا نرى أن :  $2A_S > A_P$  .

2- نستخدم الكترود من نوع E42 . عنها نجد مقاومة القص التصميمية للحام الزاوي طبقا للجداول الخاصة تساوي ( $R_{wt} = 1500kg/cm^2$ ) ، ونستخدم بالنسبة إلى الصفائح المعدنية التي يبلغ سمكها (8) مم ، درزات لحامية زاوية طول ضلعها يساوي ( $h_w = 8$ ) مم .

3- نعين الطول الكلي التصميمي للدرزة اللحامية ( $\sum L_w$ ) ، في جانب واحد من الوصلة ، لكل نصف صفيحة معدنية ، بواسطة الصيغة (22,5) :

$$\sum L_w = \frac{F}{2.0.7.h_w.R_{wf}} = \frac{62000}{2.0.7.0.8.1500} = 37cm$$



الشكل (8-22) : رسم توضيحي للمثال 2 .

4- نعين طول نصف شريط الوصلة . في كل جانب من جوانب الوصلة ، يلحم كل نصف شريط بلحام واحد متواصل ، يتألف من لحامين جانبيين مائلين ، ولحام طرفي واحد طوله (50) مم وبذلك يجب أن يكون الطول المصمم للحام الجانبي الواحد ، مساويا لما لا يقل عن:

$$L_g = \frac{1}{2}(\sum L_w - 5) = \frac{1}{2}(37 - 5) = 16cm$$

ويجب أن نجعل الطول الحقيقي ( الإنشائي ) أكبر من ذلك قليلا (16+1=17cm) ، مع الأخذ في الحسبان النقطة التي في نهاية الدرزة اللحامية ، وعمق الصهر الضعيف المحتمل في بداية اللحام . يجب ترك قسم من الوصلة عند الخلوص ، من دون لحام ، لمسافة (50) مم ، ويجب أن يكون اللحام الجانبي المصمم ، عند الزاوية موازيا لحافة اللوح لمسافة (10) مم شكل (8-22) . وهكذا نستنتج طول نصف الشريط :

$$\frac{1}{2}L_s = \sqrt{17^2 - 7.5^2} + 3.5 = 19cm \approx 190mm$$



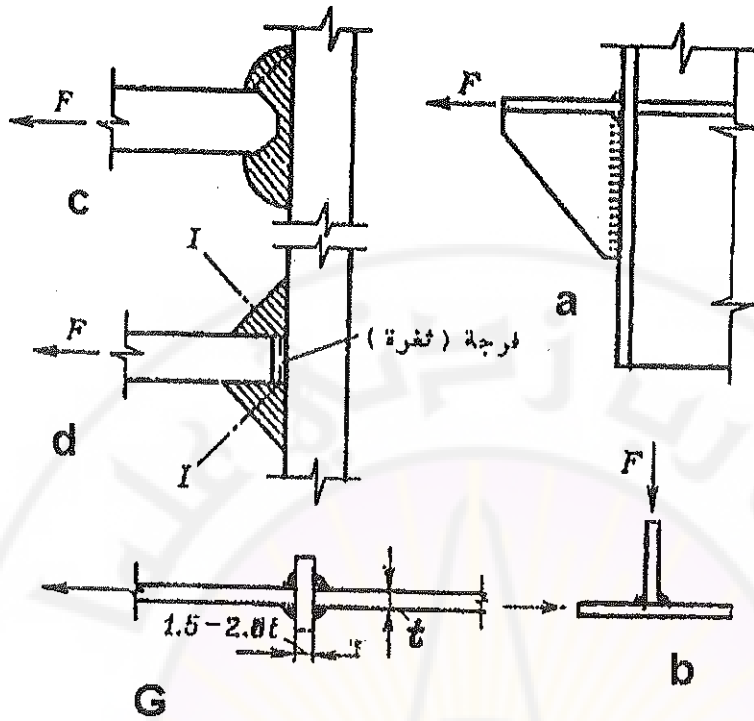
نستخدم شريطين أبعاد مقطعيهما العرضي  $(8 \times 200)$  مم وطولهما  $(2 \times 190) = 380$  مم أما طول ضلع الدرزة اللحامية فهو :  $h_w = 8$  مم .

#### 4-22- تصميم الوصلات التي على شكل حرف T :

إن هذا النوع من الوصلات ، يستخدم مثلاً في حالة وصل المساند أو العوارض مع العمود شكل (a-9-22) ، أو وصل الألواح مع بعضها بزوايا قائمة شكل (b-9-22) ،.... الخ .

وتستخدم هذه الوصلة على نطاق واسع ، نتيجة لبساطة تركيبها . وتتطلب عمق صهر جيد على امتداد سماكة اللوح الملحوم بأجمعه شكل (c-9-22) ، وذلك لأنه عند ترك ثغرة ما شكل (d-9-22) ، يتغير بحدّة اتجاه مجال القوة .

وفي الحالة الأخيرة ، يؤخذ المقطع المصمم للحامات ، بأصغر مساحة ممكنة شكل (d-9-22 المقطع 1-1) ، وتؤخذ المقاومة التصميمية مساوية لمقاومة القص للدرزات اللحامية الزاوية  $(R_{wf})$  .



الشكل (9-22) : وصلات تتأكب على شكل T

وفي حالة عمق الصهر التام (الاختراق التام) شكل (c) (9-22) يؤخذ طول ضلع الدرزة اللحامية الزاوية مساويا لسماكة اللوح المعدني الملحوم ، أما مقاومة اللحام التصميمية ، فتؤخذ تبعا لنوع القوة المؤثرة (ضغط أو شد) ولا ينصح عامة باستخدام الوصلة المذكورة بصورة مزدوجة (double - tee joint) مع استخدام لوح مستعرض شكل (G) (9-22) ، وذلك لأنه بالإضافة إلى التغيير الحاد في اتجاه مجال القوة ، المار بصورة عمودية على اتجاه الدلفنة في اللوح المعدني ، الملحوم بأربعة درزات لحامية ، توجد في هذه الحالة منطقة واسعة نسبيا ، ذات خواص ميكانيكية منخفضة ، على امتداد سماكة اللوح المعدني . بالإضافة إلى الانفعالات اللدنة التبادلية للألواح الملحومة ، ويمكن

استخدام مثل هذه الوصلة في حالة الوصلات المضغوطة ، ولكن يجب عندئذ وضع ألواح مستعرضة سميكة يراوح سمكها بين  $(1,5 \div 2t)$  .





## **الفصل الثالث والعشرون**

### **الإنشاءات القشرية الفولاذية**

- 1-مسميات وخصائص الإنشاءات القشرية .
- 2-تصميم خزانات السوائل ذات الضغط المنخفض والمرتفع.
- 3-الصوامع المعدنية .



## الإنشاءات القشرية الفولاذية

### 1-23- مسميات وخصائص الإنشاءات الفولاذية :

تصمم هذه الإنشاءات لغرض ضغط أو معاملة الغازات والسوائل والمواد السائبة أو حفظها وتبعاً لذلك ، توجد الأنواع التالية من الإنشاءات القشرية الفولاذية :

- 1- مستودعات الغاز وتستخدم لحفظ وتوزيع الغازات المختلفة .
- 2- خزانات السوائل ( ماء ، بترول ... الخ ) .
- 3- صوامع لحفظ المواد السائبة ( الخامات ، الفحم ، الحبوب ... الخ ) .
- 4- إنشاءات خاصة بالصناعات التعدينية والكيميائية وغيرها ( أفران عالية ، مسخنات الهواء ) .
- 5- الأنابيب وخطوط الأنابيب الكبيرة الأقطار ، المستخدمة في مصانع التعدين و المصانع الكيميائية ، وفي المحطات الكهرومائية وكذلك في خطوط نقل البترول وغيرها .

### 2-13- خصائص الإنشاءات القشرية :

يجب أن تكون الوصلات اللحامية للألواح والصفائح المعدنية في الإنشاءات القشرية ، ليست قوية فحسب ، بل محكمة السد أيضاً منعاً للتسرب . وتكون الإنشاءات القشرية ، في معظم الحالات عبارة عن إنشاءات مجوفة دورانية ( أسطوانية ، كروية ، مخروطية ... الخ ) أي يكون لها أفضل شكل ملائم ، لمقاومة الأحمال الناجمة عن الغازات والسوائل . وغالباً ما تكون أبعاد الإنشاءات القشرية ، أكبر من الأبعاد القياسية لأساطيل النقل ، ولهذا تكون عملية تصنيع القطع في المعامل ، مقصورة على إنشاء القطع الإنشائية ، نصف المصنعة ( نصف المنجزة ) ، ويتم إنجاز العمل الباقي في الموقع ، وهذا يؤدي إلى زيادة حجم العمل المصروف في إنتاج الإنشاءات

القشرية وتركيبها ، بالإضافة إلى ذلك ، نرى بأن ضرورة دلفنة الألواح لتشكيل السطوح الأسطوانية وغيرها من السطوح المنحنية أو المقوسة في اتجاهين تؤدي إلى خلق صعوبات في الإنتاج ، تجعل القطع الإنتاجية مرتفعة التكاليف .

إن الخاصة المميزة للإنشاءات القشرية ، التي تتجز بوساطة اللحامات بصورة مطلقة تقريبا ، هي طول الدرزات اللحامية الطويلة جدا ، الناجم عن السماكة الكبيرة نسبيا للألواح أو الصفائح المدلفنة ذات الأبعاد القياسية (1400-1500مم) . وهذا يؤدي بدوره إلى صرف عمل كبير على تشكيل (شنفرة ) حافات الألواح بآلات التشغيل لاستخدامها في الإنشاءات القشرية الفولاذية الملحومة .

### 3-23- تصميم خزانات السوائل :

#### 1-3-23- تصميم الخزانات المقامة على سطح الأرض :

إن الخزانات الاسطوانية العمودية ذات القاعدة المسطحة المقامة على سطح الأرض والموضوعة على فرشاة رملية ، تستخدم بشكل واسع لتخزين المنتجات البترولية .

وعند تخزين المنتجات البترولية ، تحدث فيها عملية التبخر ( نتيجة لتجمع الغازات تحت السقف ) ، وتختلف درجة التبخر عند تغيير درجة الحرارة وكذلك عند الملء والتفريغ أيضا ، وتؤدي إلى حدوث فقدان كبير في المنتجات البترولية . ولغرض تقليل هذا الفقدان ، تستخدم خزانات مختلفة الأنواع والتصاميم ولحفظ المنتجات البترولية الخفيفة ، وذات الأبخرة المنخفضة المرونة ( الكيروسين والغازولين ووقود الديزل وغير ذلك ) ، وكذلك لحفظ المنتجات النفطية والزيوت الثقيلة ، تستخدم خزانات الضغط المنخفض ، التي يصل



الضغط الداخلي فيها إلى (200) مم من عمود الماء (0,02 كغم/سم<sup>2</sup>) وتسمح بوجود فراغ يبلغ (25مم) من عمود الماء شكل (1-23) .  
ولحفظ المنتجات البترولية ذات الأبخرة العالية المرونة ( مختلف أنواع البنزين والبتروول وغير ذلك ) ، يجب استخدام خزانات أسطوانية مرتفعة الضغط (0.2-0,3 كغم/سم<sup>2</sup>) .

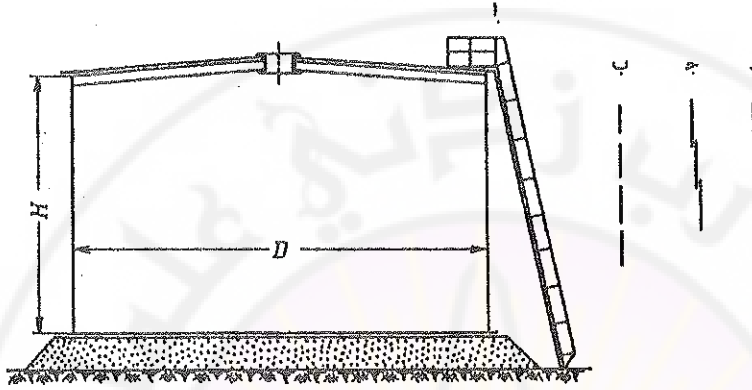
### 2-3-2- خزانات الضغط المنخفض :

ينصح بتصميم خزانات الضغط المنخفض ، بحيث تحتوي على سقف لوهي وتراوح سعتها الإسمية بين (100-5000 m<sup>3</sup>) . وهناك تصاميم لخزانات تبلغ سعتها (10000-15000-20000 m<sup>3</sup>) .

إن القطع الإنشائية الأساسية لخزانات الضغط المنخفض ، هي القاعدة والجدار والسقف . وتعرض القاعدة المستقرة على أساس رملي ، إلى الضغط الناجم عن السائل فقط وتؤخذ سماكة ألواح القاعدة وفقا للجوانب التصميمية كما يلي :  
(t=4) مم عندما يقل قطر الخزانات عن (18 m) ، (t=5) مم عندما يراوح قطر الخزان (18÷25 m) ، (t=6) مم عندما يزيد قطر الخزان على (25 m) ، وتبلغ سماكة الألواح الطرفية للقاعدة (8mm) وأكثر ، ويمكن أن ترتب الألواح على طول ارتفاع الخزان تركيبا تناكيا ، شكل (1.b-23) ، أو تركيبا تلسكوبيا شكل (1.c-23) ، أو تركيبا متدرجا شكل (1.d-23) . وأكثر ترتيب ملائم من الناحية العلمية ، بالنسبة إلى الألواح التي يبلغ سمكها (6 mm) وأكثر ، وهو الترتيب التناكبي .

إن ترتيب الألواح بهذه الطريقة ، يوفر من كمية المعدن المستهلك ويجعل في الإمكان من استخدام طريقة صناعية حديثة لإنشاء الخزانات ، وهي طريقة اللف .

يصنع سقف الخزان ، على هيئة أشكال هيكلية تتألف من صفائح رقيقة تتراوح سماكتها (t) بين (2.5-3مم) ، موضوعة على الهيكل شكل (23-2) وترتكز هذه الأجزاء الهيكلية، على الضلع القائم المركزي ( العمود ) وعلى جدار الخزان



شكل (23-1): الرسم التخطيطي لخزان منخفض الضغط ، مقام على سطح الأرض

يسهل استخدام الأجزاء ، المنتجة في المعمل ، في تجميع السقف أو تركيبه . تتألف أحمال التصميم ، المستخدمة لحساب القطع الإنشائية لسقف الخزان ، من مجموعتين من الأحمال هما :

أ- الأحمال المتجهة إلى داخل الخزان : وهي الثلج والرياح ، والوزن الذاتي للقطع والفراغ الذي يمكن أن يتكون نتيجة التبريد السريع للأبخرة . ويؤخذ هذا الفراغ مساويا لـ (25 mm) من عمود الماء أي يساوي  $(25 \text{ kg/m}^2)$  .

ب- الأحمال المتجهة إلى خارج الخزان : وهي ضغط أبخرة السوائل المتبخرة ( الضغط الفائض ) الذي يؤخذ مساويا لـ (200 mm) من عمود الماء ( $200 \text{ kg/m}^2$ ).

ويجب أن يؤخذ في الحسبان ، بأن الضغط الفائض في الخزان ، يمكن أن يتولد عند ملئه بالمنتجات البترولية ، أو نتيجة التبخر عند وجود كمية قليلة من السوائل ، الأمر الذي قد يؤدي إلى عدم توازن الضغط الكبير ، المؤثر على السقف من الأسفل إلى الأعلى ، ليس مع وزن السقف الذاتي فحسب ، بل مع وزن الجدار ( الغلاف ) أيضا . ولذلك ومن أجل موازنة أو معادلة القوى السالبة ، يتم ملء العمود الوسطي ، إذا كان على هيئة ماسورة ، بالخرسانة أو الرمل وإذا كانت الأعمدة تشابكية ، تظمر قواعدها في الخرسانة ، أما جدار الخزان فيثبت بربطه مع بلاطات خرسانية موضوعة على الأرض حول الخزان .

ولقد بحث كثير من العلماء ، وخاصة الأكاديمي ف . شوخوف ، مدة طويلة من الوقت ، الموضوع المتعلق بتحديد أفضل العلاقات بين الأبعاد الأساسية للخزان : - الارتفاع (H) - القطر (D) عند معرفة سعته المعينة .

وقد تمكن الأكاديمي المذكور ، من وضع القاعدتين التاليتين :

الأولى : يكون للخزان ذي الجدار متغير السماكة ، أقل وزن ممكن ، إذا كانت كمية الفولاذ في القاعدة والسقف ، مساوية لكمية الفولاذ في الجدار .

الثانية : يكون للخزان في الجدار ثابت السماكة ، أقل وزن ممكن إذا كانت كمية الفولاذ في القاعدة والسقف تساوي نصف كمية الفولاذ في الجدار .

وتساعد هاتان القاعدتان ، على تصميم خزانات ، ذات أفضل شكل ممكن ، وهو الذي يمكن الحصول عليه عندما تراوح النسبة (H/D) ، بين ( $\frac{1}{4}$  ,  $\frac{1}{1}$ ) بالنسبة إلى الخزانات التي تراوح سعتها بين (100 - 600  $\text{m}^3$ ) . وعندما تتراوح الـ

(H/D) ، بين  $(\frac{1}{2} , \frac{1}{5})$  ، وبالنسبة إلى الخزانات التي تصل سعتها إلى  $(10000 \text{ m}^3)$  .

تستخدم مواصفات وتصاميم قياسية عالمية لخزانات حفظ المنتجات البترولية .  
وطبقاً لهذه المواصفات القياسية ، تصمم الخزانات التي تراوح سعتها بين  $(100 \text{ m}^3)$  بشكل أفقي ( الخزانات الموجودة على سطح الأرض وتحت ) ، أما الخزانات التي تراوح سعتها بين  $(100-10000 \text{ m}^3)$  ، فتصمم بشكل عمودي على سطح الأرض ، وتكون جميع تصاميم الخزانات ملحومة .

ويؤخذ ارتفاع الخزان (H) مساوياً لأضعاف عرض الأواح الذي يساوي  $(1400-1500)$  مم وأكبر ارتفاع مثالي ، من حيث كمية المعدن المستهلك بالنسبة إلى الخزانات الكبيرة ، التي تصل سعتها إلى  $(10000 \text{ m}^3)$  يساوي  $(12 \text{ m})$  ( 8 قطع حلقية للأواح ) ، بغض النظر عن الزيادة اللاحقة لأقطارها الشكل a. (23-2) تصميم خزان قياسي سعته  $(5000 \text{ m}^3)$  .

وتبين الأرقام المدونة في الجدول (23-1) خصائص استهلاك الفولاذ في خزانات الضغط المنخفض ، ذات السقوف اللوحية .

ويتم حساب جدار الخزان ، مثل حساب الإنشاء القشري الاسطواني ، المعرض للشد ، الناجم عن الضغط الهيدروستاتيكي p . فقيمة الضغط التصميمي المؤثر على جدران الخزان على عمق x من سطح السائل شكل (23-3.a) تساوي ما يلي :

$$P_x = \gamma \cdot X \cdot n_1 + P_2 \cdot n_2 \quad (23.1)$$

حيث :

$\gamma$  : الوزن النوعي للسائل .

$n_1$  : تساوي 1,1 عامل التحميل للضغط الهيدروستاتيكي للسائل.

$n_2$  : تساوي 1,2 عامل التحميل للضغط الفائض للغازات  $P_2$ .

والإجهاد في جدار الخزان يساوي ما يلي :

$$\sigma_2 = \frac{P_x . r}{t} = \frac{(\gamma X n_1 + P_2 n_2) . r}{t} \quad (23.2)$$

حيث :

$r$  : نصف القطر الحلقي الدوراني .

وتحدد السماكة الصغرى لجدار الخزان ، عند بحث سلوكه في الوصلة الرأسية

من المعادلة الآتية :

$$t = \frac{(\gamma X n_1 + P_2 n_2) . r}{K_S . RC_{S_I}} \quad (23.3)$$

حيث :

$C_{S_I}$  : معامل مقاومة اللحام ويساوي النسبة بين المقاومة التصحيحية لمعدن

اللحام ومثيلتها للمعدن الأساسي .

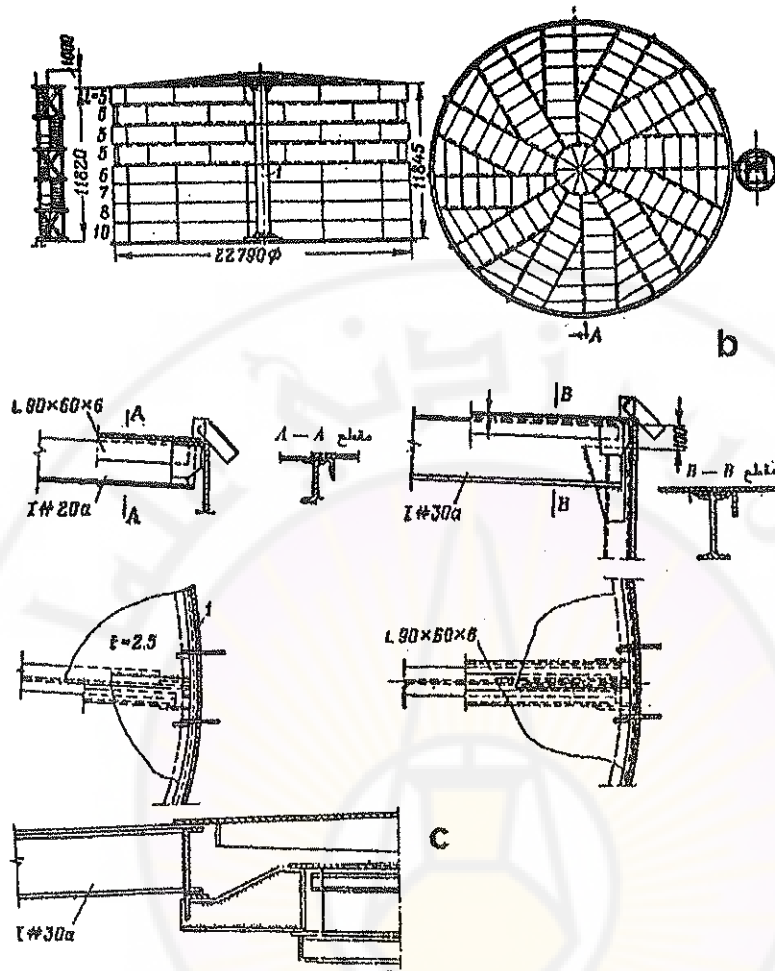
$K_S$  : معامل ظروف الخدمة ، وتتراوح قيمت بين (0,72-0,80) لجدران أو

غلاف الخزان .

وتؤخذ السماكة الصغرى للجدار مساوية لـ ( $t=5\text{mm}$ ) .

الجدول (23-1): استهلاك الفولاذ في الخزانات

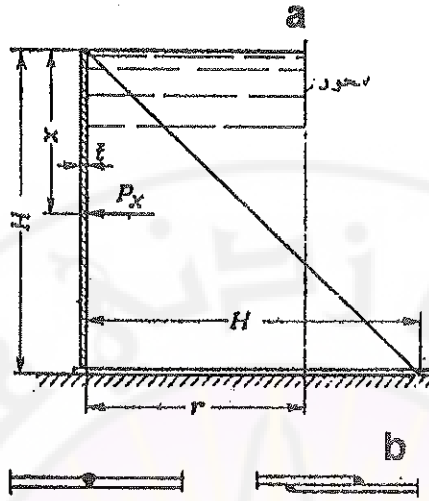
| السعة (م <sup>3</sup> )                                                              | 200 | 400 | 700 | 1000 | 2000 | 3000<br>5000 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|--------------|
| كمية الفولاذ المستهلك<br>، مقاسة بالكيلو غرام<br>لكل m <sup>3</sup> من حجم<br>الخزان | 38  | 33  | 25  | 24   | 21   | 20           |



الشكل (23-2): خزان منخفض الضغط ذو سقف لוחي ، سعته 5000 m<sup>3</sup>:

(a) المقطع الرأسي والمسقط الأفقي للسقف اللوحي .

(b-c) تفاصيل اتصال ( توصيل ) الألواح .



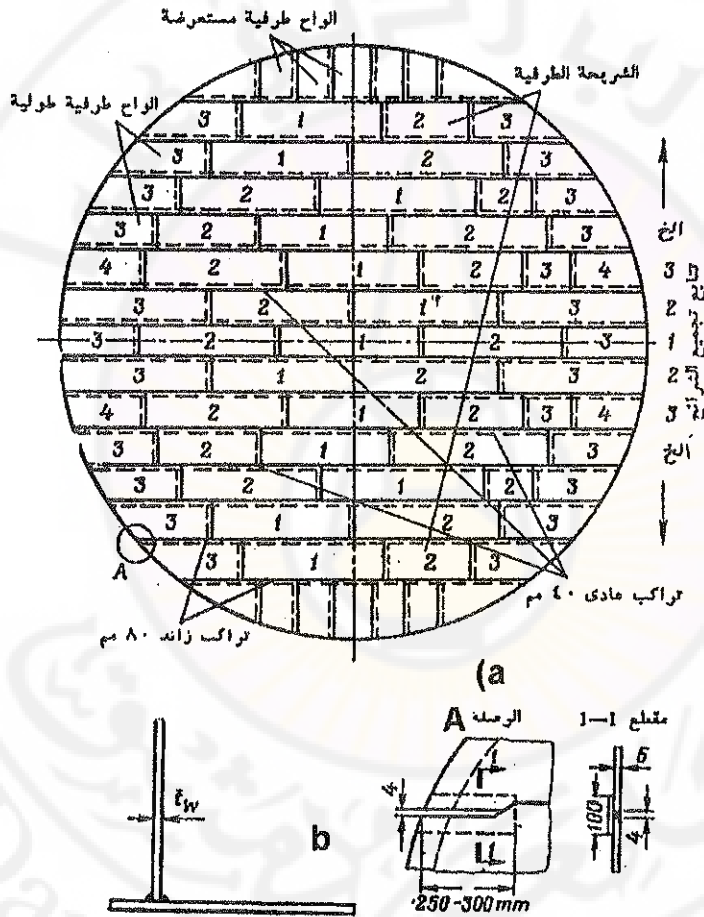
الشكل (23-3): رسم توضيحي لحساب وتصميم جدار الخزان .

وتكون وصلات جدار للخزان ( الرأسية والأفقية ) ، إما تناكبية أو تراكبية الشكل (23-3.b) .

وتتألف القاعدة المستوية للخزان المقام على سطح الأرض ، من ألواح معدنية موصولة بدرزات لحامية مع بعضها البعض إما بوصلة تراكبية شكل (4.a) 23- ، أو بوصلة تناكبية .

يربط أو يوصل جدار الخزان مع قاعدته ، باستخدام وصلة لحامية شكل حرف T أو وصلة زاوية شكل (23-4.b) ، الأمر الذي يتطلب وجود سطح أملس عند حافة القاعدة ، على امتداد المحيط بأكمله . ولهذا الغرض ، تقطع اللحامات التراكبية ، الواقعة بين الألواح الطرفية بمسافة تتراوح بين (250-300مم) ، وتدق حافات الألواح الطرفية العليا بالمطرقة ، إلى أن تنطبق مع حافات الألواح الطرفية السفلى ، وتوضع شريحة معدنية عند الطرف السفلي شكل (23-4.a) .

وفي هذه الحالة يجب ترك خلوص يساوي (4مم) ، ضروري لانكماش اللحام .  
 ويجب تدقيق هذا الموقع بشكل جيد بعد عملية اللحام .  
 يمكن بالنسبة لخزانات الضغط المنخفض ، استخدام سقف معلق ، مؤلف من  
 ألواح تراوح سماكتها من (2,5-3مم) يعلق على الأعمدة ، التي تبرز حافتها  
 العليا فوق الجدران أو البدن للخرزان بمقدار (1,5-2مم) .

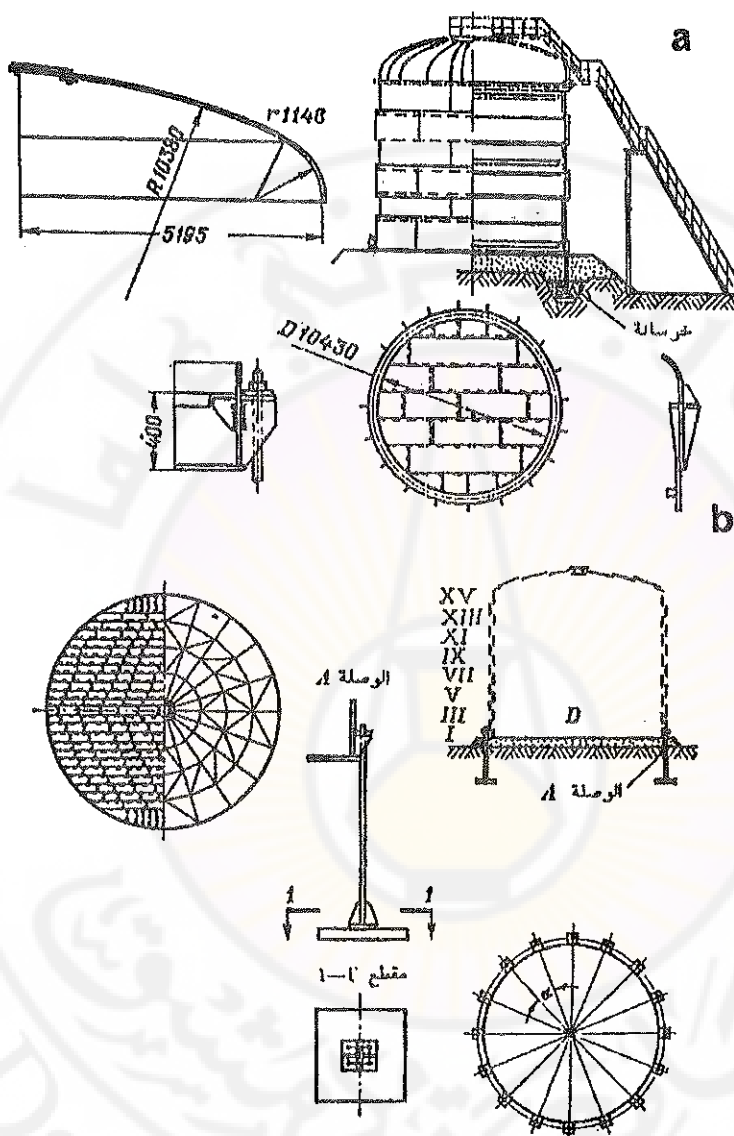


الشكل (4-23) : رسم تخطيطي لقاع الخزان



### 3-3-23- خزانات الضغط المرتفع :

تستخدم خزانات الضغط المرتفع لحفظ المنتجات البترولية ، سريعة التبخر أو المتطايرة . ويبين الشكل (23-5.a) أحد تصاميم الخزانات العمودية أو الرأسية ، بسقف أسطواني كروي . إن استخدام القطع الأسطوانية المنفردة التي يتراوح سمكها بين (4-6مم) ، ذات نصف قطر الانحناء المتساوي ، يسهل دلفنة الألواح ، ويجعل من الممكن الحصول على سقف ، على هيئة سطح دوراني . ويتصل أو يربط السقف مع الجدار أو البدن ، عن طريق لوح معدني وتصمم هذه الخزانات تبعاً للضغط الداخلي الفائض الذي يراوح مقداره بين ( 1600-2000مم) من عمود الماء وفراغ يساوي (50مم) من عمود الماء . ويبين الشكل (23-5.b) ، تصميم خزان عمودي ذي سقف كروي ، وضعت فيه قطع التسطيف المستوية ، على هيئة قطع منفردة على هيكل السقف ، الذي هو عبارة عن قبة كروية من القضبان . وهذه الخزانات مصممة ، تبعاً لضغط داخلي يساوي (1000-1500-2000) مم من عمود الماء ، وفراغ يساوي ( 1000)مم من عمود الماء . ويؤمن استقرار جدران الخزانات في كلا النوعين من الخزانات ، مع وجود الفراغ ، باستخدام حلقات تقوية ، توضع على مسافة (2م بين حلقة وأخرى .



الشكل (5-23): خزانات أسطوانية رأسية مرتفعة الضغط :

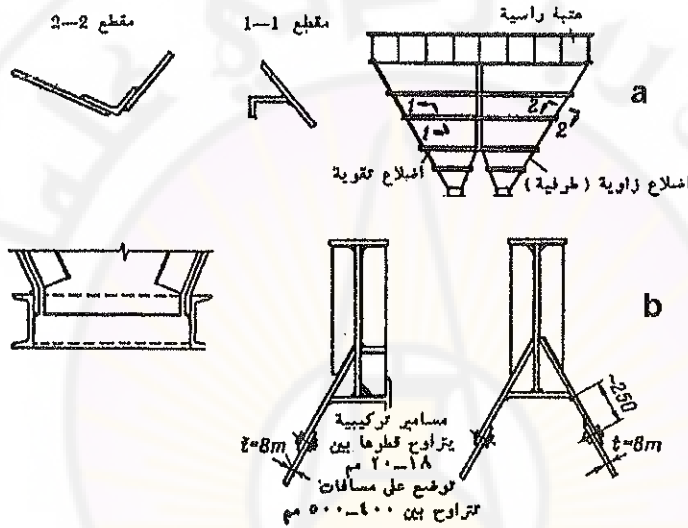
(a) خزان بسطح أسطواني كروي .

(b) خزان بسطح كروي .

#### 23-4- الصوامع المعدنية :

قد تكون تصاميم الصوامع إما هرمية ذات جدران مستوية ، أو تكون قابلة للانثناء أو بشكل أسطواني .

ويبين الشكل (23-6.a) رسماً تخطيطياً لصومعة هرمية مزدوجة . ويتألف تصميمها من هيكل مكون من عتبات رأسية وأضلاع ركنية ، تستند عليها أضلاع تقوية مؤلفة من زوايا ، وجدار .



الشكل (23-6): صومعة هرمية مزدوجة مع تفصيلاتها .

تصنع جدران الصوامع من ألواح معدنية لا تقل سماكتها عن (8مم) ، ويتعرض جدار الصومعة ، إلى الانحناء الناجم عن ضغط المواد السائبة ، في القاع الواقع بين أضلاع التقوية . إن حمل التصميم الرأسي ، المؤثر في لوح الجدار ، على عمق قدره (x) من سطح المادة السائبة يساوي إلى ما يلي :

$$q_x = \gamma \cdot \chi \cdot n \quad (23.4)$$

حيث :

$\gamma$  : الوزن النوعي للمادة السائبة عند تفريغها في الصومعة .

$n$  : عامل التحميل  $1,2 \leq$  .

والضغط أو الحمل الأفقي ، على نفس العمق المذكور نفسه ، يساوي ما يلي :

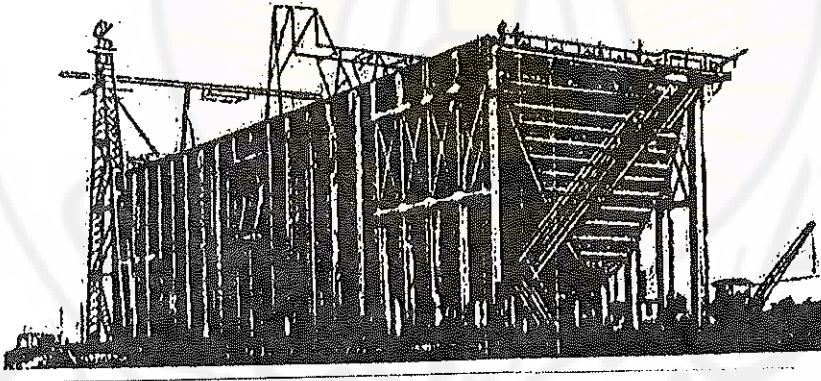
$$q_y = \gamma \cdot \chi \cdot n \cdot \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (23.5)$$

حيث :

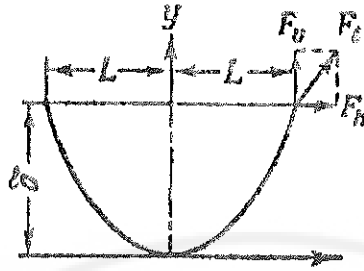
$\varphi$  : زاوية الميل الطبيعي للمادة السائبة ، مأخوذة من جداول خاصة .

إن تصاميم أجزاء توصيلات الجدار مع العتبات وإنشاء العنق ، مبينة على الشكل (23-6.b) .

تخصص الصوامع القابلة للانثناء ، لحفظ أو تخزين كميات كبيرة من المواد السائبة . وهي عبارة عن إنشاء معدني معلق ، على شكل قطع مكافئ معرض بشكل أساسي لتأثير الشد . ويبين الشكل (23-7) منظرا عاما للخزان القابل للانثناء ، المخصص لتخزين المواد سعته (10000) طن ويبلغ كل من ارتفاعه وعرضه (17م) ، ويبلغ طوله حوالي (60م) .



الشكل (23-7): منظر عام لصومعة انثنائية



الشكل (8-23): بيان تصميم الصومعة اللدنة .

وتكون معادلة منحنى شكل لصومعة ، على الشكل التالي :

$$y = \frac{\delta}{2L^2} \left( 3X^2 - \frac{X^3}{L} \right) \quad (23.6)$$

ومساحة المقطع العرضي للصومعة شكل (8,23) تساوي :

$$A = \frac{5}{4} L \delta \quad (23.7)$$

والقيمة القصوى للاحداثي الرأسي للتحميل ، على امتداد محور التماثل تساوي العلاقة :

$$P_{\max} = \frac{5}{4} \delta \cdot \gamma \cdot n \quad (23.8)$$

حيث :

$n$  : عامل التحميل .

ومركبتا قوة رد الفعل ، عند نقاط التعليق ، وتساويان ما يلي :

$$F_n = \frac{P_{\max} L^2}{3\delta}, F_v = \frac{P_{\max} \cdot L}{2} \quad (23.9)$$

وقوة الشد الاجمالية لكل وحدة طول من الصومعة ، في موضع تثبيتها مع العتبات تعطى بالعلاقة :

$$F_t = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} = A.\gamma.n\sqrt{\frac{L^2}{g\delta^2} + \frac{1}{4}} \quad (23.10)$$

وتستخدم هذه القوة لتحديد سماكة جدار الصومعة . وتلحم جميع الدرزات الحامية للصومعة ، لحاماً تناكبياً .



# **الفصل الرابع والعشرون**

## **الاجهادات والتشوهات الداخلية**

### **المتبقية الناتجة من اللحام**

- 1 - أسباب الاجهادات والتشوهات المتبقية الناتجة من اللحام.
- 2 - الإجراءات الضرورية لتقليل الاجهادات والتشوهات عند اللحام





## الاجهادات والتشوهات الداخلية المتبقية الناتجة من اللحام

### 1-24- أسباب الاجهادات والتشوهات المتبقية الناتجة من اللحام :

تقسم القوى المؤثرة إلى قوى خارجية وداخلية . فالقوى الخارجية تنشأ بسبب حمولات خارجية : وزن المنتج ، قوة الرياح .... الخ .  
أما القوى الداخلية فهي تظهر نتيجة لتغير درجة حرارة المنتج أثناء الاستئمار ونتيجة لتغير بنية المعدن بتأثير الحمولات الخارجية أو أثناء اللحام ، أو من تأثير العاملين معا . وغالبا ما تسمى القوة الداخلية بالجهد ، عند إجراء حسابات المتانة . والتشوه هو تغير شكل الجسم وأبعاده بتأثير القوة الخارجية أو الداخلية .

ومن المعروف أن أكثر الأجسام والمواد ، تتمدد عند تسخينها ، ويحدد مقدار الاستطالة في هذه الحالة ، بالمعادلة الآتية :

$$\Delta L = \alpha L_0 . t \quad (24.1)$$

حيث :

$\Delta L$  : استطالة القطعة .

$\alpha$  : معامل التمدد الحراري للفولاذ ( $\alpha = 0.000012$ ) عند نحو ( $20^0$ )  
و ( $\alpha = 0.000018$ ) عند نحو ( $300^0$ ) مئوية .  
 $L_0$  : الطول الأصلي للقطعة .

$t = t_2 - t_1$  : هو الفرق في درجات الحرارة .

لنفرض أن لدينا قضيبا مضغوطة ( محصورا ) بين جدارين جاسئين تماما شكل (24-1.a) . والآن نبدأ بتسخين هذا القضيب إلى درجة حرارة ( $600$ ) درجة مئوية ، عند مثل هذه الدرجة من الحرارة تظهر في القضيب الذي لا يمكنه التمدد ، إجهادات مرنة تساوي :

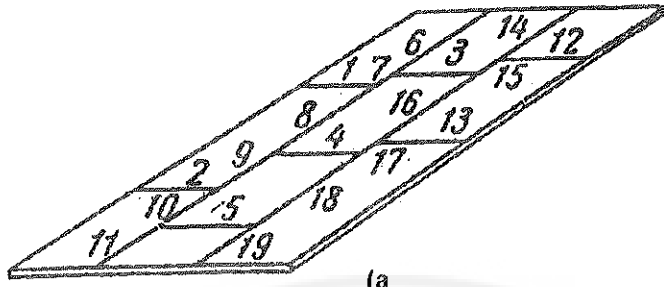
9-اختيار نظام حراري صحيح للحام يراعي الملاحظات التالية :

عندما يكون المعدن الملحوم قابلاً للتصليد ( التقسية ) أو ذو سماكة كبيرة فإنه من الضروري استخدام التسخين المسبق للقطع من أجل تقليل سرعة التبريد سواء لمعدن الدرزة أو لمعدن منطقة التأثير الحراري .

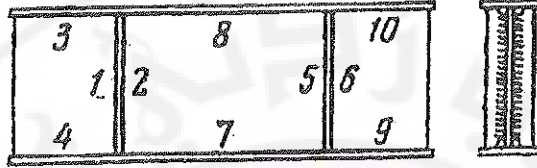
ودرجات حرارة التسخين تختلف باختلاف المعدن وهي للفولاذ  $(400-600^{\circ}C)$  وللفولاذ  $(500-800^{\circ}C)$  وللألومنيوم  $(200-270^{\circ}C)$  والبرونز  $(300-400^{\circ}C)$  .

10-تنفيذ الدرزات اللحامية بترتيب صحيح حيث يسمح للصفائح الملحومة بحرية التمدد والتقلص من خلال إنجاز الدرزات العرضانية أولاً يتلوها الدرزات الطولية كما في الشكل (24-2.a) أما لحام العتبات ذات المقطع I وكما هو مبين في الشكل (24-2.b) .

11-عند لحام الدرزات بطول أقل من (300مم) فإن خط اللحام ينجز بشوط واحد من اليمين إلى اليسار أو بالعكس . وعندما يصل خط اللحام إلى أقل من (1000مم) حسب الشكل (24-3.a) تتم عملية اللحام من وسط الدرزة إلى نهايتها . وعندما تكون أطوال خط اللحام أطول من (1000مم) فتتخذ بدرزات قصيرة بطول (250-300مم) حسب الشكل (24-3.b) .



(a)



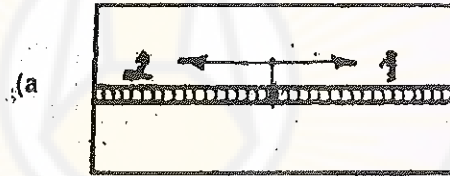
(b)

الشكل (24-2) : تتالي لحام الدرزات للصفائح

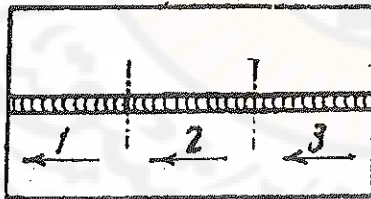
a - بلاطة من الصفائح .

b - جائز على شكل I .

( الأرقام تشير إلى ترتيب الندبات الملحومة )



(a)



(b)

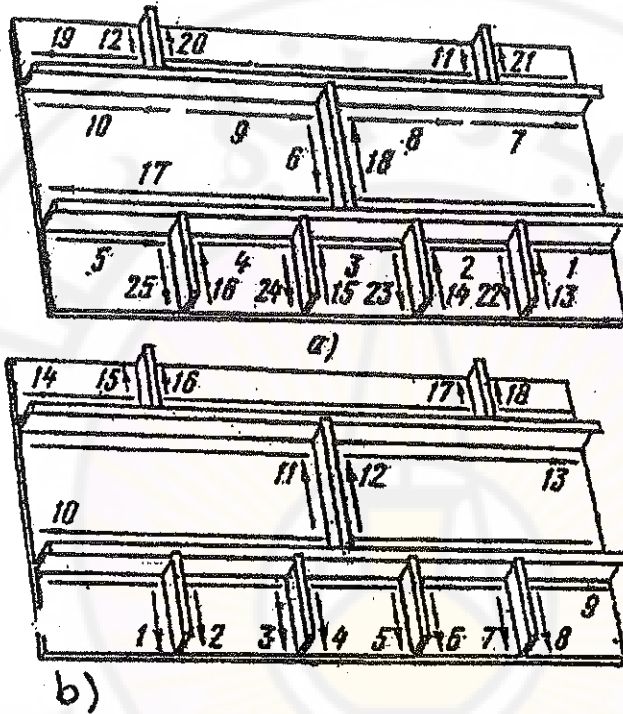
الشكل (24-3) : تسلسل تنفيذ الدرزات النهائية وفقا لطول الدرزة لتفادي الاجهادات

و التشوهات المتبقية :

a - عندما يكون طول الدرزة لغاية 1000 مم .

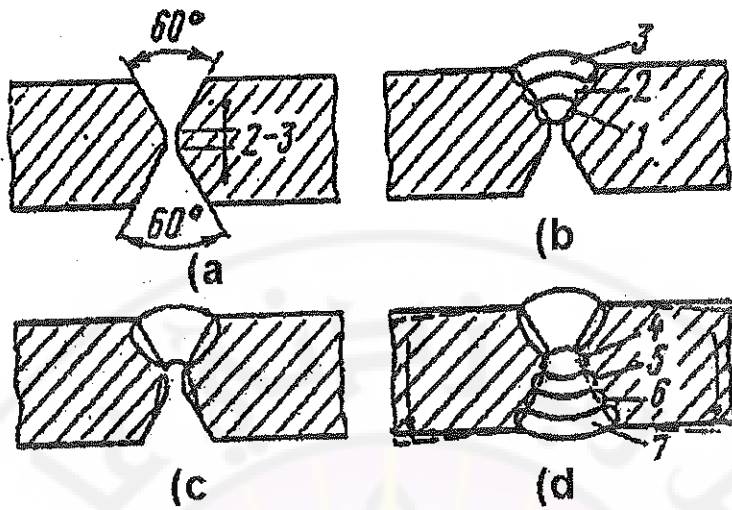
b - عندما يكون طول الدرزة أكبر من 1000 مم .

في الشكل (24,4) يظهر نموذجان لتنفيذ الدرزات اللحامية أحدهما مقبول و يراعي التقليل من التشوهات الشكل (a - 24,4) والآخر لا يراعي هذه الناحية الشكل (b-24,4). و التنفيذ بهذه الطريقة يتم للحام المنشآت التي تصل سماكة الصفائح المكونة لها حتى 10مم تقريبا.



الشكل (24-4): a-الترتيب الصحيح للدرزات  
b-الترتيب غير الصحيح.

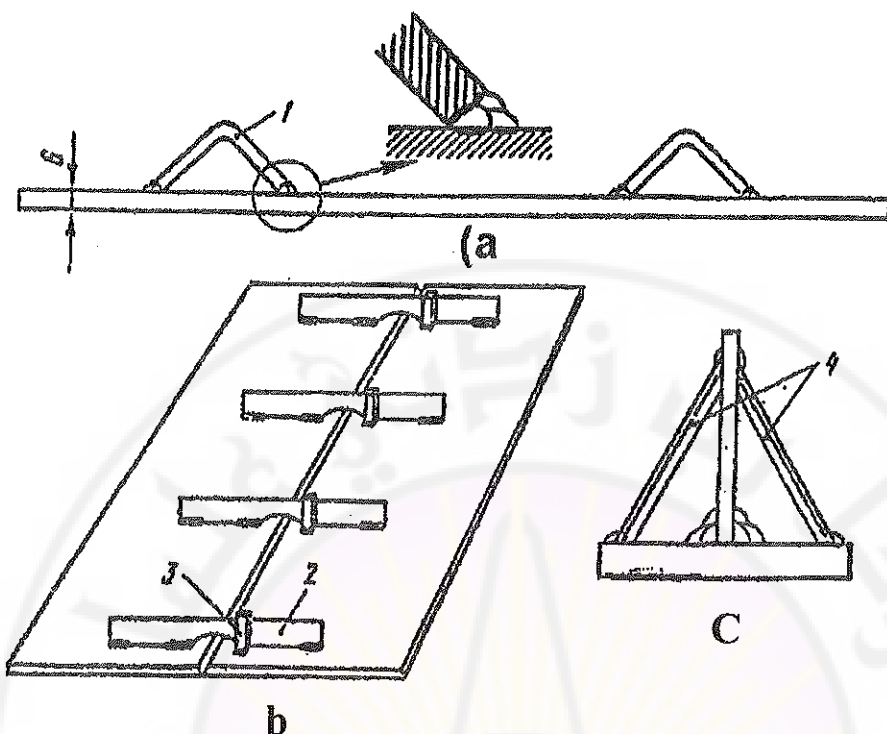
12-عندما تزيد السماكة على 14مم تقريبا يتم تحضير القطع بشكل يلغي معه التشوهات الناجمة عن لحام الأجزاء المتقابلة في الوصلة بشطف الحواف على شكل X ليتم اللحام من الجهتين و الدرزة في هذه الحالة تتألف من أكثر من طبقة كما في الشكل (24-5).



الشكل (24-5): التشوهات الزاوية عند لحام درزة تقابلية حوافها على شكل X:

a- تحضير الحواف. b- لحام الجهة الأولى. c- تنظيف جذر الدرزة من الجهة الأخرى. d- لحام الجهة الثانية.

و يمكن استخدام أعصاب تقوية زاوية عند لحام الصفائح بعضها ببعض a) (24.6- أو صفائح تقوية مع عناصر دعم شكل (b-24.6) أو قضبان إسناد كما في الشكل (c-24.6).



الشكل (24-6): استخدام أعصاب مؤقتة عند لحام الصفائح تقابليا و المساند عند اللحام

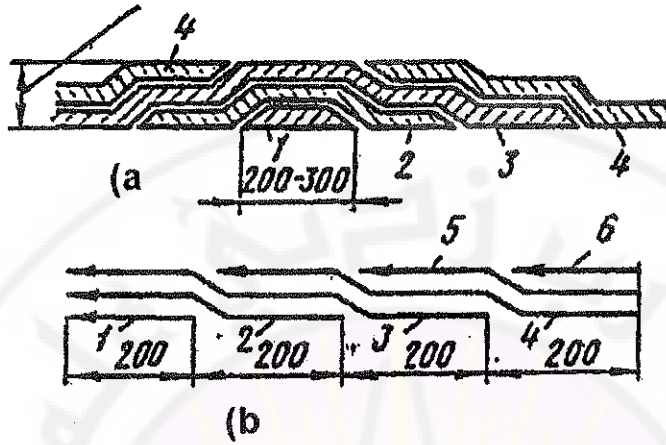
بشكل T: a- الأعصاب من الزوايا b- الأعصاب من الشرائح مع الرزات c  
- الأعصاب من المساند: 1- العصب 2- الشرائح 3- الرزات 4- المساند

13- عندما تزيد سماكة المعدن الملحوم عن 25 مم تقريبا لابد من تنفيذ

الدرزة اللحامية على مراحل و بطبقات متعددة كما في الشكل (24.7-a)

و الشكل (24.7-b).

## سماكة المعدن



الشكل (7-24): تتابع تنفيذ الدرزات عندما يكون اللحام متعدد الطبقات:

- الطريقة الجبلية (عدة الطبقات)

b- طريقة المدرجات

(الأرقام تشير إلى ترتيب الدرزات اللحامية).

14- استخدام المطرقة الهوائية أو اليدوية لطرق كل طبقة من الطبقات

التي تنفذ في اللحام و هي ساخنة و بنهاية كروية للمطرقة المستخدمة.

15- ترتيب تنفيذ الدرزات اللحامية في الوصلات المشغولة بحيث تؤدي

كل درزة إلى إحداث تشوهات معاكسة للتشوهات التي أحدثتها الدرزة

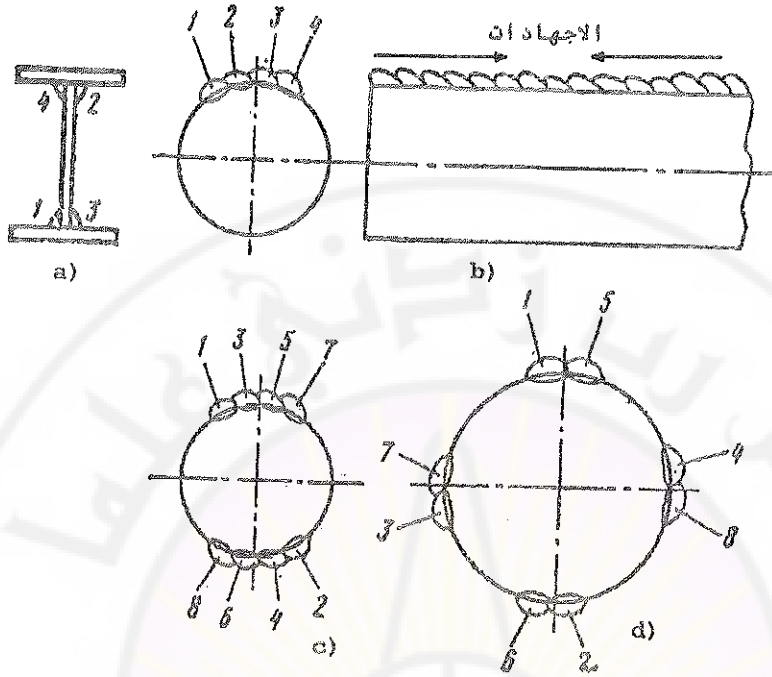
السابقة حيث يبين الشكل (a-8,24) ترتيب الدرزات عند تنفيذ اللحام

للعنات التي على شكل I . أما الشكل (b,c,d-8,24) فيبين طريقة

تنفيذ تغطية سطحية لمحور أسطواني حيث تبين الأرقام ترتيب تنفيذ

الدرزات اللحامية حيث يظهر على الشكل ضرورة تنفيذ الدرزات على

جهات متعاكسة من محور التناظر للمقطع الدائري المراد تغطيته .

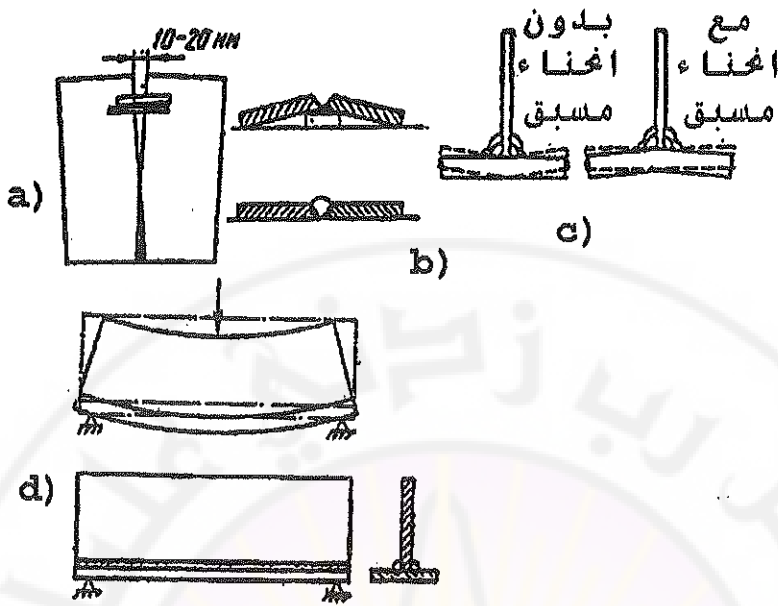


الشكل (8-24): استبدال الاجهادات :

- (a) تتابع الدرزات .
- (b) تكسية محور أسطواني .
- (c) تكسية بطريقة خاطئة .
- (d) تكسية بطريقة صحيحة .

16- استخدام التشوهات المعكوسة لمعادلة التشوهات التي تنتج عن اللحام كما هو مبين في الشكل (24.9) . وتستخدم هذه الإجراءات عادة في المنشآت التي يتطلب لحامها من جهة واحدة وليس من جهتين متقابلتين .



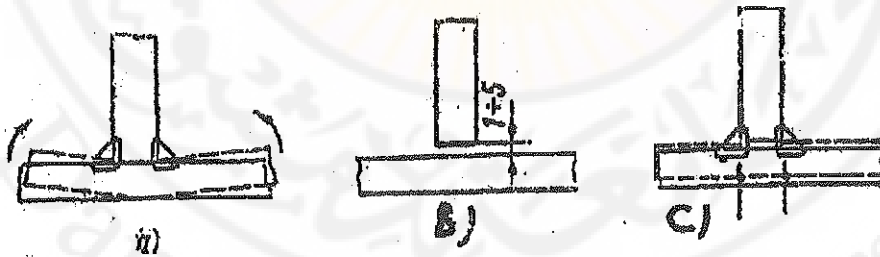


(4): أمثلة على استخدام التشوهات العكسية:

(a) تثبيت الألواح بخلوص ابتدائي على نهاية الندبة.

(b) تثبيت الصفائح بزوايا ابتدائية (c) انحناء مسبق بالاتجاه المعاكس .

أما بالنسبة إلى لحام الوصلات ذات المقطع T فانه وكما في الشكل (24-10.a) تنتج تشوهات زاوية تؤدي إلى انحناء من الطرفين عند جهتي اللحام ، ويمكن تخفيف ذلك بتثبيت خلوص كبير بين جزئي الوصلة الشكل (24-10.a.b.c) .



الشكل (24-10): تقليل التشوهات الزاوية عند لحام وصلات بشكل T بزيادة الخلوص .

(a) التشوه الحاصل عندما يكون الخلوص صغيرا .

(b) تحضير القطع بزيادة الخلوص .





**الفصل الخامس والعشرون**  
**حجم العمل اللازم لإنتاج القطع**  
**الإنشائية الملحومة**



## حجم العمل اللازم لإنتاج القطع الإنشائية الملحومة

إن عملية إنتاج القطع الفولاذية الملحومة في المصانع أو الورشات ، تتألف من مجموعة العمليات الرئيسية الآتية :

- 1 - العمليات التمهيدية : اختيار المعدن اللازم وتحضير نماذج الطبقات ووضع العلامات ثم تسوية المعدن وتقطيعه .
  - 2 - عمليات تجري في الورشة التحضيرية وتتعلق بتشكيل القطع بالمكناث ، النقطيع ، التنقيب وتشكيل الحافات .
  - 3 - عمليات تجميع ولحام القطع الإنشائية من الأجزاء الجاهزة الصنع ، التحكم في نوعية الإنتاج ، الدهان و شحن القطع الإنشائية إلى موقع التركيب .
- إن مقدار الوقت اللازم لإنتاج القطع الإنشائية يقدر ساعة لكل طن واحد من وزن القطع الإنشائية ، ويطلق عليه اسم >> حجم العمل اللازم لإنتاج القطع الإنشائية << أما المقدار المعاكس له : كمية القطع الإنشائية المنتجة مقدرة بالأطنان في وحدة الزمن : فتميز إنتاجية العمل ، وكلما قل حجم العمل المبذول في الإنتاج ارتفعت إنتاجية العمل وزاد انخفاض سعر القطعة الإنشائية .
- تتطلب القطع الإنشائية الملحومة عامة مقدارا من وقت الشغل ، أقل من المقدار الذي تتطلبه القطع الإنشائية المبرشمة مع اقتران ذلك بتقليل الوزن بما يراوح بين (10-15%) . إن متوسط توزيع العمل ، عند إنتاج أنواع مختلفة من القطع الإنشائية الملحومة ، موضح في الجدول (1-25) ويتضح من الجدول المذكور بأن ما يراوح بين (60-65%) من وقت العمل يبذل في إنجاز العمليات الخاصة بتجميع ولحام أجزاء القطع الإنشائية .



## **الفصل السادس والعشرون**

### **الكتروودات اللّحام**

- 1-الإلكتروودات غير المنصهرة .
- 2-الإلكتروودات المنصهرة .
- 3-تصنيف الإلكتروودات .
- 4-توصيف إلكتروودات اللّحام .





## إلكتروادات اللحام

### تعريف الإلكتروود :

يطلق اسم الإلكتروود في اللحام بالقوس الكهربائي على أنه القضيب المخصص لإيصال التيار الكهربائي إلى منطقة قوس اللحام ، وفي الوقت نفسه غالبا يكون الإلكتروود مادة ترسيب .

وتكون الإلكتروادات المستخدمة في اللحام بالقوس الكهربائي اليدوي عبارة عن قضبان ذات مقطع دائري ، مختلف الطول والقطر . أما في اللحام الآلي أو النصف آلي فتستخدم أسلاك فولاذية بشكل لفات عارية أو أسلاك تكون حاوية في داخلها بعض المساحيق .

تصنف الإلكتروادات إلى إلكتروادات غير مستهلكة ( غير منصهرة ) و إلكتروادات مستهلكة (منصهرة) .

### 1-26- الإلكتروادات غير المنصهرة .

هي الإلكتروادات التي لا تستهلك في عملية اللحام ومهمتها قذح القوس الكهربائي واستمرارية اشتعال القوس في أثناء عملية اللحام . ولها أنواع عدة :

- 1-إلكتروادات من الكربون (C) .
- 2-إلكتروادات من الغرافيت (G) .
- 3-إلكتروادات من التنغستن (W) .
- 4-إلكتروادات من الزركونيوم (Zr) .
- 5-إلكتروادات من الهافنيوم (Hf) .

يكمن الفرق بين الإلكتروود الفحمي والكربوني في قيمة المقاومة الكهربائية ، إذ تصل قيمة المقاومة الكهربائية عند الإلكتروود الكربوني إلى  $(0.0032\Omega)$  ودرجة حرارة بدء التأكسد  $(500^{\circ}C)$  أما الغرافيتي فتصل مقاومته إلى

( $0.0008\Omega$ ) ودرجة حرارة بدء تأكسد ( $640^{\circ}C$ ) . أما الكترودات التتغستن فتتمتع بقابليتها لإصدار الإلكترونات وتوصيلها الكهربائي أفضل ، وعمرها أطول . والتتغستن من المعادن صعبة الانصهار ودرجة انصهاره ( $3410^{\circ}C$ ) . وعند إجراء اللحام بالكترودات من التتغستن يستخدم التيار المستمر ذي القطبية المباشرة .

تستخدم الكترودات من التتغستن النقي أو من التتغستن مع إضافة (1-2%) من أكسيد اللانثانيوم أو أكسيد النوربيوم . أو إضافة (1,5-2%) من أكسيد الاليتريوم ، وتساعد هذه العناصر المضافة في استقرار اشتعال القوس الكهربائي ، إضافة إلى أنها تسمح بزيادة كثافة التيار المار في الإلكترود . وينفذ اللحام في وسط من الغازات الخاملة ( الواقية ) ، وذلك بهدف حماية كل من الإلكترود وحوض الصهر من التأكسد .

## 2-26- الإلكترودات المنصهرة :

### 1-26-2- أسلاك اللحام الفولاذية :

تستخدم أسلاك اللحام الفولاذية بصفة عامة في حالة اللحام الآلي والنصف آلي . وتكون هذه الأسلاك ملساء مسحوبة على البارد ومصنوعة من الفولاذ منخفض الكربون أو الفولاذ السبائكي منخفض نسب عناصر الخلط أو متوسطها أو عاليها وتكون على شكل لفات (أو بكرات) .

يحتوي السلك المصنوع من الفولاذ السبائكي منخفض ومتوسط عناصر الخلط عناصراً سبائكية بنسبة من (2,5÷10%) ، أما الفولاذ عالي السبائكية فيحتوي عناصر بنسبة تزيد على (10%).

ويجب ألا تتجاوز نسبة الكربون عن (0,12%) في السلك المصنوع من الفولاذ السبائكي منخفض نسب عناصر الخلط . ويؤدي وجود الكربون بنسبة عالية عند اللحام اليدوي بالإلكتروودات المغلفة فيؤدي إلى تشكيل المسامات .

وتتشكل المسامات في الدرزة بسبب الغازين ( $Co, Co_2$ ) ، اللذين ينتجان من تأكسد الكربون . ويساهم السيليسيوم الموجود في سلك الإلكتروود المصنوع من الفولاذ المخمّد ، في تشكيل هذه الغازات . وفي هذه الحالة ، وعند درجة الحرارة المرتفعة لحوض اللحام ، يتأكسد أولا السيليسيوم بصفته أكثر فعالية من الكربون ، ومن ثم يتأكسد الكربون أثناء تبريد حوض اللحام ليشكل غازات ( $Co, Co_2$ ) التي تؤدي عند خروجها من حوض اللحام الآخذ في التجمّد ، إلى تكوين المسام الصغيرة والفراغات الكبيرة .

وعند إجراء اللحام بواسطة الكترود مصنوع من الفولاذ غير المخمّد فإن نسبة الكربون الأعلى من نسبة السيليسيوم تسفر عن تشكيل ( $Co, Co_2$ ) عند درجات حرارة أعلى ، ولذا فإن هذه الغازات تخرج من حوض اللحام المنصهر قبل تجمّد المعدن .

وبالإضافة إلى المسامية ، فإن استخدام الأسلاك المصنوعة من الفولاذ المخمّد ( المختزل ) ، يستدعي التطاير الشديد لقطرات معدن الإلكتروود وعمق صهر أقل في المعدن الأساس ، والتشكيل الرديء للدرزة اللحامية .

## 2-2-26- الإلكتروودات المغلفة :

إن الإلكتروود المغلف عبارة عن قضيب للحام له أبعاد معينة ، وسطحه مغطى بغلاف خاص ، إما بواسطة التغطيس ، أو تحت الضغط .

إن طبقة التغطية تولد عند اللحام سحابة واقية من أكسجين وآزوت الهواء ، تحمي المعدن المنصهر في أثناء انتقاله في حوض اللحام وفي حوض الانصهار ذاته ، وكذلك تعمل هذه التغطية على استقرار اشتعال القوس ، وتنتقي المعدن في

حوض الانصهار من الشوائب الضارة ، وتدخل في بعض الإضافات المفيدة إلى معدن الدرزة ، مما يعمل على تحسين خواصه الميكانيكية .

ويتم التوصل إلى حماية المعدن المنصهر من الأكسجين والآزوت أثناء عملية اللحام ، بوساطة الخبث والغازات التي تتشكل في منطقة القوس بفضل طبقة التغطية . ولتوليد الحماية الغازية لمنطقة القوس يضاف إلى تغطية الإلكترود النشاء والسيللوز والمواد العضوية الأخرى .

وللاشتعال المستقر للقوس يضاف إلى التغطية مواد تتمتع بمقدار منخفض لجهد التأين ، وهي بشكل رئيسي أملاح المعادن القلوية : مثل ثاني أكسيد التيتان (الروتيل  $TiO_2$ ) ، والزجاج المائع البوتاسي أو الصوديومي ، وغيرها . أما العناصر السبائكية التي تدخل في تركيب تغطية الإلكترود ، فهي الفيرومنغنيز والفيروسليكون والفيروتيتان وغيرها من سبائك الحديد .

وفيما يأتي أهم العناصر والمركبات المكونة لتغطية إلكترودات اللحام ورموز هذه العناصر ومزاياها وهي على النحو التالي :

- أكسيد السيليكون ( $SiO_2$ ) : مهمته خفض درجة حرارة انصهار الأكاسيد وتكون الخبث .
- أكسيد التيتانيوم (الروتيل  $TiO_2$ ) : يساعد في خفض درجة حرارة انصهار الأكاسيد واستقرار اشتعال لقوس وكما يساعد على الانبعاث من المهبط (التأين) بشكل سريع وهذا الأكسيد سهل الانصهار ويكون خبثا سريع التجمد .
- أكسيد الحديد ( $FeO$ ) : يساعد صهر يصنع منه خبث نقي يدخل في تغطية الإلكترودات .
- أكسيد المغنيزيوم ( $MgO$ ) : يدخل في صورة ألياف اسبستوس للمساعدة على تماسك طبقة التغليف للإلكترود.

- أكسيد الصوديوم ( $Na_2O$ ) : يدخل مع الزجاج المائع كمادة رابطة ويساعد على استقرار القوس والصهر ، كما أنه يقلل من التوتر السطحي للخبث المنصهر .
- أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) : يساعد على عملية بثق التغطية على الإلكترونات وليس له فائدة كيميائية أو كهربائية .
- أكسيد الكالسيوم ( $CaO$ ) : يضاف بوصفه مساعد صهر في صورة حجر جيرى يتحلل ويولد أول أكسيد الكربون .
- فلوريد الكالسيوم ( $CaF_2$ ) : مساعد صهر يساعد على خفض درجة حرارة الخبث ويثبت فلوية الخبث .
- فلوريد ألومينات الصوديوم ( $Na_3AlF_6$ ) : يساعد على خفض درجة حرارة الخبث .

ولابد من الإشارة إلى ثمة فرق شاسع بين مهمة مساعد الصهر وتكوين الخبث فمساعد الصهر يكون أساسا مادة ( مادة أكسيد معدني ) تذيب أو تتحد معها المواد غير المرغوب فيها ويكون معها في النهاية الخبث الذي يطفو على السطح المنصهر ، ويتجمد في النهاية ، إذ يسهل إزالته بفصله عن المعدن المتجمد النظيف ، وفي عمليات اللحام لابد أن يتم تنظيف السطح المطلوب لحامه باستخدام مساعد الصهر لأن قطرات المعدن المنصهر المنتقلة من الإلكترود إلى المشغولة لا تستطيع أن تلتصق بسطح المشغولة ما لم يكن هذا الأخير نظيفا ، عدا أنه دون أن يتم هذا الالتصاق لا يسهل صهر المشغولة وتظل قطرة اللحام المنصهرة تتدحرج على سطح المشغولة دون الاندماج معها، أي إن المهم هنا التخلص من المواد الغريبة التي على سطح المشغولة بواسطة مساعدات الصهر .

ومعظم هذه المواد الغريبة هي أكسيد الحديد والمنغنيز والكروم والسيليكون ( $SiO_2, Cr_2O_3, MnO_2, FeO$ ) وهي كونها تمثل عائقا للاندماج مع المشغولة فهي تكون أيضا عائقا للانتقال الحراري بين القطرة المنصهرة و سطح المشغولة المطلوب لحامها .

ويتم التخلص من هذه الأكاسيد بوساطة مساعد الصهر إما بالاتحاد معها أو بإذابتها مثل أكسيد الكروم .

وعندما تتساقط قطرات المعدن من الإلكتروود فإنها تنفذ إلى ما تحت طبقة مساعد الصهر المنصهرة (بسبب زيادة وزنها النوعي) ، وتبدأ هذه القطرات في الانتشار على سطح المشغولة للحظة أن ينتهي مساعد الصهر من تنظيف هذا السطح وتكوين خبث منصهر ذي سيولة محددة تكون بدرجة كافية ، تتيح له تغطية درزة لحامية وحمايتها .

### 3-26- تصنيف الإلكتروودات :

1-3-26- تصنف الإلكتروودات المغلفة التي تستخدم في اللحام القوسي اليدوي ولحام التعبئة ، حسب الغاية منها ، إلى ما يلي:

- 1-لحام أنواع الفولاذ الإنشائي قليل ومتوسط الكربون ، الذي تصل مقاومة الشد عندها إلى  $(600MPa)$  .
- 2-لحام أنواع فولاذ سبائكية ( خلائطية ) تزيد مقاومة الشد عندها على  $(600MPa)$  .
- 3-لحام الفولاذ السبائكي المقاوم للحرارة .
- 4-لحام أنواع الفولاذ عالي السبائكية المتمتع بخصائص متميزة .
- 5-لحام وتعبئة السطوح المتآكلة .

2-3-26- وتقسم الإلكترويدات حسب سماكة التغطية وتبعا لنسبة قطر

الإلكتروود D إلى قطر النواة الفولاذية d ، كما يلي :

1-بتغطية رقيقة ( $D/d \leq 1.2$ ) .

2-بتغطية متوسطة السماكة ( $1.2 < D/d \leq 1.45$ ) .

3-بتغطية سميكة ( $1.45 < D/d \leq 1.8$ ) .

4-بتغطية سميكة جدا ( $D/d > 1.8$ ) .

3-26- وتقسم الإلكترويدات حسب نوع التغطية إلى ما يلي :

الإلكترويدات بتغطية حمضية ، وبتغطية روتيلية ، وبتغطية قاعدية ، وبتغطية مختلطة :

1-التغطية الحمضية تتألف من أكاسيد الحديد و المنغنيز و السيليكون ومن سبيكة الحديد و المنغنيز .

2-تحتوي التغطية الروتيلية كمية غالبية من الروتيل و سليكات المغنيزيوم الحمضية والمرمر والكاولين ، وسبيكة الحديد والمنغنيز ، والسيليكون والزجاج المائع . وتعد التغطية الروتيلية أخف ضررا من غيرها بالنسبة إلى أعضاء التنفس لعامل اللحام ، وتشكل طبقة خبث رقيقة على الدرزة اللحامية ، تجف بسرعة ، لذا يمكن استخدام هذه الإلكترويدات في مختلف الأوضاع .

3-أما التغطية السيللوزية فتتألف من السيللوز والراتنجات العضوية ، وسبائك الحديد و المنغنيز و سليكات المغنيزيوم الحمضية وغيرها .

4- لا تحوي التغطيات القاعدية أكاسيد الحديد و المنغنيز . وتتألف بعض هذه التغطيات من المرمر والحجر الفلوري والرمل الكوارتزي ، وحديد السيليكون ، وحديد المنغنيز، وحديد التيتانيوم والزجاج المائع .



وهذه الطريقة اقتصادية نسبياً بالنسبة إلى المعدات وتدريب العمالة ، وتستخدم هذه الطريقة في مجالات التصنيع وعلى نطاق واسع في مجالات الإنشاءات والصيانة .

أما قابلية لحام المعادن بهذه الطريقة فتستخدم في لحام معظم أنواع الفولاذ وبعض المواد غير الحديدية .

ومن أهم مزايا هذه الطريقة لحام أنواع الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ منخفض السبائكية والفولاذ المقاوم للتآكل ولحام حديد الزهر ( الفونت ) . كما يستخدم في لحام المعادن غير الحديدية مثل النيكل وسبائك النيكل ولكن أقل درجة في لحام النحاس وسبائك النحاس . ونادراً ما تستخدم في لحام الألمنيوم . أما بالنسبة إلى سماكات المعدن الممكن لحامه بهذه الطريقة فتعتمد على مهارة عامل اللحام . فالعامل الماهر يمكنه لحام قطع فولاذية بسماكة (1,6مم) أما المعادن الرقيقة فتحتاج إلى مهارات عالية واحتياجات خاصة في اللحام . وكما زادت سماكة القطع المراد لحامها تطلب تجهيز وتصحيح لهذه القطع ضمن جداول فنية تجريبية ، فالفولاذ ذو السماكة (4÷6مم) يمكن لحامه دون تجهيز الوصلة ، أما إذا ازدادت السماكة على ذلك فتحتاج الوصلة إلى أعداد وتجهيز علاوة عن إمكانية اللحام بأكثر من مسار أي عدة مسارات لإتمام عملية اللحام .

#### 5-26- توصيف إلكترونيات اللحام :

إن تنوع الإلكترونيات المستخدمة في عمليات اللحام قد أدى إلى وضع مواصفات تحدد خواصها وتسهل تمييز بعضها من بعض وتقضي هذه المواصفات بوضع رموز ( أرقام وحروف شيفرة ) تدل على نوعية الإلكترونيات وخواصه ومجال استخدامه . وتختلف هذه المواصفات باختلاف الدول التي تصدرها ، وأهم هذه المواصفات ، المواصفات الأمريكية والروسية والألمانية والانكليزية والمواصفات الدولية الموحدة .



وسنتعرف فيما يأتي إلى المواصفة الدولية الموحدة للإلكترونيات (ISO) هذا النظام وضعته المنظمة الدولية للتوحيد القياسي :

### International Standardization Organization (ISO)

توصيف الإلكترونيات المغلفة ينقسم إلى جزأين أحدهما إجباري والآخر اختياري ، أما الجزء الإجباري فيحتوي على ثلاثة أجزاء :

1-الجزء الأول عبارة عن الحرف (E) ويرمز إلى أن الإلكترونيات يستخدم في اللحام بالقوس الكهربائي .

2-الجزء الثاني عبارة عن ثلاثة أرقام ترمز إلى أن الخواص الميكانيكية ( مقاومة إجهاد الشد ، نسبة الاستطالة ، مقاومة إجهاد الصدم ) هذه المعطيات في جداول خاصة .

3-الجزء الثالث عبارة عن حرف يدل على نوع غلاف الإلكترونيات وهذه الحروف هي :

- غلاف حامضي ( أكسيد الحديد ) A=Acid (Iron Oxide)
- غلاف حامضي (روتيلي) AR=Acid (Rutile)
- غلاف قاعدي B=Basic
- غلاف سيللوزي C=Cellulose
- غلاف مؤكسد O=Oxidizing
- غلاف روتيلي متوسط R=Rutile (Medium coating)
- غلاف روتيلي سميك RR=Rutile (heavy coating)
- غلاف من أنواع أخرى : S=other type

أما الجزء الاختياري فهو عبارة عن معلومات إضافية عن الإلكترونيات مثل كفاءة الإلكترونيات ووضع اللحام الذي يناسب الإلكترونيات ونوع التيار المستخدم وأيضا المحتوى الهيدروجيني .

### كفاءة الإلكترود :

ويرمز لها برقم مقرب لأقرب عشرة ، فمثلا كفاءة الإلكترود (160%)  
تعني أن القيمة الاسمية للكفاءة محصورة بين (164-156%) . وكفاءة  
الإلكترود هي نسبة بين وزن المعدن المنصهر من الإلكترود إلى وزن قلب  
الإلكترود .

### وضع اللحام :

ويوجد خمس أرقام تدل على الأوضاع المختلفة التي يناسبها الإلكترود  
وهي:

- 1 - كل الأوضاع .
- 2 - كل الأوضاع ما عدا الوضع الرأسي للأسفل .
- 3 - لحام زاوية تقابلي ولحام وسطي ولحام زاوية رأسي / أفقي .
- 4 - لحام زاوية تقابلي ولحام زاوية سطحي .
- 5 - بالإضافة إلى وضع اللحام الرأسي للأسفل .

### تيار اللحام :

يرمز لنوع تيار اللحام ( مستمر أو متناوب ونوع القطبية مباشرة أو عكسية  
وجهد الدارة المفتوحة للتيار المتناوب ) .

### المحتوى الهيدروجيني :

نظرا لحساسية الإلكترودات للرطوبة والماء وبالذات الهيدروجين حيث أنه  
يسبب ظاهرة التقصف الهيدروجيني لذلك يجب الحفاظ على ألا تتعدى نسبة  
الهيدروجين في الإلكترود عن نسبة معينة لا تسبب أي عيوب في الدرزة  
اللحامية . وقد اتفق على الرمز (H) ليدل على أن أقصى نسبة للمحتوى  
الهيدروجيني هي (15) ميللي لتر هيدروجين لكل (100) غرام من المعدن  
المنترسب .

مثال :

الرمز الآتي يوضح توصيف لالكترود حسب المواصفة الدولية الموحدة (ISO).

E503B16020(H) وتفصيل ذلك كالآتي :

E : تعني إن الالكترود يستخدم في اللحام بالقوس الكهربائي .

503 : تعني أن الخواص الميكانيكية للالكترود هي كالآتي :

50 : مقاومة إجهاد الشد هي  $(50 \text{ kgf} / \text{mm}^2)$  .

3 : الاستطالة النسبية (20%) . مقاومة إجهاد الصدم عند  $(-20^\circ \text{C})$  هي 47J .

B : تعني أن تغطية الإلكترود من النوع القاعدي .

160 : تعني أن كفاءة الإلكترود في المدى (164-156%) .

2 : تعني أن وضع اللحام الذي يناسبه الإلكترود هو كل الأوضاع ما عدا الرأسي للأسفل .

0 : تعني أن التيار المستخدم هو تيار مستمر فقط .

H: تعني أن نسبة الهيدروجين في المعدن المترسب في الحدود المسموح بها وهي (15) ميلي لتر هيدروجين لكل (100) غرام من المعدن المترسب - ويعد الجزء الإجباري من التوصيف هو (E503B) .



## **الفصل السابع والعشرون**

### **مساعدات الصهر ( الفلكس )**

- 1-خواص وتركيب مساعدات الصهر .
- 2-تصنيف مساعدات الصهر .
- 3-تجهيز مساعدات الصهر قبل عملية اللحام .

الفلورية ( $CaF_2$ ) لأن الفلور يتحد مع الهيدروجين مكونا (HF) الذي يذوب مع المعدن السائل . وتؤثر بعض مساعدات الصهر على استقرار القوس ، ويؤدي فلوريد الكالسيوم إلى تقليل استقرار القوس ، ولكن وجوده ضروري لتقليل المسامية ، لذلك يحدد بأقل قيمة ممكنة حسب نوع اللحام .  
وتؤدي إضافة البوتاسيوم (K) والصوديوم (Na) والكالسيوم (Ca) في زيادة اتران القوس .

كذلك يؤثر التركيب الكيميائي لمساعدات الصهر على شكل الوصلة اللحامية ، فعندما يحتوي على كمية كبيرة من ( $CaF_2$ ) و ( $SiO_2$ ) يقل استقرار القوس فيصبح اقصر وأقل حركة ويؤدي إلى وصلات ضيقة وعميقة .  
أما إذا كانت مساعدات الصهر تحتوي على كمية غير كبيرة من ( $CaF_2$ ) وكمية كافية من المركبات التي تساعد على استقرار القوس فيؤدي إلى تشكل وصلة عريضة وغير عميقة .

يسراوح حجم الحبيبات الضخمة من (3,355-0)مم والحبيبات الدقيقة من (1,6-0,25)مم . والمظهر الخارجي للحبيبات عبارة عن رقائق شفافة مختلفة اللون الأصفر حتى البني ويكون تركيبها الكيميائي كالتالي :

- 1- سيليكون من (41÷43.5%) .
- 2- أول أكسيد المنغنيز (34÷38%) .
- 3- أكسيد المغنزيوم من (5,5÷7,5%) .
- 4- أكسيد الكالسيوم حتى (5,5%) .
- 5- فلوريد الكالسيوم من (4÷5,5%) .
- 6- أكسيد الألمنيوم حتى (4,5%) .
- 7- كبريت أقل من (0,15%) وفوسفور أقل من (0,12%) .

وهذه من أهم المواد الداخلة في مساعدات الصهر وقد تنقص أو تزيد بعض المواد حسب نوع اللحام . وتوضع هذه المساعدات في جداول خاصة .

## 2-27- تصنيف مساعدات الصهر :

تصنف مساعدات الصهر حسب مجال استخدامها إلى :

- مساعدات للصهر من أجل لحام الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ السبائكي منخفض نسب الخلط .

- مساعدات للصهر من أجل لحام الفولاذ السبائكي متوسط وعالي نسب الخلط .

- مساعدات للصهر من أجل لحام المعادن الملونة وخلائطها .

تصنف مساعدات الصهر حسب نسبة السيليسيوم و المنغنيز الموجود فيها :

حيث تحتوي المساعدات قليلة السيليسيوم على نسبة أقل من (35%) من ( $SiO_2$ ) ، وتسمى هذه المساعدات بالمساعدات السيليسية إذا كانت نسبة ( $SiO_2$ ) أكثر من (35%) . وتسمى المساعدات بالمساعدات المنغنيزية ، إذا كانت نسبة أكسيد المنغنيز أكثر من (1%) .

تقسم المساعدات حسب طريقة التحضير إلى :

مساعدات منصهرة وخزفية ومزيج ميكانيكي .

وتقسم حسب درجة تأثير المساعدات على التركيب الكيميائي للدرزة للحامية إلى : قليلة التأثير ومتوسطة التأثير ومؤثرة وتقسم المساعدات حسب شكل الحبيبات إلى : حبيبات بيضاء أو صفراء أو خضراء .

## 1-2-27- مساعدات الصهر المخصصة للحام الفولاذ منخفض الكربون

والسبائكي منخفض نسب الخلط :

يضاف إلى معدن الدرزة سيليسيوم ومنغنيز لمنع حدوث مسامات أو فقاعات أو الحصول على خواص ميكانيكية محددة في أثناء لحام الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ السبائكي منخفض نسب الخلائط .

تستخدم للحام الفولاذ منخفض الكربون والفولاذ السبائكي منخفض نسب الخلط :  
أ- مساعدات للصهر عالية السيليسيوم و المنغنيز ، وتحتوي هذه المساعدات على (35-40%) من أكسيد المنغنيز ( $MnO$ ) و(40-45%) من أكسيد السيليسيوم ( $SiO_2$ ) ونسبة منخفضة من الكربون .

أو مساعدات صهر عالية السيليسيوم ، تحتوي هذه المساعدات على (40%) أكسيد السيليسيوم وأقل من (15%) من أكسيد المنغنيز وسلك لحام فولاذي منخفض الكربون . ويحتوي هذا السلك على (2%) منغنيز .

ب- مساعدات لحام خزفية وسلك لحام فولاذي قليل الكربون: تستعمل مساعدات صهر

2-2-27- مساعدات الصهر المخصصة للحام الفولاذ السبائكي وعالي نسب الخلط:

يجب أن تؤمن مساعدات الصهر المستخدمة للحام الفولاذ الخلائطي وعالي الخلائط الحد الأدنى من أكسدة العناصر الإضافية التي تدخل في تركيب الدرزات ، ويتحقق ذلك باستخدام مساعدات تحتوي على نسبة قليلة من أكسيد الحديد . وتكون هذه المساعدات قليلة السيليسيوم من أجل لحام الفولاذ الخلائطي وعالي الخلائط .



تنفذ عملية لحام الفولاذ عالي الخلائط تحت طبقة من مساعدات الصهر قليلة أو عديمة السيليسيوم على التيار المستمر والقطبية المعكوسة ، ولا تستخدم عملية اللحام على التيار المتناوب عمليا ، وذلك لانخفاض متانة الدرزة الناتجة ، وعدم استقرار القوس .

3-2-27- مساعدات الصهر المستعملة في لحام المعادن الملونة وخلائطها :  
يجب أن تكون مساعدات الصهر المستخدمة للحام الألمنيوم وخلائطه سهلة الانصهار ، وأن تكون كثافتها قليلة ، وناقليتها الكهربائية عالية .

3-27- تجهيز مساعدات الصهر قبل عملية اللحام :  
يجب أن تكون مساعدات الصهر جافة وخالية من الرطوبة لعدم حدوث فقاعات في درزات اللحام ، ويجب ألا تزيد رطوبة مساعدات الصهر عن (0,05%) .  
تجفف مساعدات الصهر الرطبة الشفافة في الأفران بدرجة حرارة تراوح بين (100-110) درجة مئوية ، أما مساعدات الصهر غير الشفافة فتجفف بدرجة حرارة (290-310) درجة مئوية .



# **الفصل الثامن والعشرون**

## **عيوب الوصلات اللحامية**

### **وطرائق علاجها**

- 1- العيوب الشائعة في الوصلات اللحامية .
- 2- طرائق علاج عيوب الوصلات اللحامية .



## عيوب الوصلات اللحامية وطرائق علاجها

### 1-28- العيوب الشائعة في الوصلات اللحامية :

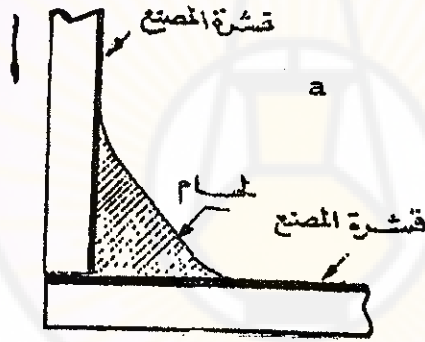
تكون عيوب الوصلات اللحامية داخلية أو خارجية ، ويمكن تصنيف معظم هذه العيوب في مجموعتين : مجموعة عيوب في الوصلة اللحامية - مجموعة عيوب في الدرزة اللحامية .

تقسم العيوب الشائعة في الوصلة اللحامية إلى أنواع عدة ، وذلك كما يأتي :

#### 1-عيوب عمق التغلغل ( أو عمق النفاذ ) :

يطلق تعبير عمق التغلغل ( أو عمق النفاذ ) ، وأحيانا عمق الصهر ( على ثلاث حالات :

أ- قابلية كل من طريقة اللحام والكتروود اللحام على النفاذ من القشرة المتكونة على سطح المعدن المراد لحامه ( انظر الشكل ) ( 1-28 ) .



شكل (1-28) قابلية النفاذ من السطح الخارجي

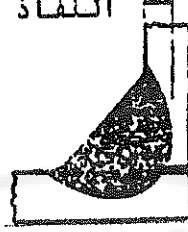
ب-العمق الذي تصله منطقة الانصهار تحت سطح المعدن ( انظر الشكل ) ( 2-28 ) .

ت-مدى صهر رؤوس الحواف المشنفرة للوصلة اللحامية ( انظر الشكل ) ( 3-28 ) .

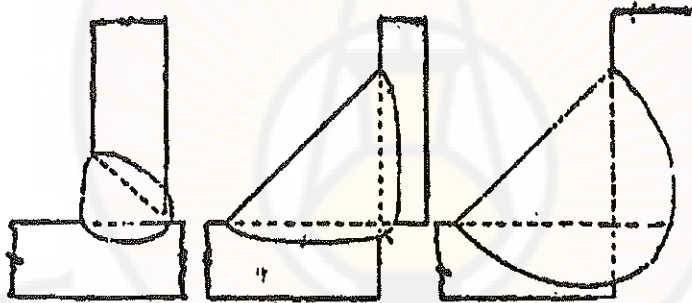
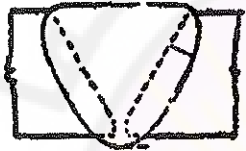
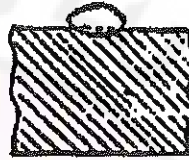


اللفاذ

b



شكل (28-2) عمق الصهر أو التغلغل



شكل (28-3) صهر رؤوس الحواف لوصلات اللحام

وقد يكون عمق التغلغل غير كاف أو زائدا على الحد المطلوب ، وذلك تبعا لمجموعة من العوامل تتعلق بكل من زاوية ميل الإلكترود ( توجيه الإلكترود ) وزاوية الشنفرة وشدة التيار الكهربائي وسرعة اللحام وطول القوس الكهربائي وغيرها . فمثلاً يكون عمق الصهر غير كاف لأسباب عدة ، أهمها :

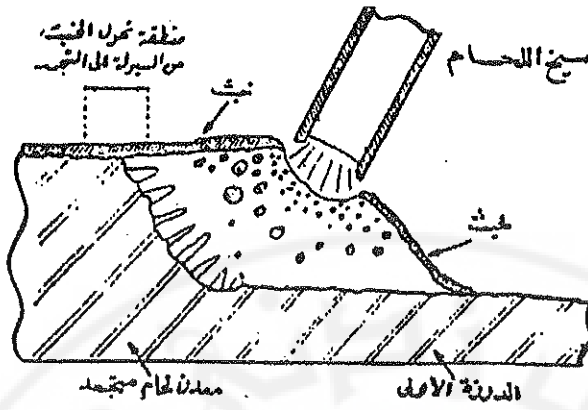
- 1- إذا كان الإلكترود موجه إلى حافة واحدة من الحواف المشنفرة دون غيرها ( وبخاصة إذا كانت الشنفرة على شكل حرف V ) .
  - 2- إذا كانت زاوية الشنفرة غير كافية ، أو كانت حافتا الوصلة قريبتين من بعضهما بعضا دون ترك خلوص بينهما .
  - 3- إذا لم تكن زاوية ميل الإلكترود وفقا للشروط المطلوبة في عملية اللحام .
  - 4- إذا كانت سرعة اللحام زائدة مما يؤدي إلى عدم توافر الوقت الكافي لصهر حواف الوصلة وتحقيق عمق التغلغل المطلوب .
  - 5- إذا كان قطر الإلكترود أكبر من حد معين فإن رأس الإلكترود لن يصل إلى عمق زاوية الشنفرة ، وبالتالي لن يتحقق عمق الصهر المطلوب .
  - 6- إذا كانت شدة التيار منخفضة ، فإن الحرارة الناتجة عن القوس الكهربائي تكون غير كافية لصهر حواف الوصلة وتحقيق عمق الصهر اللازم .
  - 7- إذا زاد طول قوس اللحام عن حد معين ، مما يسبب ضياع كمية كبيرة من حرارة هذا القوس في الوسط المحيط ، من ثم تقل كمية الحرارة اللازمة لصهر حواف الوصلة وتحقيق عمق التغلغل المناسب ويمكن أن يكون عمق التغلغل زائدا عن الحد المطلوب ، وبعد هذا أيضا عيبا من عيوب الوصلات اللحامية .
- ويمكن منع حدوث العيوب آنفة الذكر ( أو بعضها ) من خلال اتباع ما يأتي :
- أن تكون شدة التيار الكهربائي وجهد القوس الكهربائي وسرعة اللحام وغيرها محققة للقيم المحسوبة وفقا للمعادلات التجريبية الواردة في الفصل (9) من هذا الكتاب .
  - تحقيق زاوية ميل الكترود اللحام وفقا للمواصفات النازمة لذلك مع الأخذ بعين الاعتبار تأثير كل من الحقول المغناطيسية والكتل الفيرومغناطيسية في زاوية ميل الإلكترود ومساره .

• تجهيز الوصلة اللحامية ( وبخاصة شنفرة حواف هذه الوصلة ) وفقا للمواصفات العالمية المعروفة في هذا المجال ، مع مراعاة الخلوصات الواجب تركها بين حافتي الوصلة المراد لحامها من جهة وتوجيه رأس الإلكترود بشكل دقيق إلى المكان المراد صهره .

## 2- العيوب الخبثية :

على الرغم من أن الأثر الكبير الذي تقوم به كل من طبقة الخبث المنصهر المتوضعة فوق حوض اللحام المنصهر ومثيلتها المتجمدة على سطح الدرزة اللحامية ، حيث تقوم هذه الطبقات بحماية كل من المعدن المنصهر ومثله المتجمد من التفاعل مع الوسط المحيط ، إضافة إلى حفاظها على حرارة اللحام سواء في حوض اللحام أو في الدرزة اللحامية المتجمدة ، إلا أن جزيئات الخبث يمكن أن تدخل في حوض اللحام أو تبقى في الدرزة اللحامية بعد تجمدها وتشكل تجمعات خبثية تضعف معدن الدرزة اللحامية تكون مراكز لتركيز الإجهادات سواء الاستاتيكية أو الديناميكية منها ، من ثم تصدع الوصلة اللحامية لأقل إجهادات ممكنة . ويمكن أن ينتج الخبث في معدن الدرزة بسبب عدم توجيه الإلكترود على نحو صحيح أو عدم تنظيف سطوح الوصلة وحوافها قبل البدء بعملية اللحام أو عدم تنظيف سطوح الدرزات اللحامية جيدا عند لحام مسارات عدة فوق بعضها بعضا ويبين الشكل (4-28) تجمعات خبثية داخل معدن الدرزة اللحامية .





الشكل (4-28) تجمعات خبثية داخل معدن الدرزة اللحامية

### 3- عيوب المسامية (Porosity) :

يمكن أن تتشكل العيوب المسامية في الدرزات اللحامية أو في مناطق التأثر الحراري ، وتكون عادة هذه العيوب على شكل مجموعة من المسامات ، الداخلية على شكل فجوات غازية .  
وتحدث هذه العيوب للأسباب الآتية :

1. تلوث سطح المعدن المعد للحام : يمكن أن تكون على سطح القطع المعدنية المعدة للحام زيوت أو صدأ أو شحوم وغيرها ، وعند اللحام فإن حرارة القوس الكهربائي تستطيع تحويل هذه المواد إلى غازات وتصبح هذه الغازات محصورة داخل معدن الدرزة اللحامية أو منطقة التأثر الحراري .

2. رطوبة الالكترود : عند استخدام الالكترود يجب أن يكون خالياً من الرطوبة وجافاً تماماً حيث تكون هذه الرطوبة مساماً وفجوات غازية في الدرزة الحامية ( وبخاصة غاز الهيدروجين الذي له تأثير سلبي كبير في خواص هذه الدرزات ) .

3. الطول الزائد للقوس : تؤدي الزيادة في طول القوس الكهربائي المشتعل بين رأس الالكترود و سطح الوصلة إلى اتساع رقعة حوض الصهر ، وبالتالي لا تكون كمية الغازات المنبثقة من القوس الكهربائي كافية لحماية هذا الحوض من تأثير هواء الوسط المحيط ، ولهذا يمكن أن يتخلل كل من الأوكسجين والنيتروجين ورطوبة الهواء هذا الحوض وتشكل المسامات والفجوات الغازية .

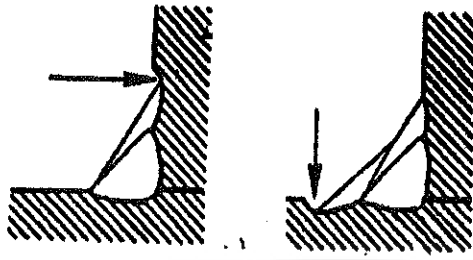
4. شوائب المعدن الأساسي : إن احتواء المعدن الأساسي للقطع المعدة للحام على الشوائب وبصفة خاصة الكبريت يسمح بحدوث المسامية .

5. زيادة سرعة اللحام : إذا زادت سرعة اللحام عن الحدود المطلوبة ، فإن معدن الدرزة الحامية يمكن أن يتعرض لسرعات تبريد أعلى من الحد المسموح به ، من ثم يؤدي هذا التبريد السريع لمعدن الدرزة للحامية إلى انحصار جزء من الغازات الواقعة داخل معدن الدرزة وتشكيل المسامات والفجوات الغازية .

#### 4- عيوب النحر (Undercat) :

يعرف النحر أنه نقص في مساحة مقطع الدرزة الحامية نتيجة الصهر الزائد عن المطلوب ، ويكون سببه ارتفاع في شدة التيار الكهربائي أو زيادة في طول القوس الكهربائي أو عدم توجيه الالكترود إلى المنطقة المراد لحامها بالشكل الصحيح ووفقا للمواصفات المطلوبة .

ويبين الشكل (5-28) بعضا من عيوب النحر في الوصلات الحامية الزاوية .



شكل (5-28) عيوب النحر في وصلات لحامية زاوية

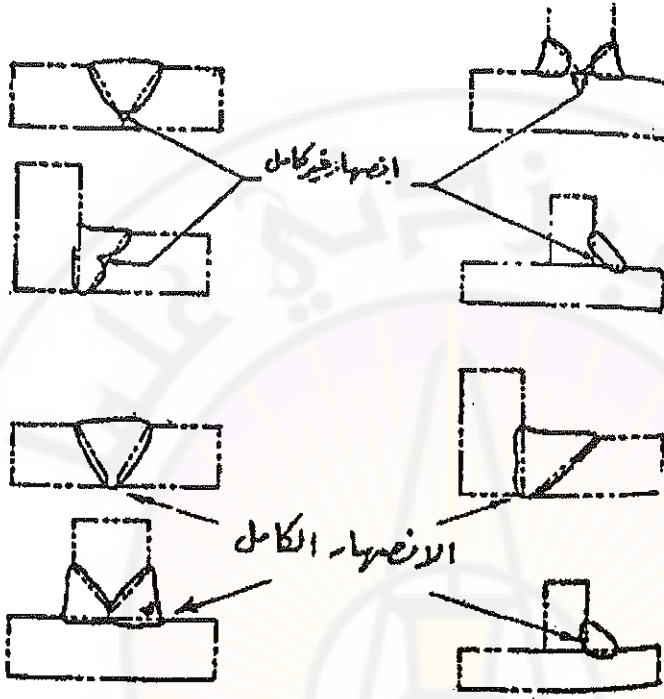
#### 5 - عيوب عدم الانصهار الكامل لحواف الوصلة :

يمكن أن يسبب عدم الانصهار الكامل لحواف الوصلة وعدم اختلاط المعدن المنصهر لهذه الحواف مع المعدن المضاف إلى حدوث شروخ كبيرة في هذا النوع من الوصلات اللحامية .

ويمكن أن يحدث عدم الانصهار الكامل لحواف الوصلة والمعدن المضاف لأحد الأسباب التالية :

1. انخفاض شدة التيار الكهربائي عن القيم اللازمة .
2. عدم نظافة سطح الوصلة اللحامية .
3. زيادة في سرعة اللحام عن الحدود المسموح بها .
4. التوجيه غير الصحيح للاكترود إلى مكان اللحام.

ويبين الشكل (6-28) بعضا من عيوب عدم الانصهار الكامل لوصلات  
تناكبية وزوايا متعامدة .



الشكل (6-28) بعض عيوب عدم الانصهار الكامل في الوصلات اللحامية

#### 6- الشقوق (Crack) :

يمكن أن تحدث الشقوق في الوصلة في أثناء عملية اللحام أو بعد الانتهاء  
من هذه العملية أو عند الاستئثار لهذه الوصلات ، وهناك نوعان للشقوق في  
الوصلات اللحامية :

A. شقوق ساخنة : يمكن أن تحدث هذه الشقوق عند درجات حرارة  
مختلفة بدءا من درجة حرارة الوسط المحيط إلى درجة حرارة

انصهار المعدن الملحوم . وتحدث هذه الشقوق في كل من المعدن الأساس والدرزات اللحامية .

B. شقوق باردة : يمكن أن تحدث هذه الشقوق عند درجات حرارة مختلفة أيضا بدءا من درجة حرارة الوسط المحيط وحتى درجات الحرارة السالبة ( تحت الصفر المئوي ) . وتحدث هذه الشقوق أيضا في كل من المعدن الأساس ومعدن منطقة التأثير الحراري ومعدن الدرزة اللحامية .

ويمكن أن تحدث هذه الشقوق بنوعيهما ( الشقوق الساخنة والباردة ) لأحد الأسباب التالية :

- a. جساءة الوصلة اللحامية وعدم إعطاءها حرية التمدد أو التقلص ، وذلك لأن الاجهادات الناتجة عن عملية اللحام تفوق حد الخضوع للمعدن في أغلب الحالات مما يؤدي إلى حدوث انفعالات لدنة في هذا المعدن ( أو في الوصلة اللحامية ) ، مما يؤدي إلى حدوث الشقوق والتصدع للوصلة .
- b. إن وجود الرطوبة في أغلفة الالكترودات أو في الوسط المحيط أو على سطح الوصلة المراد لحامها يؤدي إلى انحلال غاز الهيدروجين في الدرزة اللحامية وتشكيل الفجوات الغازية والشقوق الناتجة من تحرير هذا الغاز بعد بدء معدن اللحام بالتجمد والتبريد .
- c. يمكن أن يحدث عدم الانصهار الكامل لبعض حواف القطع الملحومة مما يؤدي إلى تشكل الشقوق خاصة عند لحام مسارات متعاقبة . لهذا يجب الانتباه إلى مناطق عدم الانصهار الكامل هذه وملئها بالمعدن المنصهر خلال لحام هذه المسارات .
- d. إذا زادت سرعة تبريد الوصلة اللحامية عن الحدود المسموح بها ، فإن احتمال حدوث الشقوق يكون كبيرا ، وذلك بسبب معدن الانكماش السريع

للوصلة ويمكن تلافي حدوث مثل هذه الشقوق بزيادة معدل الطاقة الطولية من جهة أو إجراء تسخين مسبق للقطع المراد لحامها قبل البدء بعمليات اللحام .

## 2-28- طرائق علاج عيوب الوصلات اللحامية :

يتم علاج العيوب في الوصلات اللحامية باتتباع أحد الأساليب الآتية :  
و ذلك تبعاً لطبيعة العيب الموجود و مكان توضع .

1-إذا كان العيب على شكل ثغور في الدرزة اللحامية ، فان ذلك يعني نقص في مقطع هذه الدرزة ، ويعني أن إصلاح هذا العيب يتم من خلال إحداث درزة لحام إضافية .

2-إذا كان العيب على شكل شق كبير أو شرخ في الوصلة ، يتم تحضير مكان العيب بالقص الموضعي وشفرة الحواف وإجراء عمليات اللحام حتى زوال العيب بكامله . أما إذا كانت الشقوق غير واضحة المعالم والأبعاد على سطح الوصلة اللحامية ، فان إصلاحها يتم من خلال معالجة السطح بمحلول حمض الآزوت بنسبة ( 20% ) لتحديد الطول الحقيقي للشق ، ثم يتم إحداث تقبين عند بداية الشق ونهايته . وبعد ذلك يتم قص هذا الشق أو إحداث شفرة ، ومن ثم إجراء عملية اللحام .

3-إذا كان هناك تحديات كبيرة في الدرزات اللحامية ( تقوية زائدة لدرزات اللحام ) أو عدم وجود تحويل انسيابي بين درزات اللحام والمعدن الأساس ، فان ذلك يتم إصلاحه من خلال التشغيل الميكانيكي على طول الوصلة كاملاً أو إجراء صهر لحواف التقوية باستخدام اللحام بالأرغون بسلوك لحام لا ينصهر ( من معدن التتغستن ) .

4- إذا وجد بعض المسامات على سطح الوصلة اللحامية بقطر يزيد على (2) مم ، فيمكن قص هذه المسامات وإعادة لحامها ، و يسمح بوجود (4) مسامات للمتر الطولي من الدرزة اللحامية شريطة أن لا يزيد قطر المسام الواحد على (1مم) والمسافة بين مسامين متتاليين لا تزيد على (10)سم







## **الفصل التاسع والعشرون**

### **السلامة المهنية في عمليات اللحام**

- 1 - قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية .
- 2- مخاطر الكهرباء في اللحام وطرق الحماية منها .
- 3 - مخاطر الإشعاع الناتج عن القوس الكهربائي .
- 4 - تلوث الهواء المصاحب لعمليات اللحام المختلفة .
- 5 - مخاطر الحرائق والانفجارات في عمليات اللحام .
- 6 - مخاطر تنظيف الوصلات اللحامية .



## السلامة المهنية في عمليات اللحام

### 1-29- قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية :

تعد قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية مهمة جدا في كل من المواقع الإنتاجية والإنشائية ولجميع العاملين في هذه المجالات ، إذ إن هؤلاء العاملين معرضون لمخاطر مختلفة وعديدة باستمرار . ويعد تطبيق هذه القواعد والتعليمات المتعلقة بها ضروريا جدا ، وذلك بهدف تحقيق الأمن الصناعي والسلامة المهنية من جهة وتنفيذ خطة العمل الموضوعية في الموقع من جهة أخرى .

وفي المواقع التي تنفذ فيها عمليات اللحام توجد مجموعة من المخاطر التي تصاحب هذه العمليات ، ولهذا يجب أتباع التعليمات الصحيحة لخطوات العمل في هذه المواقع وتطبق قواعد الأمن الصناعي لتفادي تلك المخاطر واهم هذه المخاطر التي تصاحب عمليات اللحام :

- 1 - مخاطر الكهرباء في اللحام وطرق الحماية منها .
  - 2 - مخاطر الإشعاع الناتج عن القوس الكهربائي .
  - 3 - تلوث الهواء بالغازات المصاحب لعمليات اللحام المختلفة.
  - 4 - مخاطر الحرائق و الانفجارات في عمليات اللحام .
  - 5 - مخاطر متعلقة بأسلوب اللحام المتبع بما في ذلك إعداد الوصلات للحام وتنظيفها بعد إتمام عملية اللحام .
- ونورد فيما يأتي مجموعة من التعليمات الهامة التي يجب تطبيقها عند اللحام بالقوس الكهربائي بغية تحقيق قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية وهي :
- التأكد من آلة اللحام وتوصيلها بشكل دقيق ومتقن مع مصدر التغذية .

- استعمال الملابس الواقية والخاصة باللحام ، بما في ذلك النظارات الواقية بما يناسب عمليات اللحام والقطع والتجليخ وغيرها .
- يجب أن تكون منطقة اللحام بعيدة من أي مصدر للخطر مثل المواد القابلة للاشتعال أو الانفجار ويجب نقل أسطوانات الغاز المضغوط بعناية تامة ووضع أغطية لصمامات هذه الأسطوانات في حال عدم استعمالها .
- استعمال الأدوات والأجهزة اللازمة بهدف تنقية الأدخنة والغازات المنبعثة من عمليات اللحام في الأماكن المغلقة وسحبها إلى خارج هذه الأماكن لما تحويه هذه الغازات من عناصر سامة كالرصاص و الكاديوم و المنغنيز وغيرها .
- يحذر من استعمال كابلات غير معزولة إضافة إلى أخذ احتياطات ضرورية عند اللحام في أماكن رطبة ( مثل ارتداء حذاء مطاطي ، أو الوقوف على لوح جاف ومعزول ) .
- يجب عزل المناطق التي تتم فيها عمليات اللحام بالقوس الكهربائي عن الآخرين بغية عدم تعريضهم للإشعاعات الناتجة من هذا القوس .
- التأكد من سلامة السلم والسقالات المستخدمة واستخدام أحزمة الأمان اللازمة وذلك عند اللحام في أماكن مرتفعة .
- أما قواعد الأمن الصناعي والسلامة المهنية عند اللحام بالغاز ، فيمكن إيجازها فيما يلي :
- التأكد من سلامة الأجهزة والاسطوانات وعمليات توصيلها وفحصها بشكل صحيح وسليم .
- استعمال الملابس الواقية والمناسبة لعمليات اللحام ، أو القص بالغاز إضافة إلى إبعاد أي مادة خطرة أو قابلة للاشتعال عن منطقة العمل .

• عدم استعمال أي نوع من الزيوت أو الشحوم في الوصلات اللحامية وذلك لان أي تلامس بينهما وبين الأكسجين يؤدي إلى حدوث احتراق تلقائي.

• عدم إجراء أي عملية لحام أو قص بالغاز في أمكنة مغلقة من دون أخذ الاحتياطات اللازمة من جهة وتركيب أجهزة تقنية وسحب للأدخنة والغازات المنبعثة من عمليات اللحام أو القص من جهة أخرى .

• إتباع الخطوات الفنية اللازمة لإشعال اللهب بالأسلوب الصحيح ( كيفية فتح الصمامات لكل من أسطوانتي الأكسجين و الأستيلين وضبطها حسب الشعلة المطلوبة ) .

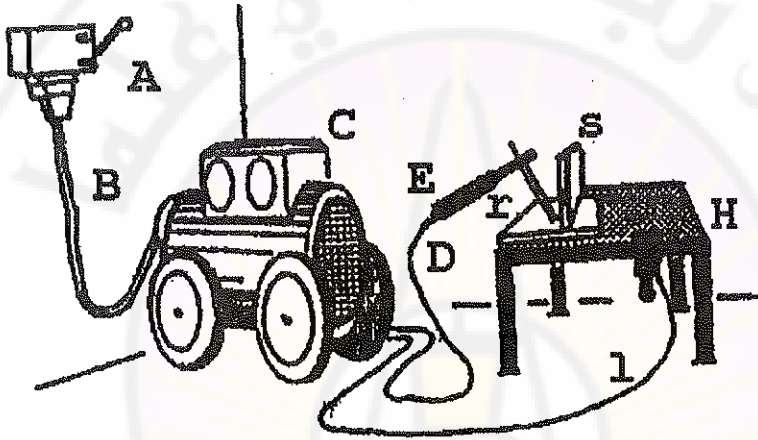
## 2-29- مخاطر الكهرباء في اللحام وطرق الوقاية منها :

يمكن أن يؤدي استخدام الكهرباء على نحو غير صحيح أو وجود أي عطل في أحد الأجهزة الكهربائية ( آلات اللحام ) وعدم توافر الاحتياطات اللازمة للوقاية من خطر الكهرباء ، يمكن أن يؤدي إلى بعض الحوادث المؤلمة التي يمكن أن تؤثر في كل من الآلات والأجهزة المستخدمة من جهة والعمال الفنيين من جهة أخرى ومنها :

1- إذا حدث دائرة قصر كهربائي أو كان هناك زيادة في الحمل على الآلات الكهربائية المستخدمة في عمليات اللحام ، يمكن أن يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجة حرارة هذه الآلات وإذا توافر في المكان نفسه مواد قابلة للاشتعال أو الانفجار يمكن أن تشتعل هذه الأخيرة وتسبب حرائق وتدمير وتلف للمنشآت الموجودة فيها هذه الآلات .

2- يمكن أن يؤدي حدوث شرر كهربائي منبعث من القوس إلى اشتعال الغازات والأبخرة في المكان الذي تتم فيها عمليات اللحام ، من ثم حدوث انفجارات أو حرائق .

3- يمكن أن يتعرض العاملون في مجال اللحام إلى صدمة أو صعق كهربائي بسبب عدم إتباعهم تعليمات الأمن الصناعي على نحو صحيح وخاصة فيما يتعلق بالتعامل مع كل من الآلات الكهربائية وكبلات التوصيل الكهربائي وغيرها . ويبين الشكل (1-29) دارة لحام لعامل واحد .



الشكل (1-29) دارة لحام لعامل واحد

- a . مفتاح توصيل بمصدر التيار الكهربائي ، b . كابل التوصيل ، c .
- ماكينة اللحام ، d . كابل اللحام ، e . ماسك الالكترود ، S . الشغلة ، h .
- طاولة اللحام ، i . كابل الرجوع .

ولهذا يجب التقيد بكافة التعليمات اللازمة قبل عمليات اللحام أو أثناء تنفيذها وبعد الانتهاء من هذه العمليات .

### 3-29- مخاطر الإشعاع الناتج عن القوس الكهربائية :

بما أن القوس الكهربائي مصدر قوي للضوء وكل من الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء ، فإن من الضروري على عامل اللحام والآخرين المتواجدين في

منطقة اللحام ارتداء الملابس والنظارات الواقية من إشعاعات هذا القوس الأنفة الذكر ، ذلك لأن شدة هذه الإشعاعات تعتمد على مجموعة من العوامل ( أسلوب اللحام المتبع وشدة التيار الكهربائي وجهد القوس وطوله والوسط المحيط بالقوس وغيرها ) ولهذا يجب العمل على حجب هذه الإشعاعات الناتجة من القوس الكهربائي باستخدام ستائر خاصة لامتناس هذه الإشعاعات إضافة إلى استعمال العامل خوذة تحوي عدسات واقية تمتص هذه الإشعاعات الناتجة عن القوس الكهربائي .

#### 4-29- تلوث الهواء المصاحب لعمليات اللحام المختلفة :

يسبب اللحام بالقوس الكهربائي والقص باللهب تلوث الهواء المحيط بمنطقة اللحام ( أو القص ) بمزيج من الغازات والأدخنة، حيث تحوي الأخيرة موادا صلبة وغازية .

ويكمن الخطر الناتج من تلك الأدخنة في ثلاثة عوامل :

1- التركيب الكيميائي للمواد الصلبة في الأدخنة والغازات .

2-نسبة تركيز الأدخنة في منطقة اللحام والتي يتنفسها العامل .

3-المدة الزمنية التي يتعرض لها عامل اللحام لتلك الأدخنة والغازات .

وتكون المادة الصلبة عبارة عن كرات متناهية في الصغر قد لا ترى بالعين المجردة يتراوح قطرها بين (1,0÷100ميكرون ) . ويعتمد نوع تلك المادة الصلبة على عوامل كثيرة منها :

أسلوب اللحام المتبع ونوع الكترود اللحام المستخدم .

شدة التيار ، إضافة إلى موقع اللحام والوسط المحيط به .

أما الغازات الناتجة من القوس الكهربائي فتنتج عن تفكك تغطية الالكترود ، وتتكون من غازات ناتجة عن التفاعلات الكيميائية التي تتم بتأثير درجة حرارة القوس العالية . وقد تكون هذه الغازات سامة ، لذلك تكون عملية التهوية

ضرورية جدا . من أشهر الغازات المتكونة غاز ثاني أكسيد الكربون وهو مهم لحماية القوس من الهواء الجوي وهو غير سام . والمشكلة تكمن في غاز أول أكسيد الكربون وهو غاز سام وغالبا ما يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون نتيجة تفاعله مع الأكسجين في منطقة اللحام. وأيضا يتكون غاز الأوزون نتيجة انبعاث الأشعة فوق البنفسجية من القوس الكهربائي ، ولكن تأثير هذا الغاز ضئيل جدا إذ أنه يتحول بسرعة إلى أكسجين .

هذا إضافة لتكون غازات أخرى مختلفة تعتمد على عوامل أخرى متداخلة لذلك يجب الأخذ بالحسبان عمليات التهوية الجيدة ، لاسيما في حالة اللحام في أماكن مغلقة ، خزانات وأدوات الضغط والأسطوانات والمراجل البخارية والأنفاق ، وأي أماكن ضيقة المساحة وصعبة التهوية ، هذه الأماكن يجب تهويتها جيدا لمنع تراكم الغازات السامة والأدخنة الخائفة أو حتى نفاذ الأكسجين منها ولهذا تعد التهوية المناسبة ضرورية جدا في عمليات اللحام والقص المختلفة ويمكن إجراء عملية التهوية بإحدى الطرق الثلاث الآتية :

1-تهوية طبيعية .

2-تهوية صناعية ميكانيكية .

3-تهوية بالسحب الموضعي للغازات من منطقة اللحام .

#### 5-29- مخاطر الحرائق و الانفجارات في عمليات اللحام :

يمكن أن يسبب عدم إتباع الخطوات السليمة في العمل وتعليمات الأمن الصناعي الضرورية حدوث حرائق و انفجارات في المنشآت الصناعية التي تتم فيها عمليات اللحام المختلفة والقص باللهب ويكون سبب هذه الحرائق و الانفجارات ثلاثة عوامل رئيسة هي :

• الوقود .

• الحرارة .



## • الأكسجين .

بما أن هذه العوامل الثلاثة متوافرة في أغلب الأحيان في مكان اللحام فإنه يجب أخذ الاحتياطات اللازمة لذلك . ويمكن الوقاية من مخاطر الحرائق أو الانفجارات في عمليات اللحام بإتباع الأسلوبين الآتيين :

- (a) يجب أن يتم اللحام في أماكن مصممة لإجراء مثل هذه العمليات
- (b) عند استخدام آلات لحام متنقلة يجب إخلاء أي مكان تتم فيه عملية اللحام من أية مواد قابلة للاشتعال أو الانفجار .
- (c) تجنب اصطدام الألكترود أو لهب أو شرر شعلة اللحام بالأسطوانة .

## 6-29- مخاطر تنظيف الوصلات اللحامية :

ينتج من عمليات اللحام رايش وخبث يتكون على الدرزة اللحامية ، ويجب إزالة هذا الخبث سواء بالأدوات اليدوية أو الكهربائية وقد يكون هذا الخبث أو الرايش مصدرا للخطر ، لا سيما على العين لذلك يجب استعمال نظارات واقية مع خوذ اللحام .

وأحيانا ينتج من عمليات تنظيف سطوح الدرزات اللحامية أو جلخها ضوضاء شديدة لها مخاطر على السمع ، لا سيما عند استعمال أحجار التجلخ ، لذلك يجب استعمال سماعات واقية .

وأخيرا يجب على فني اللحام تجنب مخاطر اللحام باستعمال أدوات اللحام التالية:

- 1 - خوذة الرأس .
- 2 - غطاء ( قناع ) للوحة .
- 3 - نظارات للعيون .

- 4 - قفازات لليدين .
- 5 - بدلة لحام مقاومة للحرارة والحريق .
- 6 - أحذية خاصة للحام .
- 7 - ستائر وحواجز للوقاية من الإشعاعات .
- 8 - أقنعة ومرشحات للغازات ، لاسيما في الأماكن المغلقة .
- 9 - استعمال أدوات كهربائية سليمة ومعزولة .
- 10 - استعمال الأدوات المناسبة والسليمة لتنشيط وتنظيف اللحامات

# **الفصل الثلاثون**

## **ترميز اللحامات على المخططات طبقا**

### **للنظام العالمي (ISO)**

- 1- الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام .
- 2- الرموز التكميلية للوصلات اللحامية .
- 3- وضع الرموز على المخططات .
- 4- أمثلة على كيفية استعمال الرموز .



## ترميز اللحامات على المخططات طبقا للنظام العالمي :

### 1-30- معلومات عامة :

- a. تفرض المواصفات العالمية (I.S.O) القوانين التي يجب أن تستعمل لتمثيل رموز اللحامات على المخططات.
- b. يمكن توضيح أنواع اللحامات على المخططات الفنية استنادا للتوصيات العامة لهذه المواصفة ،و من الأفضل اختيار أنواع اللحامات من جدول تمثيل الرموز المبين في هذه المواصفة العالمية .
- c. يجب أن يوفر تمثيل الرمز بوضوح جميع المؤشرات الضرورية المتعلقة بنوعية اللحام الذي يراد الحصول عليه دون الحاجة إلى وضع ملاحظات إضافية على المخططات .
- d. يتضمن تمثيل رمز اللحام ما يلي :
  - أ- الرمز الأساسي .
  - ب- الرمز التكميلي .
  - ت- العديد من الأبعاد التوضيحية .
  - ث- بعض التوضيحات الإضافية الخاصة بمخططات العمل التقانية في العمل .
- e. لكي يتم توضيح المخططات فإنه يُنصح باستخدام المراجع العلمية لتحديد أنواع اللحامات أو المواصفات التي توضح

عمليات تحضير الحواف للقطع الملحومة بشكل تفصيلي . وفي حال عدم وجود أنواع مماثلة للحام المطلوب فإن الأبعاد المتعلقة بتحضير حواف القطع الملحومة يمكن أن تقتصر على الرمز .

## 2-30- الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام :

تتصف أنواع اللحامات العديدة برموز لها في الغالب شكل اللحام نفسه المراد عمله . والجدول الآتي رقم (1-30) يبين الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام .

عند الحاجة يمكن وجود عدة رموز أساسية مجتمعة في وصلة لحام واحدة .

وقد أعطيت أمثلة نموذجية لها في الجدول رقم (1-30) .

الجدول (1-30): الرموز الأساسية لأنواع وصلات اللحام

| الرقم | التسمية                                       | الرمز | التوضيح |
|-------|-----------------------------------------------|-------|---------|
| 1     | - وصلة لحام تناكبي مزدوجة الشفة               |       |         |
| 2     | - لحام تناكبي مربع ( دون شنفرة الحواف )       |       |         |
| 3     | لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل              |       |         |
| 4     | لحام تناكبي مع تحضير الحواف بشكل مفرد الميل . |       |         |
| 5     | لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل Y            |       |         |
| 6     | لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل              |       |         |
| 7     | لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل U            |       |         |
| 8     | لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل              |       |         |
| 9     | لحام تناكبي مع درزة تدعيم من الخلف            |       |         |
| 10    | لحام زاوي .                                   |       |         |
| 11    | لحام سدادي .                                  |       |         |
| 12    | -لحام نقطي .                                  |       |         |
| 13    | -لحام تدريزي ( مستتر ) .                      |       |         |

### 30-3- الرموز التكميلية للوصلات اللحامية :

يمكن أن تكتمل الرموز الأساسية برمز له خواص شكل سطح اللحام الخارجي ، ويبين الجدول (30-2) بعض الرموز التكميلية التي ينصح باستعمالها وإذا لم يوضع أي رمز تكميلي فإن ذلك يعني أن شكل سطح اللحام لا يحتاج إلى توضيحه بشكل دقيق .

الجدول (30-2) الرموز التكميلية

#### Supplementary Symbols

| الرمز                                                                             | شكل سطح اللحام             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|  | أ- مسطح - تجليخ سطح اللحام |
|  | ب- محدب                    |
|  | ج- مقعر                    |

- و يوضح الجدول (30-3) بعض الأمثلة لاستخدام الرموز التكميلية



الجدول (30-3) يعطي بعض الأمثلة عن استخدام الرموز التكميلية

| التوضيح                                                                           | الرمز                                                                             | التسمية                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|  |  | لحام تناكبي مع شنفرة الحرف بشكل V وإزالة تقوية الدرزة               |
|  |  | لحام تناكبي مع شنفرة الحواف بشكل X وترك تقوية الدرزة دون إزالة      |
|  |  | لحام زاوي مقعر                                                      |
|  |  | لحام تناكبي مع شنفرة بشكل V و لحام تدعيم لجذر الدرزة وإزالة التقوية |

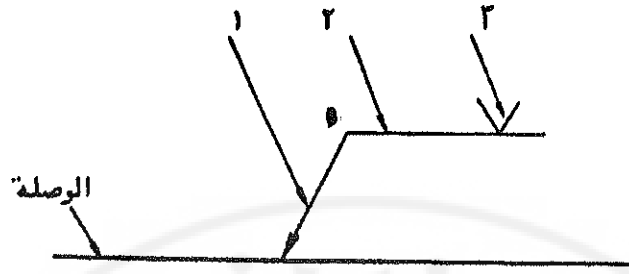
#### 30-4- توضع الرموز على المخططات :

##### 30-4-1- معلومات عامة :

الرموز المشمولة بهذه القواعد هي جزء من طريقة التمثيل الكاملة المتضمنة إضافة الرمز (3) المبين على الشكل (30-1) ويعني الرقم (1) خط السهم والرقم (2) خط الإسناد .

إن الغرض من الأسس التالية هو تحديد موضع اللحامات وذلك بوصف :

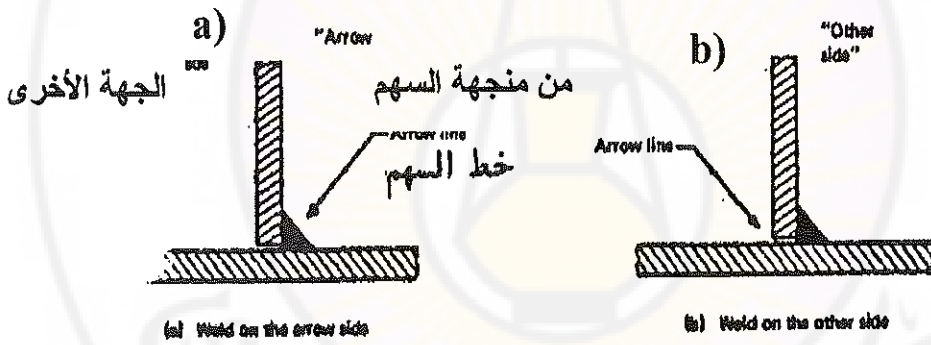
- . موضع خط السهم (1) .
- . موضع خط الإسناد (2) .
- . موضع خط الرمز (3) .



الشكل (30-1): طريقة التمثيل

#### 2-4-30- العلاقة بين خط السهم والوصلة :

يوضح المثال المعطى في الشكل (30-2) معنى المصطلحات التالية :



(a) Weld on the arrow side

(b) Weld on the other side

الشكل (30-2) وصلة بشكل T بلحام زاوي واحد

(a) اللحام على جانب السهم (b) اللحام على الجانب الآخر

ملاحظة : عادة يوضع السهم مباشرة بالقرب من الدرزة اللحامية

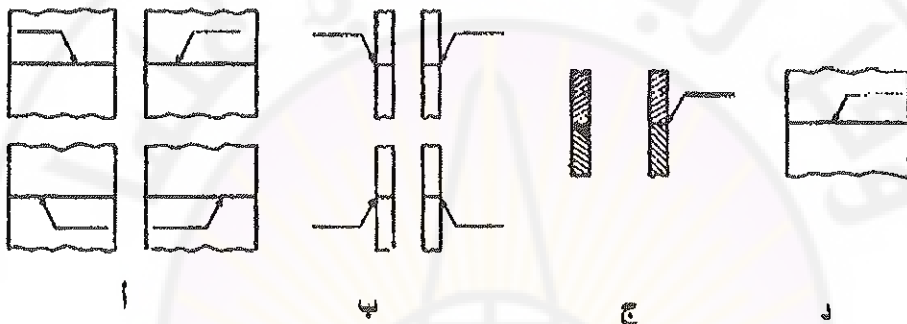
#### 3-4-30- موضع خط السهم :

يكون موضع خط السهم المتعلق باللحام بصفة عامة من دون

مواصفات معينة - إلا أنه يجب أن يكون باتجاه الصفحة

المجهزة للحام - انظر الشكل (30-3) ، والأشكال 4 و 5 و 8  
المبينة بالجدول (30-1) .

يتصل خط السهم من إحدى نهايته بخط الإسناد مشكلا زاوية معه  
كما يمكن بشكل عام أن يكمل رأس السهم وفي حالات معينة  
يمكن إلغاؤه ووضع نقطة مكانه .



الشكل (30-3) موضع خط السهم

#### 4-4-30- موضع خط الإسناد :

يجب أن يكون الإسناد خطا مستقيما ويرسم موازيا للخط السفلي  
لمخطط الرسم .

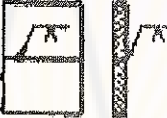
#### 5-4-30- موضع الرمز المتعلق بخط الإسناد :

يحدد موضع الرمز المتعلق بخط الإسناد بأسس مختلفة موضحة  
بالجدولين (30-4,5) المعتمدة على الطريقتين A , E المعطاة بنظام  
الـ (ISO/R-128) .

الجدول (4-30) موضع الرمز حسب الطريقة A

| وصف الموضع                                                                  | الرمز | التمثيل | التوضيح |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------|
| الرمز تحت خط الإسناد إذا كان السطح الخارجي للحام من جهة جانب السهم للوصلة   |       |         |         |
| الرمز فوق خط الإسناد إذا كان السطح الخارجي للحام من جهة الجانب الآخر للوصلة |       |         |         |
| الرمز يقطع خط الإسناد في حالة اللحامات بمستوى الوصلة                        |       |         |         |

الجدول (5-30) موضع الرمز حسب الطريقة E

| وصف الموضع                                                                  | الرمز                                                                              | التمثيل                                                                            | التوضيح                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| الرمز فوق خط الإسناد إذا كان السطح الخارجي للحام من جهة جانب السهم للوصلة   |   |   |   |
| الرمز تحت خط الإسناد إذا كان السطح الخارجي للحام من جهة الجانب الآخر للوصلة |   |   |   |
| الرمز يقطع خط الإسناد في حالة اللحامات بمستوى الوصلة                        |  |  |  |

ملاحظة : في حالة اللحامات النقطية المعمولة باللحام النتوي ( تحدث فيه نتوءات قبل عملية اللحام ) يعد سطح الإسقاط هو السطح الخارجي للحام .

5-30- أمثلة على كيفية استعمال الرموز :

تعطي الجداول من (6-30) إلى (10-30) أمثلة على كيفية استعمال  
الرموز حسب الطريقة A أو E وذلك حسب توضع المساقط :



الجدول (30-6) أمثلة على استعمال الرموز الأساسية

| الرقم | تصميم الرمز      | التوضيح | طريقة E |         | طريقة A |         |
|-------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|       |                  |         | التمثيل | الترميز | التمثيل | الترميز |
| 1     | شكائكية مزدوجة   |         |         |         |         |         |
| 2     | شكائكية واحدة    |         |         |         |         |         |
| 3     | شكائكية مربعة    |         |         |         |         |         |
| 4     |                  |         |         |         |         |         |
| 5     | شكائكية مع غلظرة |         |         |         |         |         |
| 6     | شكائكية مع غلظرة |         |         |         |         |         |
| 7     | شكائكية مع غلظرة |         |         |         |         |         |
| 8     | شكائكية مع غلظرة |         |         |         |         |         |
| 9     | شكائكية مع غلظرة |         |         |         |         |         |

الجدول (7-30): أمثلة عن رموز أساسية لوصلات لحام تحتوي عدة درزات مجتمعة

| الترقيم                                                                 | التوضيح | الترميز | طريقة E |         | طريقة A |         |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                                                         |         |         | التمثيل | الترميز | التمثيل | الترميز |
| وصلة دافكة مزدوجة<br>مع<br>وجود حمار للدرز من<br>الجهة<br>الأولى<br>1-1 |         |         |         |         |         |         |
| وصلة دافكة<br>2<br>1-1                                                  |         |         |         |         |         |         |
| وصلة دافكة<br>مشغولة<br>الحول بشكل<br>3<br>1-1                          |         |         |         |         |         |         |
| وصلة دافكة<br>مشغولة<br>الحول بشكل<br>4<br>1-1                          |         |         |         |         |         |         |
| وصلة دافكة مع<br>شمار الحول<br>5<br>1-1                                 |         |         |         |         |         |         |
| وصلة دافكة<br>مع شمار<br>الحول بشكل<br>6<br>1-1                         |         |         |         |         |         |         |
| وصلة دافكة مع<br>شمار الحول<br>7<br>1-1                                 |         |         |         |         |         |         |
| وصلة دافكة مع<br>شمار الحول<br>8<br>1-1                                 |         |         |         |         |         |         |
| وصلة دافكة مع<br>شمار الحول<br>9<br>1-1                                 |         |         |         |         |         |         |



تابع للجدول (30-7)

| الرقم | تصميم الرمز                                   | التوضيح | طريقة E |         | طريقة A |         |
|-------|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|       |                                               |         | التمثيل | الترميز | التمثيل | الترميز |
| 10    | وصلة لاصقة مع<br>شعرة بالزوايا بشكل<br>7-9    |         |         |         |         |         |
| 11    | وصلة لاصقة<br>بسطرة بالزوايا<br>بشكل 8-8      |         |         |         |         |         |
| 12    | لاصقة من الأسفل<br>بشكل 9-7<br>من الأسفل بشكل |         |         |         |         |         |
| 13    | وصلة زاوية<br>10-10                           |         |         |         |         |         |
| 14    | وصلة زاوية<br>10-10                           |         |         |         |         |         |

ملاحظة من المفضل تمثيل وصلات اللحام بمخططات منفصلة كما في

الجدول (30-8) : بالرغم من ان دمج عدة رموز مع بعضها البعض غير ممنوع

الجدول (30-8) مثال على كيفية تمثيل رمز اللحام بمخطط منفصل

| التوضيح | ترميز لا ينصح باستعماله | التمثيل الذي ينصح<br>باستعماله |
|---------|-------------------------|--------------------------------|
|         |                         |                                |

الجدول (9-30): أمثلة عن رموز أساسية و تكميلية لوصلات اللحام التي تحتوي عدة درزات مجتمعة

| الرقم | تصميم الرمز | التوضيح | طريقة E |         | طريقة A |         |
|-------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|       |             |         | التمثيل | الترميز | التمثيل | الترميز |
| 1     |             |         |         |         |         |         |
| 2     |             |         |         |         |         |         |
| 3     |             |         |         |         |         |         |
| 4     |             |         |         |         |         |         |
| 5     |             |         |         |         |         |         |
| 6     |             |         |         |         |         |         |
| 7     |             |         |         |         |         |         |

ملاحظة : لا يمكن استعمال الرمز في حالة عدم وصول السهم إلى الوصلة الملحومة .

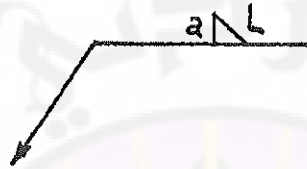
الجدول (10-30) : أمثلة عن حالات استثنائية لترميز اللحام . ( الصح والخطأ )

| الترتيب | التوضيح | طريقة E |                         | طريقة A |                         |
|---------|---------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|
|         |         | التمثيل | الترميز                 | التمثيل | الترميز                 |
| 1       |         |         | Impossible<br>Incorrect |         | Incorrect<br>Impossible |
| 2       |         |         | correct                 |         | correct                 |
| 3       |         |         | Impossible<br>Incorrect |         | Incorrect<br>Impossible |
| 4       |         |         | correct                 |         | correct                 |
| 5       |         |         | Impossible<br>Incorrect |         | Incorrect<br>Impossible |
| 6       |         |         | Impossible<br>correct   |         | correct<br>Impossible   |
| 7       |         |         | Incorrect               |         | Incorrect               |
| 8       |         |         | correct                 |         | correct                 |

## 6-30- أبعاد درزة اللحام على المخططات :

### 1-30-6- قوانين عامة :

تكتب أبعاد الدرزة اللحامية على المخططات كما هو موضح بالشكل ( 5-30 ) :



الشكل (5-30) : كتابة أبعاد درزات اللحام على المخططات

1- تكتب الأبعاد الرئيسة المتعلقة بالمقطع العرضي على يسار الرمز .

2- تكتب الأبعاد القطرية على يمين الرمز .

يبين الجدول (11-30) كيفية وضع أبعاد درزات اللحام . هذا ويمكننا توضيح الأبعاد ذات الأهمية القليلة إذا تطلب الأمر .

### 2-30-6- توضيح الأبعاد الرئيسة :

لا يظهر البعد الذي يحدد موضع اللحام بالنسبة لطرف الصفحة في تمثيل عملية اللحام ولكن يوضح على المخطط ملاحظات :

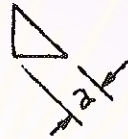
A. إذا كانت درزة اللحام مستمرة على طول قطعة التشغيل لا يلزم وضع أي بعد على يمين الرمز .

B. في غياب أي توضيح للسطح الخلفي فإن اللحامات التناكبية سوف تتغلغل بصورة كاملة .

C. عادة بالنسبة للحامات الزاوية عند استخدام طريقة A يكون البعد الموضح هو البعد Z وعند استخدام الطريقة E يكون البعد الموضح هو البعد a وفي حال عدم إتباع هذه الطريقة فإن الحرف a أو الحرف Z يجب أن يوضعا في مقدمة البعد المعتمد .



طريقة / A /



طريقة / E /

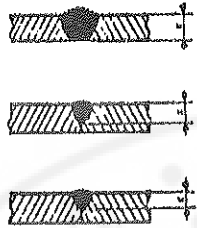
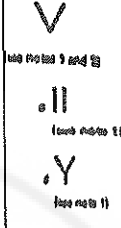
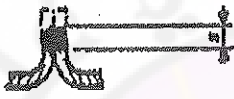
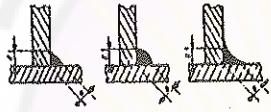
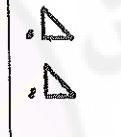
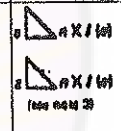
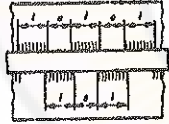
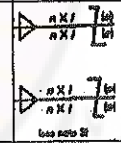
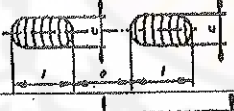
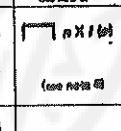
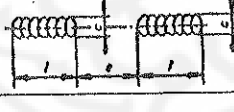
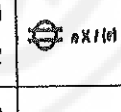
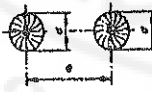
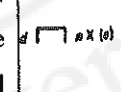
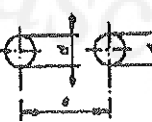
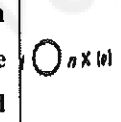
D. في حال اللحامات السدادية ذات الأطراف المائلة يجب أن يؤخذ البعد حتى قاع الثقب .

7-30- توضيحات إضافية :

يمكن استخدام توضيحات إضافية عند الحاجة لتحديد مواصفات لحامات معينة كما هو مبين في الأمثلة الآتية :

الجدول (11-30) : الأبعاد الرئيسية للدرزات اللحامية

الجدول (11-30) : الأبعاد الرئيسية للدرزات اللحامية

|   |                                                |                                                                                     |                                                                                                           |                                                                                      |
|---|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | لحام<br>تتاكبي                                 |    | S: المسافة الصغرى من سطح<br>القطعة الى قاع تغلق اللحام و التي<br>لا يمكن أن تكون اكبر من سماكة<br>القطعة. |    |
| 2 | لحام تتاكبي<br>لصفيحتين<br>ذات أطراف<br>مرتفعة |    | S: المسافة الصغرى من السطح<br>الخارجي الى قاع قطعة اللحام                                                 |    |
| 3 | لحام زاوي<br>مستمر                             |    | a- الارتفاع الاعظمي للمثلث<br>المتساوي الساقين<br>z- الضلع الاعظمي للمثلث<br>المتساوي الساقين             |    |
| 4 | لحام زاوي<br>متقطع                             |    | L: طول درزة اللحام<br>e: المسافة بين درزتي اللحام<br>n: عدد الدرزات                                       |    |
| 5 | سلسلة لحام<br>زاوي متقطع<br>شطرنجي             |  | انظر الملاحظة / 4<br>انظر الملاحظة / 3                                                                    |   |
| 6 | لحام تعبئة<br>سدادي                            |  | انظر الملاحظة / 4<br>C: عرض درزة اللحام                                                                   |  |
| 7 | لحام<br>تدريزي                                 |  | انظر الملاحظة / 4<br>C: عرض درزة اللحام                                                                   |  |
| 8 | لحام سدادي                                     |  | n: انظر الملاحظة / 4<br>e: البعد بين مركزي الدرزتين<br>d: قطر ثقب التعبئة                                 |  |
| 9 | لحام نقطي                                      |  | n: انظر الملاحظة / 4<br>e: بعد مركزي الدرزتين<br>d: قطر درزة النقطة                                       |  |

عندما يكون اللحام على محيط القطعة كاملاً يكون الرمز عبارة عن دائرة كما في الشكل (6-30) .

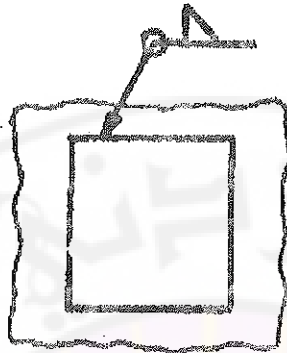


FIGURE 6

الشكل (6-30) : لحامات محيطية

2-30-7-30- لحامات في موقع التركيب :  
عند إجراء عمليات اللحام في موقع العمل يستخدم رمز الرؤية لتوضيح ذلك ، كما هو مبين في الشكل (7-30) .

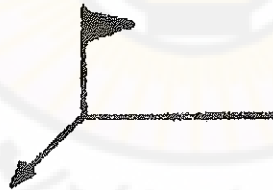


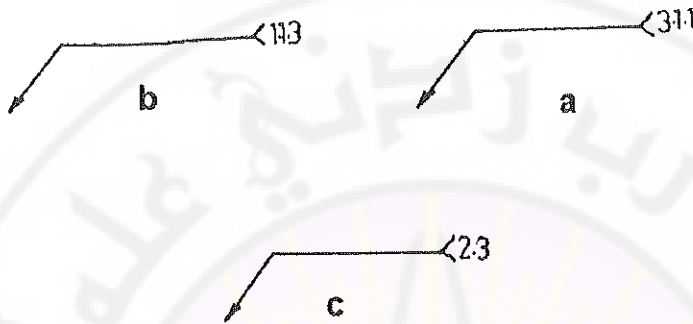
FIGURE 7

الشكل (7-30) : لحامات في موقع التركيب

3-30-7-30- توضيح طرائق اللحام :



عندما يتطلب توضيح طرائق اللحام برمز يكتب الرقم بين فرعي الشوكة المرسومة بنهاية خط الإسناد المنطلق من خط السهم .  
والشكل (30-8) يعطي توضيحا لذلك حيث نجد في :



الشكل (30-8): رمز طريقة اللحام

- الشكل (30.8.a) أن عملية اللحام هي عملية لحام بغاز الأكسجين والاسنتين .
  - الشكل (30.8.b) أن عملية اللحام هي عملية لحام بالقوس الكهربائي بسلك عار .
  - الشكل (30.8.c) أن عملية اللحام هي عملية لحام نتوئي .
- والجدول (30-12) يوضح رمز طرائق اللحام حسب النظام العالمي (ISO).



الجدول (30-12) طرائق اللحام وتمثيل رموزها على المخططات الفنية حسب  
النظام العالمي (ISO-4063-1978 EIF)

| الرقم | طرائق اللحام                                                                |                                                        |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1.    | Arc welding                                                                 | 1- لحام قوسي                                           |
| 1.1   | Metal – arc welding without gas protection                                  | - لحام بالقوس الكهربائي دون حماية بالغاز               |
| 1.1.1 | Metal -arc welding with covered electrode, shielded metal –arc welding(USA) | - لحام بالقوس الكهربائي بالكثود مغلف                   |
| 1.1.2 | Gravity arc welding with covered electrode                                  | - لحام قوسي بالجاذبية وبالكثود مغلف                    |
| 1.1.3 | Bare wire metal – arc welding                                               | - لحام بالقوس الكهربائي بسلك عار                       |
| 1.1.4 | Flux cored metal – arc welding ,flux cored arc welding (USA)                | - لحام بالقوس الكهربائي بقضيب لحام ذي قلب مصهور        |
| 1.1.5 | Coated wire metal – arc welding                                             | - لحام بالقوس الكهربائي بسلك مغلف                      |
| 1.1.8 | Firecracker welding                                                         | - لحام بسهم ناري مفرقع                                 |
| 1.2   | Submerged arc welding                                                       | - اللحام بالقوس المغمور (بمساعداات الصهر)<br>(الفلاكس) |
| 1.2.1 | Submerged arc welding with wire electrode                                   | - اللحام بالقوس المغمور باستخدام الكثود سلكي           |

|       |                                                            |                                                                    |
|-------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1.2.2 | Submerged arc welding with strip electrode                 | - اللحام بالقوس المغمور باستخدام الكترود شريطي                     |
| 1.3   | Gas shielded metal –arc welding                            | - لحام بالقوس الكهربائي المغلف بالغاز                              |
| 1.3.1 | MIG welding                                                | - لحام MIG                                                         |
| 1.3.5 | MAG welding metal arc welding with non – inert gas shield  | - لحام MAG (لحام بالقوس الكهربائي مغلف بغاز غير خامل)              |
| 1.3.6 | Flux cored metal – arc welding with non – inert gas shield | - لحام بالقوس الكهربائي بقضيب لحام ذي قلب مصهور مغلف بغاز غير خامل |
| 1.4   | Gas shielded welding with non consumable electrode         | - لحام غازي مغلف بقضيب غير مستنفذ                                  |
| 1.4.1 | TIG welding , gas tungsten arc welding (GTAW) (USA)        | - لحام TIG لحام قوسي باستخدام الكترود من التنغستين (CT4W) أمريكا   |
| 1.4.9 | Atomic – hydrogen welding                                  | - لحام بالهيدروجين الذري                                           |
| 1.5   | Plasma arc welding                                         | - لحام قوسي بالغاز المؤين (البلازما)                               |
| 1.8   | Other arc welding processes                                | - عمليات لحام أخرى بالقوس الكهربائي                                |

|       |                                                 |                                                 |
|-------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1.8.1 | Carbon – arc welding                            | - لحام قوسي باستخدام<br>الكثود من الجرافيت      |
| 1.8.5 | Rotating arc welding                            | - لحام قوسي دوراني<br>متعاقب                    |
| 2     | Resistance welding                              | ٢- لحام مقاومة                                  |
| 2. 1  | Spot welding , resistance<br>spot welding (USA) | لحام نقطي (لحام مقاومة<br>نقطي)                 |
| 2.2   | Seam welding resistance<br>seam welding (USA)   | لحام تدريزي (لحام<br>مقاومة تدريزي)             |
| 2.2.1 | Lab seam welding                                | - لحام تدريزي لوصلة<br>تراكبية                  |
| 2.2.5 | Seam welding with stripe                        | لحام تدريزي متقطع                               |
| 2.3   | Projection welding                              | لحام نتؤي (تحدث فيه<br>نتوءات قبل عملية اللحام) |
| 2.4   | Flash welding                                   | لحام وميضي                                      |
| 2.5   | Resistance butt welding<br>upset welding (USA)  | لحام مقاومة تناكبي                              |
| 2.9   | Other resistance welding<br>processes           | - عمليات أخرى للحام<br>المقاومة                 |
| 2.9.1 | HF resistance welding                           | - لحام مقاومة HF                                |
| 3     | Gas welding                                     | ٣- اللحام بالغاز                                |
| 3.1   | Oxy – fuel welding                              | اللحام بغاز الأكسجين<br>والوقود                 |
| 3.1.1 | Oxy – acetylene welding                         | اللحام بغاز الأكسجين                            |

|       |                                                   |                                     |
|-------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|
|       |                                                   | و الأستيلين                         |
| 3.1.2 | Oxy – propane welding                             | - اللحام بغازي الأكسجين والبروبان   |
| 3.1.3 | Oxy – hydrogen welding                            | - اللحام بغازي الأكسجين والهيدروجين |
| 3.2   | Air – fuel gas welding                            | اللحام بالوقود والهواء              |
| 3.2.1 | Air – acetylene welding                           | - اللحام بغاز الأستيلين و الهواء    |
| 3.2.2 | Air propane welding                               | - اللحام بغاز البروبان والهواء      |
| 4     | Pressure welding                                  | ٤- لحام بالضغط                      |
| 4.1   | Ultrasonic welding                                | - لحام بالأمواج فوق الصوتية         |
| 4.2   | Friction welding                                  | لحام بالاحتكاك                      |
| 4.3   | Forge welding                                     | - لحام بالحرارة والتطريق            |
| 4.4   | Welding by high mechanical energy                 | - لحام بطاقة ميكانيكية عالية        |
| 4.4.1 | Explosive welding, explosive welding (USAS)       | - لحام بالانفجار                    |
| 4.5   | Diffusion welding                                 | - لحام بالانتشار                    |
| 4.7   | Gas pressure welding , pressure gas welding (USA) | - لحام بالغاز و الضغط               |
| 4.8   | Cold welding , cold pressure welding (USA)        | - لحام على البارد                   |

|       |                                       |                                                        |
|-------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 7     | Other welding processes               | ٥- عمليات لحام أخرى                                    |
| 7.1   | Thermit welding                       | - لحام بالترميت                                        |
| 7.2   | Electroslag welding                   | - اللحام الكهربائي الخبثي                              |
| 7.3   | Electrogas welding                    | - اللحام الكهربائي مع استخدام الغاز                    |
| 7.4   | Induction welding                     | - لحام بتيار حثي                                       |
| 7.5   | Light radiation welding               | - اللحام بطاقة الإشعاع الضوئي                          |
| 7.5.1 | Laser welding                         | - لحام بالليزر                                         |
| 7.5.2 | Arc image welding                     | - لحام قوسي بالطيف                                     |
| 7.5.3 | Infrared welding                      | - لحام بالأشعة تحت الحمراء                             |
| 7.6   | Electron beam welding                 | - لحام بالحزمة الإلكترونية                             |
| 7.7   | Percussion welding                    | - لحام صدمي (بالمقامة)                                 |
| 7.8   | Stud welding                          | - لحام نتوي                                            |
| 7.8.1 | Arc stud welding                      | - لحام قوسي نتوي                                       |
| 7.8.2 | Resistance stud welding               | - لحام مقاومة نتوي                                     |
| 9     | Brazing – soldering and braze welding | ٦- لحام بالنحاس الأصفر - لحام بالقصدير واللحام بالنحاس |
| 9.1   | brazing                               | - لحام بالنحاس الأصفر                                  |
| 9.1.1 | Infrared brazing                      | - لحام بالنحاس الأصفر                                  |

|        |                               |                                          |
|--------|-------------------------------|------------------------------------------|
| 9.5.1  | Flow soldering                | - لحام بالقصدير بواسطة التدفق            |
| 9.5. 2 | Soldering with soldering iron | - لحام بالقصدير بكاوية لحام (حديدية)     |
| 9.5.3  | Friction soldering            | - لحام بالقصدير بواسطة الاحتكاك          |
| 9.5.4  | Vacuum soldering              | - لحام بالقصدير بواسطة التفريغ (التخلخل) |
| 9.6    | Other soldering processes     | - عمليات لحام أخرى بواسطة القصدير        |
| 9.7    | Braze welding                 | - لحام بالنحاس                           |
| 9.7.1  | Gas braze welding             | - لحام بالنحاس بواسطة الغاز              |
| 9.7.2  | Arc braze welding             | - لحام بالنحاس بواسطة القوس الكهربائي    |

# **الفصل الحادي والثلاثون**

## **اختبار جودة اللحام**

- 1- اختبار جودة المعادن والكترودات اللحام
- 2- اختبار مهارة عمال اللحام
- 3- اختبار تشكيل القطع وتجميعها
- 4- اختبار جودة الوصلات اللحامية بالطرق العادية
- 5- الاختبارات اللاإتلافية لدرجات اللحام

- 3 - اختبار الوصلات بأشعة رونتجن أو أشعة غاما.
  - 4 - اختبار الوصلات بالأمواج فوق الصوتية.
  - 5 - اختبار الوصلات اللحامية بالإشعاع الضوئي وبالطريقة الميكانيكية.
- يتم اختيار نوع مراقبة جودة درزات اللحام و وصلاته وفقاً لمجال استخدام القطعة والشروط الفنية المطلوبة.

### 1-31- اختبار جودة المعدن الأساسي المخصص للتصنيع:

- يجب أن تتوافق جودة المعدن الأساسي مع الخواص المذكورة في شهادة منشأ المعدن التي يرسلها المصنع المنتج. وأهم ما يكتب في شهادة المنشأ للمعدن:
- الماركة والتركيب الكيميائي و الخواص الميكانيكية للفولاذ .
  - اسم المصنع المنتج.
  - رقم السكبة .
  - المقاطع المصنعة وأبعادها.
  - نتائج جميع الاختبارات المنفذة على المعدن المصدر حسب المعايير.
  - رقم المعيار (النورم) لماركة الفولاذ.
  - يسمح باستعمال الفولاذ المستورد في حال عدم وجود شهادة المنشأ للمعدن فقط بعد تنفيذ الاختبارات الدقيقة الآتية :
- 1- ضرورة إجراء الفحص الخارجي للمعدن (عدم وجود الصدأ أو التشققات وغيرها من العيوب).
  - 2- اختبار المعدن على قابلية اللحام.
  - 3- تحديد الخواص الميكانيكية والتركيب الكيميائي للمعدن.

### 2 - 31 - اختبار جودة الالكترودات :



يمنع استعمال الالكتروودات التي لا تحوي شهادة منشأ (صلاحية) عند لحام المنشآت المعدنية، ومن الممكن استعمالها فقط بعد إجراء أهم الاختبارات التالية على الالكتروودات :

- (a) متانة طبقة التغطية للالكتروودات .
- (b) خواص اللحام بالالكتروودات المختبرة ويتم ذلك بتحديد الخواص الميكانيكية لدرزة لحامية منفذة على عينات اختبار
- (c) يجب أن يكون الشكل الخارجي للالكتروود متوافق مع متطلبات المواصفات القياسية وأن تكون طبقة الإلكتروود متينة ومتراصة ولا تحتوي على فقاعات أو تشققات أو نقور أو انتفاخات .

### 31-3 - اختبار مهارة عمال اللحام:

يختبر عمال اللحام من قبل لجنة فنية مختصة إذ تقوم هذه اللجنة بالسماح للعمال بتنفيذ أعمال مهمة و بعدها تقوم اللجنة بتقييم العمل المنفذ من قبل العامل ويختبر أيضا بالمعلومات النظرية الهامة ، وبعد هذا الاختبار تحدد اللجنة درجة الخبرة ومهارة العامل .

قبل السماح للعامل في تنفيذ الأعمال الهامة يجب عليه الحصول على وثيقة تثبت بأنة اجتاز امتحان في قواعد الأمن الصناعي المتعلقة باختصاصه . ويجب أن تكون هذه الوثيقة مصدقة من قبل لجنة الإشراف الفني.

بعد اجتياز العامل هذه الفحوص بشكل جيد يقوم المصنع بمنح العامل وثيقة مصدقة تؤهله بتنفيذ أعمال اللحام المهمة و يكتب في الوثيقة الممنوحة لعامل اللحام أنواع التصاميم والمنشآت التي يمكن أن يقوم بإنجازها هذا العامل . ومن الضروري إخضاع جميع عمال اللحام التي تقوم بتنفيذ أعمال هامه إلى اختبارات عملية و نظرية مرة في كل سنة .

#### 4- 13 اختبار القطع :

قبل إنجاز عملية اللحام من الضروري اختبار :

- A. نظافة سطح معدن القطعة .
- B. الأبعاد الطولية حسب المخططات التصميمية .
- C. جودة تحضير الحواف و الزوايا للقطع حسب المخططات ، والجداول التي توضح ذلك .

يؤثر وجود العيوب في القطع الملحومة في جودة اللحام وإنتاجيته .  
ومثالاً على ذلك : تؤدي زيادة شنفرة الحواف للقطع المراد لحامها إلى زيادة كل من كمية معدن التعبئة ، وزمن اللحام واستهلاك الطاقة الكهربائية و الإلكتروودات ، وعدا ذلك سيزداد تشوه وصلة اللحام بشكل قوي بعد اللحام .

#### 5 - 31 اختبار جميع القطع:

أهم الاختبارات التي تتم عندما تكون القطع أو الوصلات مجمعة :

- a. الخلوص بين حواف القطع المراد لحامها حسب المخططات أو الجداول الخاصة بذلك ، فمثلاً إذا لم يوجد خلوص بين حافتي القطعتين المراد لحامهما أو كان الخلوص صغيراً بين هاتين الحافتين ، فإن ذلك سيؤدي إلى عدم تحقيق لحام لجذر الدرزة ، أما إذا كانت قيمة الخلوص كبيرة سيؤدي إلى ازدياد حجم عمل اللحام .
- b. تقاس شنفرة الحواف للقطع والخلوص بين حواف القطع المراد لحامها بواسطة أجهزة قياس عيارية خاصة .

## 6-31- اختبار جودة اللحام في القطع الجاهزة :

### 1-6-31- الفحص الخارجي وقياس أبعاد الذرة :

يتم تدقيق وكشف عدم توافق الذرة مع الأبعاد الهندسية و عدم التحام معدن الالكترود مع المعدن الأصلي ، و وجود فقاعات أو تشققات أو نقور و غيرها من العيوب الخارجية في الذرة للحامية بواسطة الفحص الخارجي و يوضح الشكل (1-31) أهم العيوب الخارجية للذرة اللحام . و يجب أن تتوافق أبعاد درزات اللحام مع الأبعاد المذكورة في مخطط الوصلة ، ولا يسمح بإجراء أي تعديل في الأبعاد الحقيقية للذرة أو تغييرها بمقارنتها مع الأبعاد الاسمية إلا من قبل المصمم أو المهندس المسؤول .

يوضح الشكل (a-2-31) طبة اختباريه لنذبة لحامية ، ويتم إجراء هذه النذبة للحامية على صفيحة معدنية لها أبعاد مطابقة لأبعاد الوصلة أما الشكل b) (2-31) فيوضح جهاز قياس عمومي مع مدرج (مسطرة) يستخدم لتحديد طول ضلع الذرة الزاوية ، وقيمة التقوية في الذرة التناكبية ، ومن الممكن استعمال هذا الجهاز لاختبار تحضير القطع قبل اللحام

### 2-6-31 طرائق اختبار كثافة درزات اللحام :

يجب إخضاع أنابيب نقل الماء أو الزيوت أو الوقود أو الغازات والمراجل البخارية ... الخ إلى اختبارات على الكثافة و هناك طرق عدة من أجل اختبار كثافة درزات اللحام وأهمها :

أولا : الاختبار الهيدروليكي :

تتم عملية الاختبار على الشكل التالي : تشكل ضغطا متخلخلا في الوعاء بعد تعبئته بالماء بوساطة مضخة أو قلب هيدروليكي ، ويكون الضغط عند الاختبار عادة أكثر من الضغط العامل بحدود (1,5÷2) مره . ويتم تحديد قيمة الضغط بموجب عداد ضغط مختبر . ويجب ترك الوعاء المراد اختبار له لمدة (5)

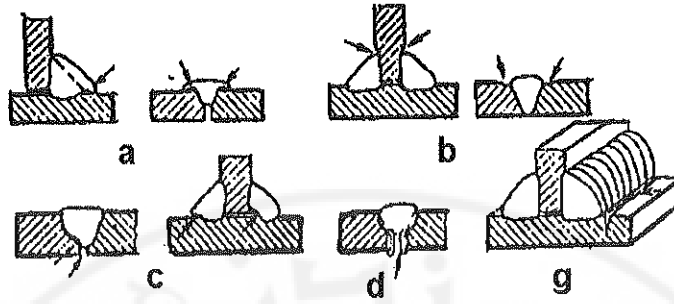
10-دقائق) تحت الضغط ، وخلال هذه المدة ، يجب فحص الدرزات للتأكد من عدم حدوث تسرب الماء أو التعرق . و من أجل تنفيذ الاختبارات الهيدروليكية ليس من الضروري استعمال الماء فقط ، وإنما من الممكن استعمال زيت الطائرات أو محروقات الديزل عند اختبار كثافة درزات خزانات الوقود والأنابيب .

#### ثانيا : الاختبار الهوائي :

عند استخدام طريقة الاختبار بالهواء ، يجب توصيل الغاز المضغوط (الهواء أو الآزوت أو الغازات الخاملة أو الأبخرة ) إلى الوعاء المراد اختباره ويتم عملية الاختبار على النحو التالي :

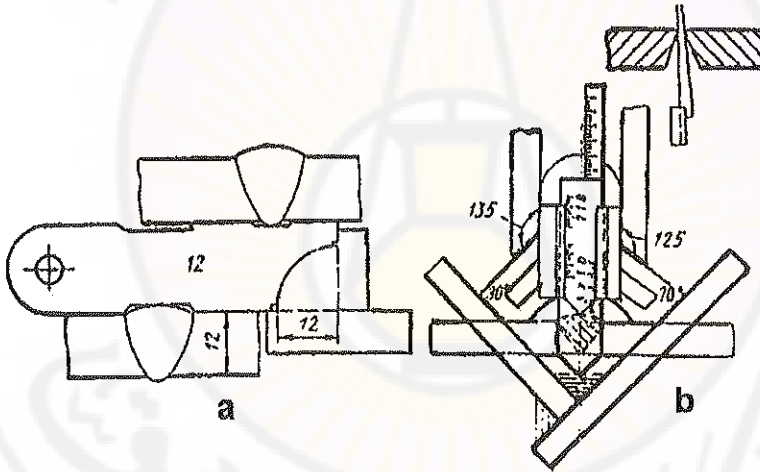
نضع الوعاء في حوض ماء وبعدها يتم اكتشاف مكان العيوب عن طريق خروج الفقاعات الغازية من الدرزة اللحامية .

وفي حال خروج فقاعات تُعد درزة اللحام غير متراصة أو غير كثيفة وتكون هذه الدرزات بحاجة لمعالجة . ويتم اختبار الخزانات أو أنابيب النقل الملحومة ذات الحجوم الكبيرة بواسطة دهن درزات اللحام برغوة محلول الصابون المائي وهو الأكثر استعمالا في تحديد العيوب ، ويفضل استعمال مزيج محلول الصابون مع الغليسيرين أو الزيت الكتاني من أجل إنجاز عملية الاختبار



الشكل (31-1): العيوب الخارجية لدرزة اللحام

- a- انتشار المعدن المنصهر دون التحامه مع المعدن الأساسي  
b- حدوث تجويف في المعدن الأساسي . c- عدم انصهار حواف القطع  
بشكل كامل d - تخزين المعدن . g- تشكل شقوق في المعدن الأساسي



الشكل (31-2) مقاييس مخصصة لقياس أبعاد درزات اللحام

- a- طبعة (شيلون) . b- جهاز عمومي .

ثالثاً : الاختبار بالكبروسين :

تُبنى هذه الطريقة على ظاهرة الأوعية الشعرية التي ترتفع فيها معظم السوائل والكبروسين إلى الأعلى وتتم عملية الاختبار كما يأتي : نرطب جهة واحدة من الدرزة التناكبية بمحلول الصابون وبعد تجفيف المحلول نرطب الجهة الثانية

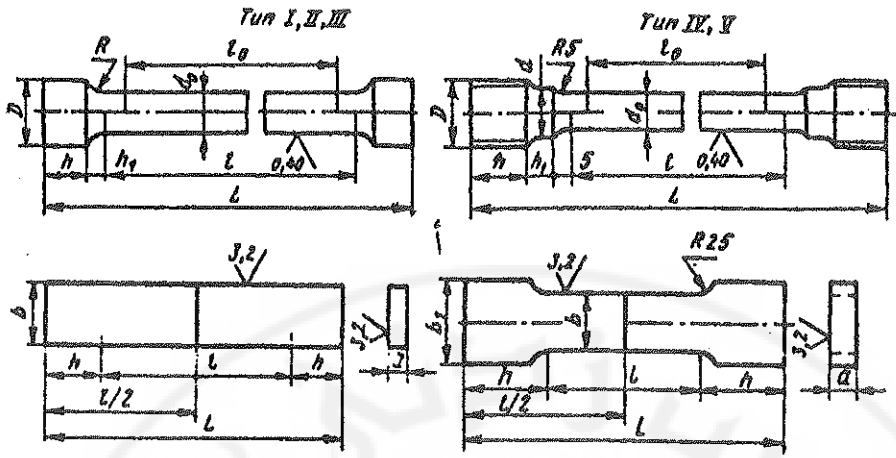
بالكبروسين ، وللكبروسين خاصة التغلغل في المسامات لذلك ، فإذا وجد الترشيح على شكل بقعة شديدة اللون من الجهة الأخرى فهناك يكون مكان العيوب .

ويتعلق زمن ترطيب القطعة بالكبروسين بالسماكة ، أي كلما كانت السماكة كبيرة ودرجة حرارة الهواء قليلة ، كلما كان زمن الترطيب أطول  
رابعاً : الاختبار بغاز النشادر :

نغطي درزات اللحام المراد اختبارها بشريط ورقي أو بشريط من الشاش ويجب أن يكون مشبعاً بمحلول حمض الآزوت الزئبقي أو الفينونفتالين . نضع في المنتج هواء حتى الضغط المحدود ، وبنفس الوقت نوصل كمية قليلة من غاز النشادر وعندها يترك الغاز بقعا سوداء على الورقة المشبعة بمحلول حمض الآزوت الزئبقي بعد مروره عبر الدرزات المتواجد بها عيوب ، ويكون لون البقع أحمر. إذا كانت الورقة مشبعة بمحلول الفينونفتالين .

#### 7-31- الاختبارات الميكانيكية لدرزات اللحام والقطع الجاهزة :

تتعلق الخواص الميكانيكية لدرزات اللحام والقطع الجاهزة بكل من التركيب الكيميائي ، وبنية معدن التعبئة ، وأنظمة اللحام ، ووجود العيوب في معدن الدرزة ، عند اختبار الخواص الميكانيكية لمعدن الدرزة من الضروري تحديد الخواص الميكانيكية لوصلة اللحام كاملاً في معظم الحالات أيضاً ، عند ذلك يجب مقارنة متانة معدن الدرزة مع متانة المعدن الأساس ومعدن منطقة التأثر الحراري .



الشكل (31-3) : أشكال النماذج من أجل اختبار وصلات اللحام :

a- عينة للشد الستاتيكي لمختلف الأقطار والأقسام لوصلات اللحام.

b- عينة للشد الستاتيكي لدرزة اللحام على صفائح بسماكات مختلفة.

تعد منطقة التعبئة عادة هي المكان الأضعف لوصلة اللحام ، ومن أجل اختبار كفاءة عمال اللحام من الضروري اختبار الوصلات التناكبية المنفذة من قبلهم على الشد والثني، ومن الضروري أيضا تحديد عينات اختبارية عند لحام القطع الهامة و تعد نتائج الاختبار هي القيم الحقيقية لجودة اللحام تتعلق خصائص الاختبارات الميكانيكية للعينة بنوعية الحمولة التي تتحملها وصلة اللحام أثناء الاستثمار . ويمكن أن تكون عملية الاختبار حسب الشروط الاستثمارية :

(a) ستاتيكية (بحمولات ثابتة أو بطيئة)

(b) ديناميكية (بحمولات صدمية)

(c) اهتزازية (أي معرضة لاهتزازات )

يتم اختبار المعادن لمختلف أقسام وصلات اللحام على الشد الستاتيكي بواسطة عينات قياسية وعند ذلك تحدد :

- حد الخضوع  $\sigma_T$  ومقاومة الشدة  $\sigma_b$

-- الاستطالة النسبية بعد انهيار العينة المختبرة ( $\epsilon$ )

- النقص النسبي للمقطع بعد الانهيار ( $\psi$ )

تتضمن أغلب المواصفات القياسية العالمية دراسة خمسة نماذج لعينات الاختبار ونستعمل جميع هذه النماذج لاختبار جميع البنود المذكورة أعلاه بدرجات حرارة عادية أو منخفضة ونستعرض أهمها .

يجب أن تتوافق أشكال النماذج وأبعادها مع الأبعاد المذكورة في الشكل (61-3.a) ، والجدول (31-1) وتستعمل النماذج (IV, V) للاختبارات بدرجات الحرارة العادية .

يتم اختيار وصلات اللحام على الشد حسب العينات والأشكال والأبعاد المعطاة في الشكل (31-3 .b) والجدول (31-2) للصفائح ويجب إزالة تقوية درزة اللحام حتى مستوى المعدن الأساس .

الجدول (31-1) أبعاد العينات ذات المقطع الدائري من أجل المعدن لمختلف أقسام وصلة اللحام انظر الشكل (31-3.a)

| طراز العينة | do     | d | K*   | D  | h  | h <sub>1</sub> | R   | L <sub>0</sub> | L  | L <sub>1</sub> |
|-------------|--------|---|------|----|----|----------------|-----|----------------|----|----------------|
| I           | 3±0,1  | - | 0,03 | 6  | 4  | 2              | 1   | 15             | 18 | 16             |
| II          | 6±0,1  | - | 0,03 | 12 | 10 | 2,5            | 1,5 | 30             | 36 | 36             |
| III         | 10±0,2 | - | 0,04 | 16 | 10 | 3              | 3   | 50             | 60 | 60             |
| IV          | 6±0,1  | - | 0,03 | 12 | 15 | 5              | -   | 30             | 36 | 36             |
| V           | 10±0,2 | - | 0,04 | 16 | 15 | 5              | -   | 50             | 50 | 60             |

K\*- الفرق المسموح به للأقطار الكبير والصغير على طول الأقسام العاملة للعينة .



ملاحظة : يسمح بزيادة قطر رأس العينة .

الجدول (31-2) أبعاد العينات الاختبار وصلات اللحم على الشد السناتيكي  
الجدول (31-2) أبعاد عينات الاختبار الصفائحية - انظر الشكل (31-3b)

| سماكة المعدن (a)<br>(mm) | عرض الأقسام<br>العامة للعينة<br>mm(b) | عرض أقسام<br>القبض للعينة<br>mm(b <sub>1</sub> ) | طول الأقسام العاملة (L)<br>mm ( |
|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| حتى 0,6                  | 15±0,5                                | 25                                               | 50                              |
| أكثر من 0,6 الى 10       | 20±0,5                                | 30                                               | 60                              |
| أكثر من 10 حتى 25        | 25±0,5                                | 35                                               | 100                             |
| أكثر من 25 حتى 50        | 30±0,5                                | 42                                               | 160                             |
| أكثر من 50 حتى 70        | 35±0,5                                | 45                                               | 200                             |

ملاحظات

A. الطول العام للعينة يساوي :  $L_1 = L_0 + 2h$  ، ويتم توزيع طول أقسام

القبض للعينة (b) وفقا لتصميم آلة الاختبار .

B. تحدد أبعاد العينة عندما تكون السماكة أكثر من ٧٥ مم حسب الشروط الفنية .

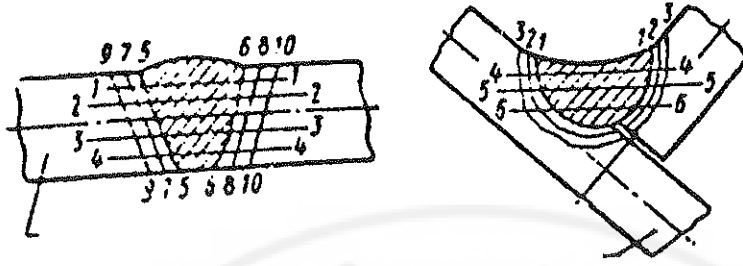
يعطي اختبار العينات على الثني توضيحا عن الخواص المرنة للوصلات  
للحامية التناكبية ، كما يوضح الشكل (31-4). مخطط وشكل اختبار العينات  
على الثني . ويتم توزيع الحمولة بانتظام حتى ظهور التشققات الأولى ، وتعد  
زاوية الثني حتى ظهور التشققات بدليل على الخواص المرنة لوصلة اللحم .

- تيم تحديد حد المتانة عند اختبار هذه العينات حسب المعادلة التالية :

$$\sigma_b = K \frac{P}{F}$$

حيث  $\sigma_b$  حد المتانة (باسكال) . K- عامل التصحيح

p- القوة العظمى (نيوتن). F- مساحة المقطع العرضي للعينة ( $mm^2$ )



## مكان الترميز مكان الترميز

الشكل (6-31) مخططات قياس القساوة

يتم قياس القساوة في نقاط تقاطع الخطوط من  $10 \div 1$

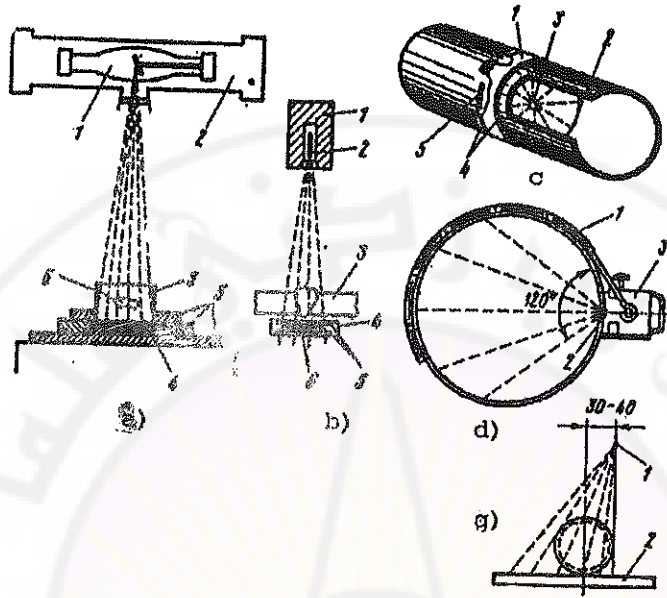
### 31-8 - الاختبارات اللاإتلافية لدرجات اللحام :

يكشف عن العيوب الداخلية المتواجدة في كل جزء من أجزاء المنتج و تحديد طبيعة هذه العيوب و أسباب نشوئها خلال جميع مراحل العملية الإنتاجية و أثناء مراحل الخدمة ، دون إحداث أي تشوه أو تغيير في شكل وبنية هذه الأجزاء بتطبيق الاختبارات اللاإتلافية ، إذ تم تطوير هذه الاختبارات لتتواءم مع التطور السريع في الصناعات المتعددة الأمر الذي سمح لهذه الاختبارات بإشغال مكان مهم جدا في الصناعة . و سنستعرض أهم هذه الطرائق :

#### 1-31-8 - الفحص باستخدام الأشعة

يساعد استخدام الأشعة بالكشف عن العيوب الداخلية كالشقوق ، البؤر الغازية ، الحبيسات الخبيثة وغيرها ويتم استخدامها من أجل فحص القطع والمنشآت ذات المسؤولية العالية (الأوعية التي تعمل تحت تأثير ضغط عال) والأشعة المستخدمة لهذه الغاية إما أشعة X أو أشعة غاما ولهذه الأشعة القدرة على اختراق المعدن والتأثير على فيلم تصوير خاص يوضع من الجهة الأخرى للنسبة للحامية في أثناء اختراق الأشعة للمعدن يكون امتصاص المعدن للأشعة أقل في مناطق العيوب مما يظهر على فيلم التصوير على شكل بقع عاتمة عند

إظهاره ، وتختلف نسب الأطوال المعرضة للأشعة حسب مسؤولية المنشأة إلى أن تصل هذه التغطية إلى 100% من طول الندبة . انظر الشكل (7-31)



الشكل (7-31) شكل تخطيطي لتصوير الدرزات اللحامية .

- A- بأشعة اكس : 1- أنبوب رونجن . 2- غلاف ذو غشاء رصاصي . 3- المعدن المعرض للأشعة . 4- فيلم في كاسيت . 5- صفائح رصاصية
- B - التصوير بأشعة غاما . 1- غلاف رصاصي . 2- عبوة تحوي مادة نشطة إشعاعيا . 3- الوصلة اللحامية . 4- كاسيت يحوي على الفيلم . 5- شاشات حماية . 6- الفيلم
- C- تصوير الأنابيب الملحومة بأقطار كبيرة .
- D- تصوير الأنابيب بأقطار مهما كانت .
- E- تصوير الأنابيب ذات الأقطار الصغيرة .

وتفحص الدرزات في الوصلات التقابلية بتسليط الأشعة بشكل عامودي على محور الدرزة ، أما الدرزات الزاوية ودرزات الوصلات التراكبية

فتسلط عليها الأشعة بزاوية 45°، ولإجراء تقييم شامل عن مدى صلاحية الوصلات فلا بد من المقارنة بين العيوب المكشوفة بوساطة الأشعة والشروط الفنية والمواصفات الموضوعية تبعاً لأهمية القطع والمنشآت .

## 2-8-31- الطريقة المغناطيسية :

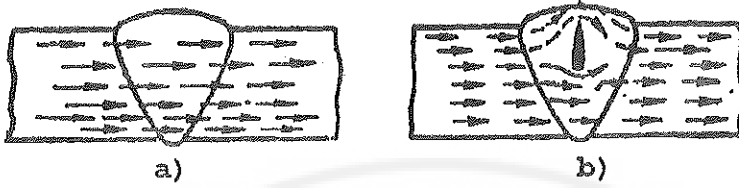
تعتمد هذه الطريقة على تغيّر اتجاه خطوط التدفق المغناطيسي حول مكان توضع العيوب حيث تتحرف هذه الخطوط نتيجة تغيير الخواص المغناطيسية للمكان الذي يوجد فيه العيب بالمقارنة مع خواص المعدن الملحوم ، الشكل (8-31) ولتحديد مكان توضع العيوب يتم إتباع ما يلي :

1- باستخدام بودرة جافة من أكاسيد الحديد المسحوقة يتم نثرها على سطح السندبة بعدها يتم مغنطة المعدن بالتيار المستمر أو المتناوب الذي يمر من خلال وشيعة ملفوفة حول القطعة المفحوصة . نتيجة التأثير المغناطيسي للتيار تتجمع البودرة بكثافة في منطقة العيوب ، ونظراً لأن الخطوط المغناطيسية لا تظهر إلا العيوب التي تقع عامودية على الخطوط المغناطيسية فإن الوشيعة تلف على القطعة مرة باتجاه الطول ومرة بالعرض .

وكمثال على الأجهزة المستخدمة لهذه الغاية انظر الشكل (9-31)

حيث يبين الرسم التخطيطي لأحد هذه الأجهزة حيث يوضح المجس (1) فوق مكان العيب الذي يتحرض بداخله التيار الذي يتم تكبيره في مكبر خاص لهذه الغاية (2)

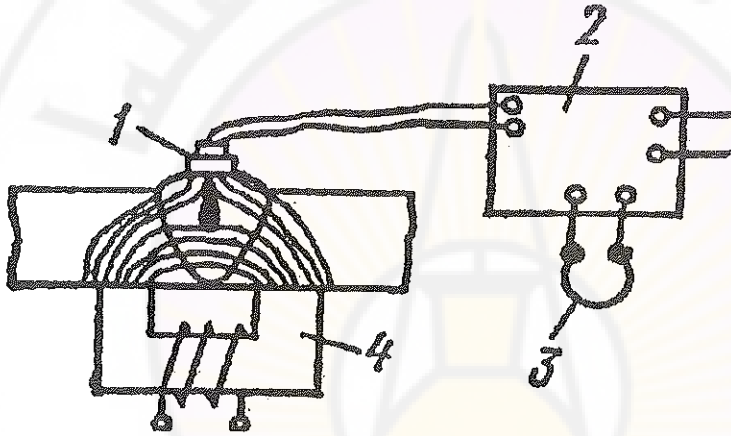
ويعطي إشارة صوتية في التالفون (3) في الوقت نفس تضاء لمبة الإشارة بهذه الطريقة يتم اختبار المنشآت الفولاذية والمصنوعة من الفونت ذات السماكات التي تصل حتى المتوسط والحاوية على مختلف العيوب الداخلية



الشكل (31-8) اتجاه خطوط التدفق المغناطيسي عند اختراقها الندبة اللحامية .

A- من دون وجود عيب

b- عند وجود عيب بداخل معدن الندبة

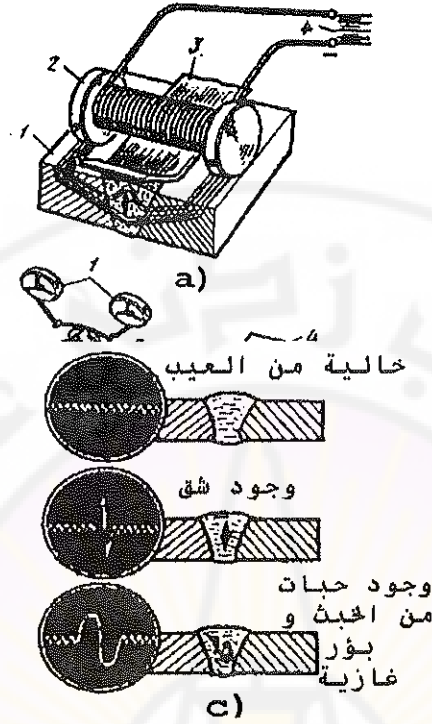


الشكل (31-9) فحص الندبة اللحامية بواسطة الجهاز ذي السماعة :

1-المجس . 2- مكبر إشارة . 3- سماعة صوتية 4- وشيعة توليد المجال

المغناطيسي

2 - الطريقة المغناطيسية البيانية : تستخدم هذه الطريقة لفحص الدرزات اللحامية للأنابيب وتعتمد هذه الطريقة على فكرة أن عدم التجانس بين مكان توضع العيب والمعدن الملحوم يؤدي إلى اختلاف نفوذية المغناطيسية ، ومن خلال تحويل ذلك إلى إشارات كهربائية ترسم على شاشة مكبر إشارة يظهر الاختلاف على الشاشة كما يوضح الشكل (31-10)

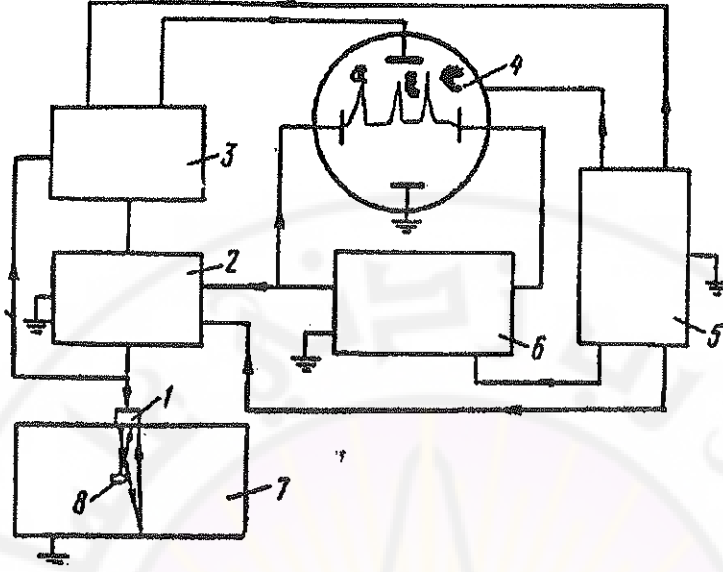


الشكل (10-31) الطريقة المغناطيسية ذات جهاز الإشارة

A-جهاز التشغيل: 1- القطعة 2- وشيعة كهروطيسية 3- بكرة ممغنطة 4- منبع التيار . B- المعالج 1- شريط التسجيل 2- مستقبل 3- مكبرات إشارة 4 - راسم إشارة C- أشكال المنحنيات عند عدم وجود عيب أو عند ظهور بعض العيوب

### 3-8-31- الفحص بالأمواج فوق الصوتية :

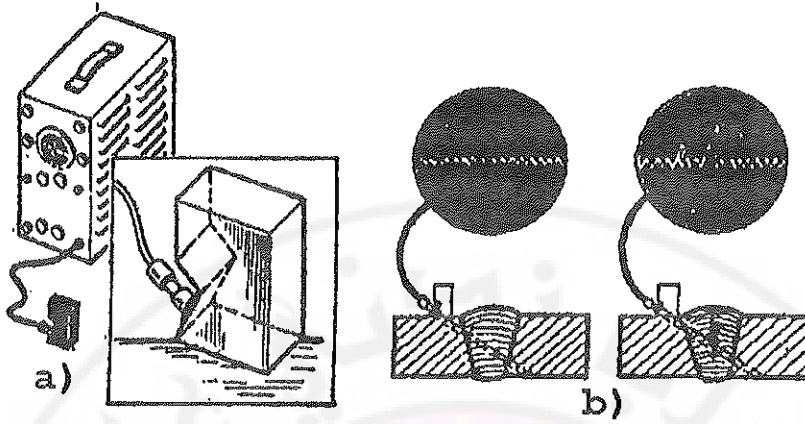
تعتمد هذه الطريقة على استخدام الموجات ذات الترددات العالية التي يزيد ترددها عن 20000 Hz والتي لا يمكن لأذن الإنسان سماعها . هذه الموجات تخترق معدن الدرزة وتنعكس عن سطح راسم الإشارة حيث تظهر البؤر الغازية والشقوق والعيوب الأخرى . كما يوضح الشكل (11-31) .



الشكل (31-11) مخطط الفحص بالأمواج فوق الصوتية  
(a,b,c) - الإشارات الظاهرة على الشاشة .

- 1- مجس مع مرسل 2- مولد اهتزازات 3- مكبر إشارة 4- راسم إشارة 5
  - منبع التيار 6- المعالج 7- القطعة المفحوصة 8- العيب داخل القطعة
- باستخدام هذا الجهاز يتم إرسال الموجات عالية التردد من خلال مرسل (1) تخترق المعدن وتنعكس عن السطح المقابل مشكلة سلسلة من الانعكاسات المتتالية تظهر على الشاشة لتظهر فيما بينها مسافات متساوية و عند وجود العيب على عمق معين من سطح القطعة التي يجري فحصها نلاحظ إشارة مختلفة عن الاثنين المتتاليين المتشابهتين a,c وهي الإشارة b الذي يدل موقعها على الشاشة المدرجة على عمق وجود العيب داخل القطعة. ويمثل الشكل (31-12) أحد أنواع الأجهزة المستخدمة للكشف عن العيوب الداخلية بهذه الطريقة .





الشكل (31-12) المظهر العام لجهاز كشف العيوب بالموجات فوق الصوتية (a)،

b - الشكل اليساري عند عدم وجود عيب واليميني عند وجود العيب .

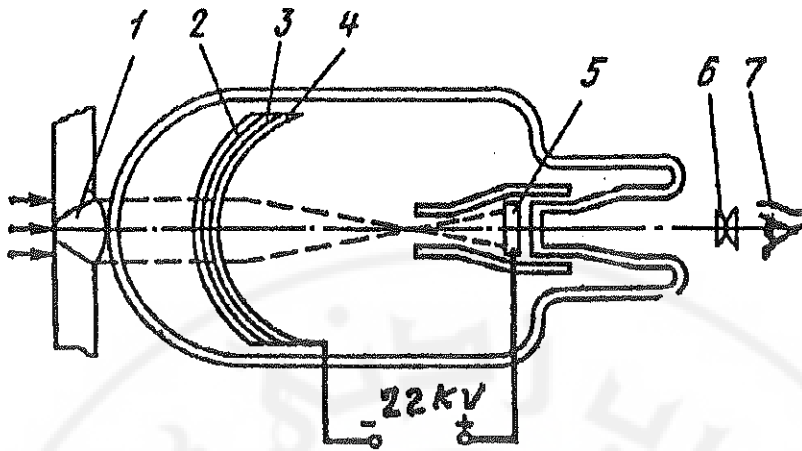
#### 4-8-31- الفحص بالجهاز الإلكتروني ذو العدسات :

حيث يتم تعريض الندبة لأشعة X التي تخترق معدن الندبة وزجاج الأنبوب المفرغ والذي يضيء حيزاً من الفلورسينت الموجود على شاشة من الألمنيوم (2) ويظهر على هذه الشاشة خيال الندبة اللامامية . إن إضاءة المهبط (4) يؤدي إلى خروج الإلكترونات منة ويزداد عددها بازدياد شدة سطوع الشاشة وشدة الأشعة التي تخترق الدرزة .

وتتسارع هذه الإلكترونات حيث تصطدم بالشاشة - المصعد (5) مسببة بذلك إضاءة بشدة تزيد ب1000 مرة عن الإضاءة في الشاشة (2). و بالنظر من (7) من خلال عدسة تكبير (6) يمكن تمييز العيوب الموجودة في الندبة كما يوضح الشكل (31-13).

ويمكن استخدام هذه الطريقة لكشف جميع العيوب الداخلية في الدرزة اللامامية كما يمكن تطوير هذه الطريقة بأتمتة العمليات لزيادة إنتاجية المعمل .





الشكل (31-13) الفحص بالجهاز الإلكتروني ذو العدسات



**الفصل الثاني والثلاثون**  
**مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية**  
**المعدنية الفولاذية .**  
**وأهم طرائق رفع متانة الوصلات**  
**الحامية.**

- 1 - مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية الفولاذية .
- 2- أهم طرائق رفع متانة الوصلات الحامية بواسطة الطرق  
التصميمية .



## مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية المعدنية الفولاذية وأهم طرائق رفع متانة الوصلات اللحامية

### 1-32- مراحل تنفيذ المشاريع الإنتاجية : (التجميع)

تستعمل المنشآت المعدنية في جميع المجالات الصناعية والزراعية ، وتستعمل بشكل واسع في إنتاج معدات الطاقة الكهربائية ، والتعدين ، وصناعة الآلات والقطارات ، والمعدات الزراعية ، والبواخر ومنشآت البناء وأنابيب النقل... الخ

إن عمليات إنتاج القطع الفولاذية وخاصة الملحومة في المصانع أو الورشات تتألف من مجموعة العمليات الآتية

a. عمليات تمهيدية : حيث يتم اختبار المعدن اللازم للعملية الإنتاجية حسب الشروط التصميمية .

b. عمليات تجري في الورشة التحضيرية (التفصيل) حيث يتم وضع علامات القطع والتنقيب والتشكيل حسب المخططات التفصيلية للقطع المراد إنتاجها.

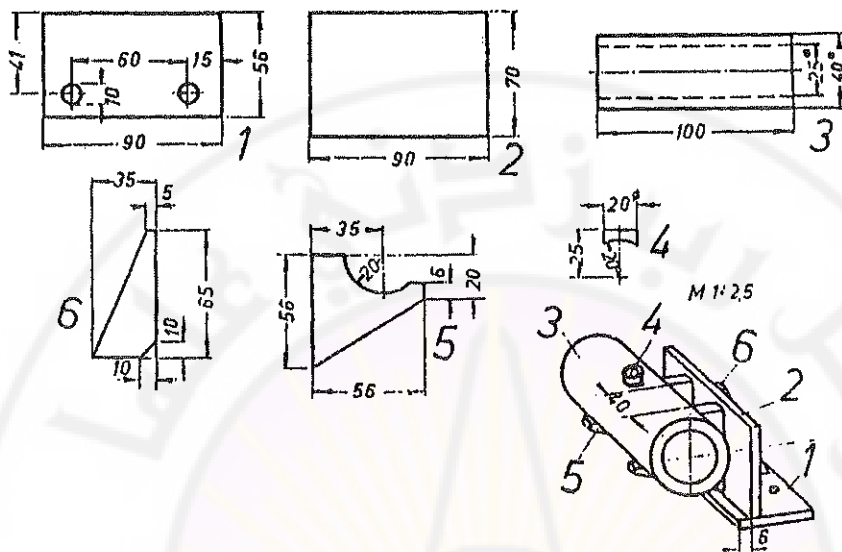
c. عمليات تجميع ولحام القطع الإنشائية من الأجزاء الجاهزة الصنع ، حسب المخططات التجميعية مع الأخذ بالحسبان الدقة في الأبعاد وجودة الإنتاج بوساطة التدقيق والتفتيش المرحلي لكل مرحلة إنتاجية

d. عمليات التنظيف والدهان المناسب .

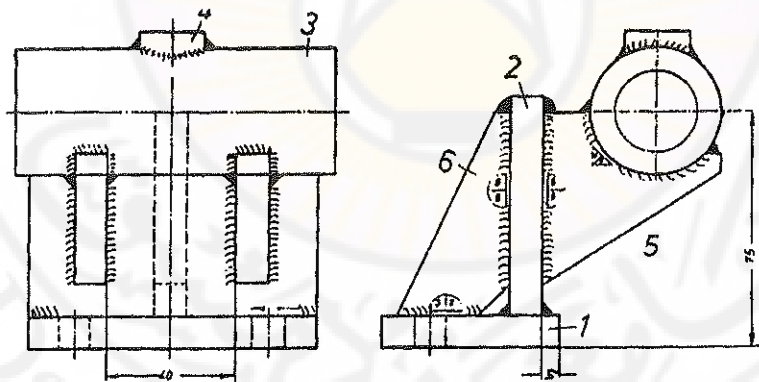
لكي تتم هذه العمليات بشكل دقيق وتسلسلي تم إعداد بطاقة تصنيع (تكنولوجية) يمكن استخدامها لإنتاج أي منتج .

والبطاقة التكنولوجية المبينة في الجدول (1-32) مثالا لإنتاج حامل محور باللحام مع الرسومات المرفقة . والشكل (2-32) يوضح الهيكل التجميعي

لحامل المحور المجمع باستخدام اللحامات. ويوضح في الجدول (32-1) مراحل  
تجميع وإنتاج لحامل المحور المبين بالشكل (32-1)



الشكل (32-1) الرسومات التفصيلية لحامل المحور مع المنظور العام لهذا الحامل



الشكل (32-2) الرسم التجميعي لحامل المحور المجمع باستخدام اللحامات

التصنيف: 1/1

الزمن اللازم للتنفيذ :

الهدف من المشروع: التدريب على عملية القص و الجمع بالاحكام

جدول (1-32) بطاقة تكنولوجياية لإنتاج (حامل محور)

| رقم القطعة على المخطط                                                                               | تسلسل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم حيث يلزم | رقم العملية و اسمها                                                                                          | الألات و الأدوات اللازمة                                                                | نوع المادة اللازمة          | الكلفة التقديرية للعملية     | ملاحظات |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| 1 .                                                                                                 | تنفيذ القطعة رقم 1 (القاعدة الأساسية)       | (a) قص القطعة من الصاج بأبعادها الحقيقية.<br>(b) تنقيب القطعة بريشة 10 مم<br>(c) تنظفها من الأرباش و الأوساخ | مقص صاج أو بالغاز حسب السماكة و الإمكانيات المتوفرة منقوب علمودي + قرشة فولاذية + تبريد | فولاذ منخفض الكربون (St-37) | المقياس 1 : 2 السماكة : 8 مم |         |
| 2 .                                                                                                 | تنفيذ القطعة رقم 2                          | 1- قص القطعة من الصاج بأبعادها الحقيقية وفقا للمخطط المبين جاليا .<br>2- تنظف أحراف القطعة .                 | مقص صاج هندوليكي أو بالغاز حسب السماكة و الإمكانيات المتوفرة بالمبرد                    | St-37                       | المقياس 1 : 2 السماكة : 8 مم |         |
| <p>كافة المشروع الإجمالي</p> <p>تقييم المحر من المشروع :</p> <p>التاريخ :</p> <p>علامة المدرس :</p> |                                             |                                                                                                              |                                                                                         |                             |                              |         |

التصنيف: 1/2

الزمن اللازم للتنفيذ :

بطاقة كتنو لوجية لإنتاج (حامل محور)

الهدف من المشروع :

| رقم القطعة على المخطط  | تسلسل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم حيث يلزم | رقم العملية و اسمها                                                                           | الألات و الأدوات اللازمة          | نوع المادة اللازمة | الكلفة التقديرية للعملية   | ملاحظات |
|------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------|----------------------------|---------|
| 3.                     |                                             | 1 - قص القطعة من أنبوب (برشة) القطر الداخلي 25 مم و الخارجي 40 مم بطول 100 مم                 | منقل آلي ترددي                    | (St-42)            | المقياس :<br>$\frac{1}{2}$ |         |
| 4.                     |                                             | (a) قص قطعة من المبروم بقطر 20 مم و بطول 10 مم<br>(b) تجليخ بشكل قوس حسب الشكل المبين جاليا . | 1- منقل آلي ترددي<br>2- جليخ ثابت | تر اسميون          | المقياس :<br>$\frac{1}{1}$ |         |
| علامة المدرس :         |                                             |                                                                                               |                                   |                    |                            |         |
| تقديم المدرس للمشروع : |                                             |                                                                                               |                                   |                    |                            |         |
| التاريخ :              |                                             |                                                                                               |                                   |                    |                            |         |

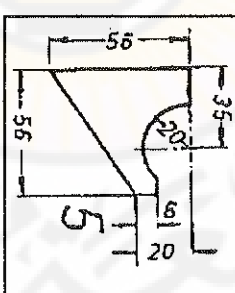


التصنيف: 1/3

بطاقة تكنولوجيا لانتاج (حامل محور)

الزمن اللازم للتنفيذ :

الهدف من المشروع :

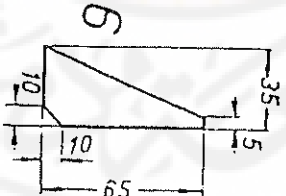
| ملاحظات                                         | الكفاءة التقديرية<br>ناتج العملية | نوع المادة<br>اللازمة | الألات و الأدوات<br>اللازمة                                        | رقم العملية و اسمها                                                                                                                     | تسلسل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم<br>حيث يلزم                                      | رقم القطعة<br>على المخطط |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| المسألة:<br>8 أو 6<br>مم<br>المقياس :<br>1<br>1 |                                   | St-37                 | 1- مقص ألي<br>2- مقص ألي<br>3- القص بالعاثر (لوب)<br>الانسي تاسلين | 1- قص صفيحة<br>$1 \times 01 \times 01$ مم عدد<br>2<br>2- قص الجانب A<br>حسب المخطط<br>3- قص الجانب القوس<br>حسب المخطط المبين<br>جانبها |  | 5.                       |
| علامة المدرس :                                  |                                   |                       |                                                                    |                                                                                                                                         | كافة المشروع الإجمالية                                                              |                          |
| تقييم المدرس للمشروع :<br>التاريخ :             |                                   |                       |                                                                    |                                                                                                                                         |                                                                                     |                          |

التصنيف: 1/4

الزمن اللازم للتنفيذ :

بطاقة تكنولوجيا إنتاج (حامل محور)

الهدف من المشروع :

| ملاحظات                | الكلفة التقديرية للعملية | نوع المادة اللازمة | الألات و الأدوات اللازمة                | رقم العملية و اسمها                                                          | تسلسل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم حيث يلزم                                         | رقم القطعة على المخطط |
|------------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                        |                          | St - 37            | A. مقص الي<br>B. المبرد و فرشاة فولاذية | a. قص صفيحة 35 x 65 مم<br>b. إكمال عملية القص حسب المخطط.<br>c. ضبط أبعادها. |  | 6 .                   |
| كلية المشروع الإجمالية |                          |                    |                                         |                                                                              |                                                                                     |                       |
| تقييم المدرس للمشروع : |                          |                    |                                         |                                                                              |                                                                                     |                       |
| التاريخ :              |                          |                    |                                         |                                                                              |                                                                                     |                       |

التصنيف: 1/5

بطاقة تكنولوجية لإنتاج (جامل محور)

الزمن اللازم للتنفيذ :

الهدف من المشروع :

| ملاحظات                                        | الزمن اللازم للتنفيذ العملية | نوع المادة اللازمة | الأدوات والآلات اللازمة | رقم العملية واسمها | تفصيل عملية تنفيذ المشروع مع الرسم حيث يلزم                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | رقم القطعة على المخطط |
|------------------------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                |                              |                    |                         |                    | <p>مراحل تجميع القطع :</p> <p>A. تقطيع (جمع) القطعة الثانية مع الأولى بحيث تكون القطعة 2 عمودية على الأولى و توضع في الموقع حسب المخطط التجميعي .</p> <p>B. التأكد من عمودية القطعة 2 على الأولى ثم إجراء عملية اللحام من الجهتين .</p> <p>C. تقطيع القطعتين رقم 5 مع القطعة الثانية حسب المخطط حيث المسافة بينهما 40 مم .</p> <p>D. إجراء عملية اللحام للقطعتين.</p> <p>E. تجميع القطعة 3 مع القطعتين 5 حسب المخطط، ثم إجراء عملية اللحام.</p> <p>F. تجميع القطعة رقم 6 مع القطعتين الأولى و الثانية في المنتصف كما هو موضح على الرسم التجميعي، ثم إجراء عملية اللحام.</p> <p>G. تقطيع القطع جيدا.</p> <p>H. الدهان : 1- أساس (سبرقون)</p> <p>2- اللون المطلوب.</p> <p>كافة المشروع الإجمالية</p> |                       |
| <p>تقييم المحرس للمشروع :</p> <p>التاريخ :</p> |                              |                    |                         |                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                       |



## 2-32- أهم طرائق رفع متانة الوصلات اللحامية بالطرق التصميمية

### 1-2-32- اختيار أهم التصميمات ولحامها :

يمكن رفع متانة الوصلات اللحامية بواسطة الطرق التصميمية ، (أي إجراءات تصميمية تأخذ في الحسبان القوى العاملة والأشكال النهائية ) أو بواسطة الطرق الصناعية وذلك بهدف حماية منطقة اللحام من المؤثرات الضارة في أثناء عملية اللحام أو بواسطة المعالجات الحرارية...الخ ويمثل الشكل (3-32) الإجراءات التصميمية التي من شأنها زيادة متانة الوصلات اللحامية ، حيث تبين الأشكال (3.1.2.3 - 32) كيفية زيادة متانة الوصلة بين فلنشة وعمود محمل بعزم دائري على حساب زيادة قطر خط اللحام الدائري المنفذ.(معلوم أن المقاومة للقص الناجم عن العزم تتناسب طرذاً مع مربع قطر الوصل) في الوصلة تصميم (2) على سبيل المثال وبمقطع متساو للندبة مع الوصلة (1) تزيد متانة الوصلة ب7 مرات وفي الوصلة تصميم (3) تزيد ب18 مرة مقارنة مع الوصلة (1).

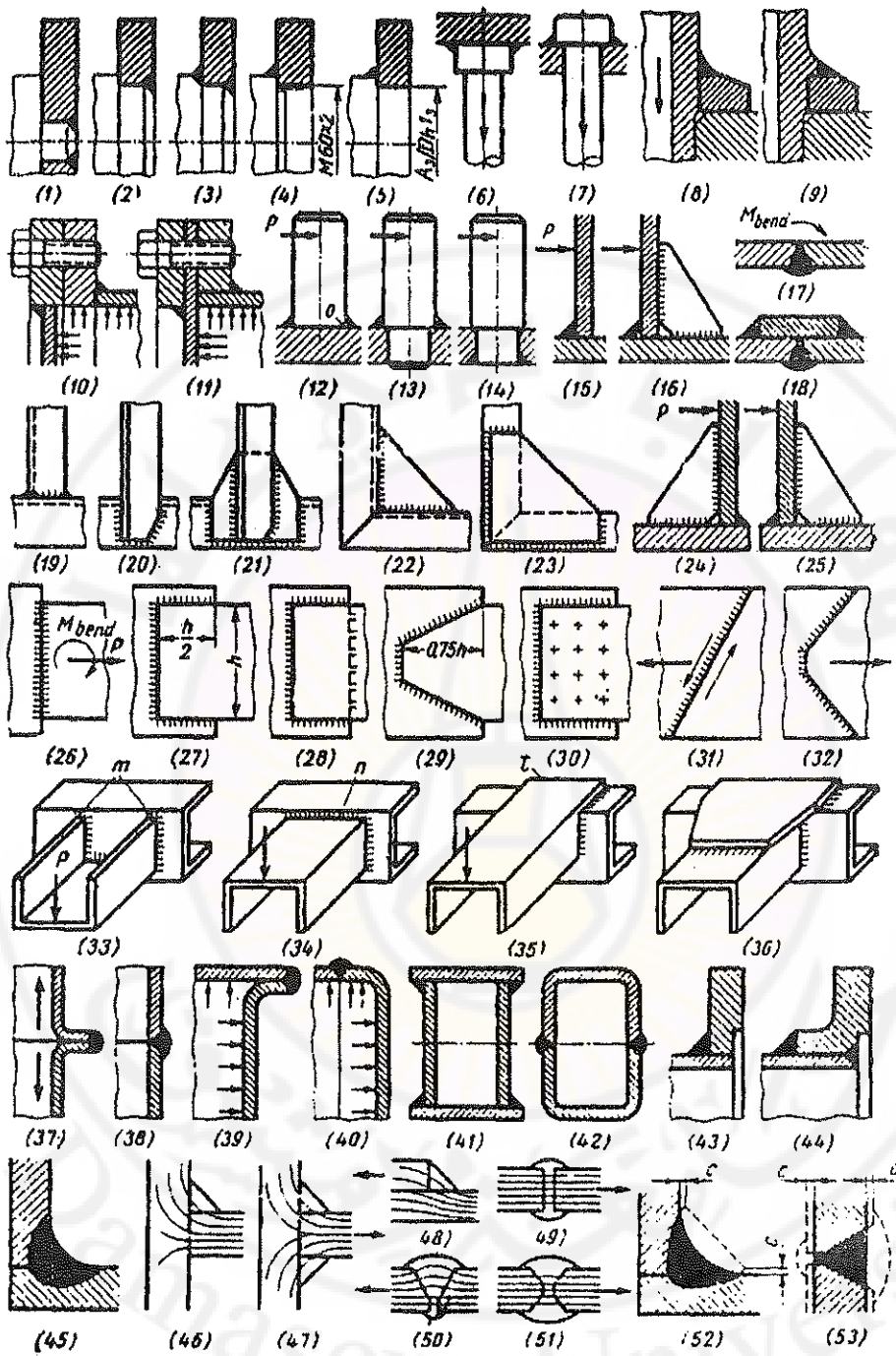
عندما يكون خط اللحام منفذاً بالشكل الأصولي والحواف محضرة بالشكل الدقيق المتعارف عليه لم يعد من الضروري التثبيت الإضافي للقطع (بواسطة جزء ملولب كما في الوصلة 4) أو (بالكبس كما في الوصلة 5).

من الضروري إن أمكن تخليص الدرزات اللحامية من الحمولات وتحميل الأجزاء الكاملة للوصلة بحيث تقوم الدرزات اللحامية بمهمة الوصل والتثبيت فقط . وبعض الأمثلة على ذلك مبينة بالتصميمين (7و6) (حيث المحور يحمل بقوة محورية) وكذلك التصميمين (8و9) (فلنشة استنادية)

حيث نلاحظ على التصميمين (7و9) الأجزاء المحسنة للتصميمين (6و8) من الشكل نفسه .

- من أجل تثبيت الغطاء لخزان أسطواني محمل بضغط داخلي شكل (3,10) -  
(32) إذ تتعرض الدرزات اللحامية للغطاء والأسطوانة لإجهادات انحناء و قص  
ناجمة عن الضغط الداخلي . بينما في الشكل المحسن (3,11-32) تم تخليص  
الدرزة اللحامية من الحمولات وذلك بإدخال الأسطوانة في الفلنشة أما درزة  
الغطاء فتم وضعها بين فلنشة الغطاء وفلنشة الأسطوانة .





الشكل (32-3) أشكال رفع المتانة باختيار التصميم المناسب  
٥٠٩

في الشكل (32-3,12) يتعرض الساعد (العمود) لتأثير قوة عرضانية  $p$  إذ تحاول القوة  $p$  تدوير العمود حول النقطة (0) مسببة بذلك إجهادات كبيرة تسبب خلع العمود من الجهة المعاكسة للنقطة (0) ، وعدا ذلك فإن الدرزة تتعرض للقص ، يمكن تحسين هذا التصميم ، وذلك بإدخال العمود في القطعة الموصول معها كما يوضح التصميم (13) ولكن في هذه الحالة أيضا سيضعف المقطع العرضي الدائري للعمود بسبب اللحام ، في الشكل (32-3,14) المحسن تكون جميع الإجهادات الناجمة عن القوة  $p$  مؤثرة في الأجزاء الكاملة من المعدن الأصلي للعمود .

- الجدار الملحوم في الشكل (32-3,15) يتعرض للانحناء الناجم عن تأثير القوة  $p$  ، وهنا فإن إدخال عصب التقوية يجنب القطعة خطورة الانحناء كما في الشكل (32-3,16).

الوصلة التناكبية المعرضة لعزم الانعطاف شكل (32-3,17) حيث يمكن تلافي تأثير هذا العزم باستعمال أقماط كما يوضح الشكل (32-3,18) الوصلة الزاوية رقم (19) على الشكل نفسه ليست متينة والأمتن أن يتم اللحام في مستويات سطوح الزاويتين كما يوضح التصميم (20) ، وفي حالة الحمولة الكبيرة يضاف إلى ذلك مثلثات تقوية كما في التصميم (21) يتم لحام مثلثات التقوية ليس بالشكل التناكبي كما في التصميم (22) وإنما بالشكل التراكبي كما في تصميم (23) والأعصاب الملحومة يجب أن تلحم بحيث لا تعمل على الشد كما يوضح التصميم (24) بل يجب أن تعمل على الضغط كما في التصميم (25) الذي يخلص الدرزات اللحامية من الحمولات .

- عند وصول الصفائح التي تخضع إلى قوى شد ( $p$ ) وعزم انعطاف ( $M$ ) فإن إجراءات خاصة يجب أن تتخذ ، وهذا ما تبينه التصاميم من (26÷29) على الشكل نفسه . توضح هذه التصاميم عند لحام الصفائح ذات المسافات الكبيرة



والسماكات القليلة فإنه بالإضافة إلى اللحام على الإطار الخارجي لابد من تنفيذ اللحام النقطي داخل المساحة شكل (30) وذلك منعا لتشوه الصفائح الناجم عن حرارة اللحام .

خطوط اللحام المائلة في الوصلات التراكيبية تصميم (31) والخاضعة للشد تستعرض لحمولات إضافية على طول خط اللحام كما هو مبين في التصميم . أما إذا تم تنفيذ خطوط لحام مائلة ومتناظرة من الجانبين تصميم (32) فإننا نتجنب بذلك خطورة هذه الحمولات لأنها لا تتعرض للقص .

- على التصميم من (33÷36) للشكل نفسه مبين وصلات لحامية مكونة من المجاري ، في الوصلة تصميم (33) تتعرض الأجزاء العلوية (M) للدرزات الشاقولية إلى إجهادات كبيرة ناجمة عن تأثير القوة P تحاول تمزيق الوصلة ناجمة عن تأثير القوة P

في التصميم (34) حيث تتجه جوانب المجارية للأسفل حيث تلتقي الدرزة الأفقية n ذات الامتداد الكبير كل القوى الناجمة عن تأثير القوة p

في التصميم (35) تتلقى الدرزات الجانبية و الدرزة العرضانية (t) العزم الناجم عن القوة p ، أما الشكل (36) فالوصلة فيه منفذة مع صفيحة تقوية وفي جميع الأحوال يجب أن نتحاشى التحميل اللا مركزي الذي يسبب انحناء للدرزة اللحامية والذي ينجم عن قتل بعض أجزاء الوصلة بالنسبة إلى بعضها الآخر .

التصميم (37) حيث يخضع الخزان إلى ضغط داخلي يؤدي إلى انعطاف في الدرزة اللحامية ويتم تحاشيه بتنفيذ الوصلة حسب التصميم (38) التصميم (39) حيث يتم لحام الغطاء مع جسم الخزان فإن الدرزة اللحامية تتعرض أيضا للانحناء ، أما في التصميم (40) فإننا نتحاشى ذلك ، مما تقدم نصل إلى نتيجة أنه يجب تنفيذ خطوط اللحام في الأجزاء الأقل تعرضا للإجهاد في الجوائز ذات المقاطع الصندوقية شكل (41) ، والتي تخضع لعزوم الانعطاف فإنه من الأصح

تنفيذ خطوط اللحام كما في الشكل (42) إذ تصبح خطوط اللحام في هذه الحالة قليلة التعرض للإجهادات .

- في الوصلات التي تخضع إلى إجهادات ديناميكية ، يجب تحاشي تنفيذ درزات اللحام (خطوط اللحام) في أماكن تركز الإجهادات كما في التصميم (43) في نقطة التقاء الأجزاء السميكة ، والشكل المحسن للوصلة هو التصميم (44) إذا تعذر نقل درزة اللحام إلى خارج نقطة تركز الإجهادات فمن الضروري تنفيذ درزات لحتمية مقعرة الشكل (45) وتعميق مجال المعدن المصهور (عمق الصهر) وذلك باستخدام قوس كهربائي قصير (الإلكترود قريب جدا من القطعة مع تغلغل له في المعدن المصهور).

في الوصلات التي على شكل T من الضروري تنفيذ الدرزات للحامية من الجانبين شكل (46 و 47) الوصلات التراكبية شكل (48) يفضل استبدالها بوصلات تتاكية شكل (49) إن أمكن ذلك .

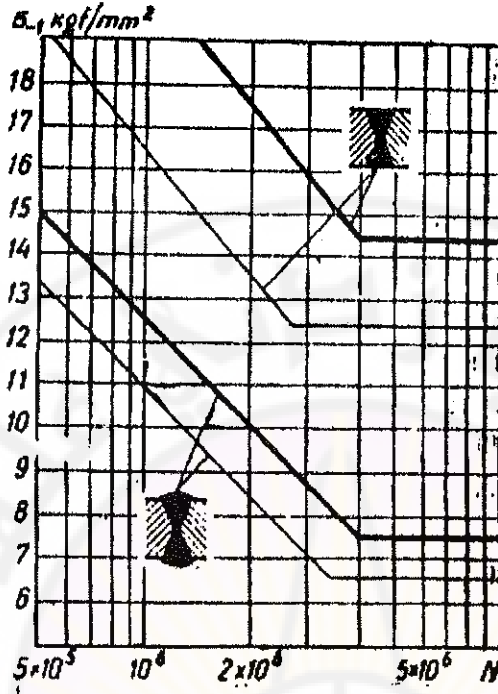
في الوصلات التتاكية يجب تنفيذ الدرزات ما أمكن من الجانبين لضمان التناظر في خطوط القوى على جانبي الوصلة شكل (50 و 51) الوصلات الزاوية يجب تشغيلها (إذا كان ذلك مطلوب) بانتقال متدرج من سطح الدرزة إلى سطح القطعة الملحومة كما في الشكل (52) وعند لحام الوصلات التتاكية تصميم (53) يجب إزالة المعدن الزائد عن سماكة القطع الملحومة من الجانبين إذا كان ذلك مطلوب وأن يؤخذ بالحسبان ترك سماكة للتشغيل مقدارها C في سماكة القطع الملحومة

- يوضح الشكل (4-32) منحنيات حد الصمود للوصلات للحامية التتاكية (المنحنيات السفلية) ، حيث يبين الخط الرفيع حد الصمود لهذه الوصلات دون معالجة حرارية ، أما الخط السميك يبين حد الصمود لهذه الوصلات بعد

المعالجة الحرارية . أما المنحنيات العلوية من الشكل نفسه فهي عبارة عن حد الصمود للوصلات اللحامية نفسها بعد إزالة التقوية لهذه الوصلات (الخط الرفيع يعني حد الصمود للوصلة دون معالجة حرارية والخط السميك هو حد الصمود للوصلة بعد المعالجة الحرارية) . وتمت المعالجة الحرارية بالتسخين لدرجة الحرارة 670 c وذلك بعد إزالة الاجهادات المتبقية عن عملية اللحام ، حيث يبين الشكل أن هذه المعالجة الحرارية قد زادت من حد الصمود للوصلات اللحامية بمقدار (15÷20%).

ومن المعروف أن الصهر التدريجي للحام بالالكترود من التنغستين وفي وسط من غاز الارغون يرفع قيم حد الصمود للوصلة اللحامية بنسبة (30÷40%)

- التشوه الذي يحصل على البارد (الصقل بالدوران . الصفع بالخردق أو بالتطريق بواسطة أدوات تعمل على الهواء المضغوط) يجعل من الممكن رفع حد الصمود للوصلات اللحامية .



شكل (4-32) حد الصمود للوصلات اللحامية التناكبية

## 2.2 - 32 \_ لحام الأنابيب:

يتم لحام الأنابيب ذات الأقطار المتشابهة عادة بواسطة اللحام التناكبي بدون أي تجهيز مسبق لأطراف الأنابيب قبل اللحام شكل (32-5.1) أو بأطراف مشنفرة مسبقاً عندما تكون جدران الأنابيب سميكة تصميم شكل (32-5.2).

\_ تتميز الوصلة المنفذة باللحام بالمقاومة التناكبي بمتانتها العالية تصميم (3) ولكن من الصعب من جهة ثانية تنفيذها في موقع العمل.

وتكون الوصلة المائلة تصميم (4) عادة سيئة من الناحية التقنية كما أنها لا ترفع متانة الوصلة.

\_ تمديد النهايات التناكبية للأنابيب عادة بشكل توسيع متدرج كما في (5) أو بتوسيع وتضييق مخروطين كما في (6) وذلك لرفع مقاومة الأنبوب للانحناء.

\_ يمكن الحصول والوصول وللغاية نفسها أيضاً بضغط أحد الأنبوبين في الآخر كما هو مبين في 7 و 8 ويفضل التصميم الثاني (8) لأن من الأسهل تمديد (توسيع) الأنبوب من تضييقه وحشره في الأنبوب الآخر.

\_ يوضح التصميم (9) وصلة مدعمة بحلقة خارجية.

\_ إن التدعيم بواسطة جلب داخلية تصميم (10) يسبب انخفاض القطر الداخلي الفعال للأنبوب وبالتالي فإن هذه الطريقة غير مستحبة بالنسبة لخطوط الأنابيب. ولكنها مع ذلك تستعمل للإنشاءات المحملة، إذ تصبح الوصلات قوية وصلبة و الفاصلة ضرورية تصميم (11).

\_ وتدعيم الوصلات بواسطة الأعصاب تصميم (12) ولكن يشوه المنظر الخارجي للأنبوب وهو كذلك أقل متانة من بقية الوصلات.

\_ وصلات الأعصاب المقطوعة تصميم (13) أمتن، ولكنها أكثر تعقيداً في التصنيع.

\_ توضح التصاميم (14 ، 15 ، 16) بعض الطرق لتوصيل أنابيب ذات أقطار مختلفة عندما يكون الفرق بين الأقطار محدوداً.

\_ أما عندما تكون الفروقات في الأقطار المتوسطة تصميم (17) حيث تستعمل المولجات ويمكن أن تكون هذه المولجات المتدرجة مخروطية تصميم (18) عالية الجساءة وتمكن من توصيل أنبوبين بقطرين مختلفي القطر بمقدار كبير.

\_ تلحم الأنابيب ذات الجدران الرقيقة باللحام التناكبي تصميم (19) ويفضل تنفيذه بواسطة اللحام الغازي مع ثني إحدى النهايتين تصميم (20) أو النهايتين

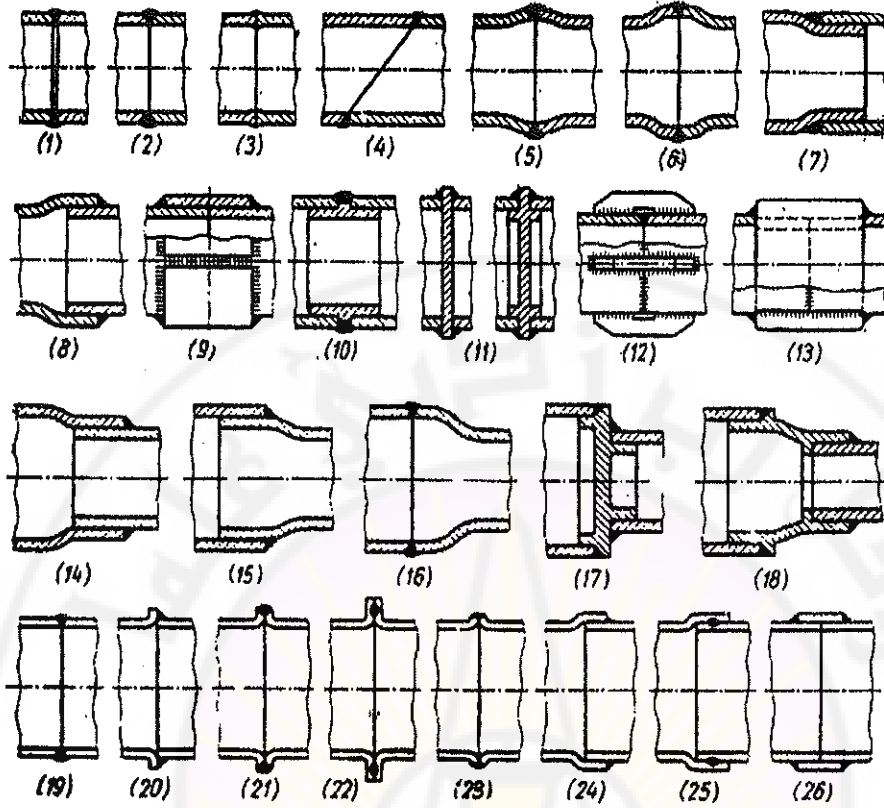
معاً تصميم (21) ، و أيضاً بواسطة اللحام بالمقاومة بدرزات مستمرة تصميم)  
(22).

\_ إذا كانت أقطار ، وأطوال الأنابيب تسمح باستعمال الإلكتروود يتم تنفيذ  
درزة اللحام للنهايات المثبتة تصميم(23).

\_ يمكن تدعيم الوصلات عن طريق التمديد لإحدى طرفي الأنابيب تصميم)  
(26).

\_ وصلات التصاميم (24,25) أو عن طريق الجلب تصميم(26).

\_ وصلات التصاميم (24-26) وصلات مركزية أما بقية الوصلات فيجب  
مركزتها في أثناء اللحام.



شكل (5-32) الوصلات اللحامية للأنابيب

### 3-2-3\_ لحام الشقف (الفلنشات)

يبين الشكل (32,6) أهم طرق لحام الفلنشات مع الأنابيب.

يبين الشكل (32,6,1) أن الفلنشة غير مثبتة قطرياً مع الأنبوب.

\_ أما بالنسبة إلى التصميمين شكل (2 و 3) فالفلنشة غير مثبتة محورياً.

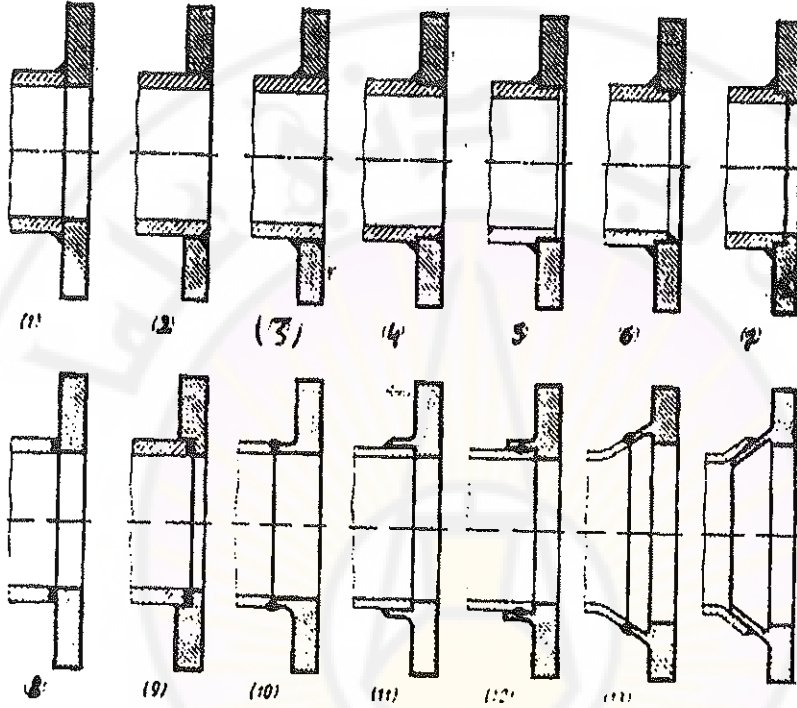
\_ عند تثبيت الأنبوب المعد للحام على حامل وترك خلوص كبير (أي عدم

تثبيته جيداً) فالفلنشة قد تتعرض للانزياح (الانحراف) في أثناء عملية اللحام،

بالإضافة لذلك ففي حالات كهذه قد يسقط جزء من قطرات اللحام مع سطح

الشفة ويسبب تشوهه.

\_ التصميم رقم (4) مثبت قطرياً ومحورياً معاً بواسطة الخطوة الآلية. كما تم التأكد من عدم انزياحها بتثبيتها بشكل دقيق نسبة لخطوة الوجه السفلي للفلنشة.



شكل (32,6) لحام الفلنشات مع الأنابيب

\_ التصميم (5 ، 6 ، 7) توضح وصلات غير ملحومة من الوجه السفلي للفلنشة.

\_ يعدّ اللحام الكهربائي بالمقاومة التصميم (8 ، 9) من أبسط وأعلى الطرق إنتاجية.

\_ توضح التصميم (10 ، 11 ، 12 ، 13 ، 14) طرائق لحام الفلنشات على الأنابيب رقيقة الجدران.



\_\_ يعدّ التصميم(11) أفضل من (10) بسبب تثبيت الفلنشة قطرياً ومحورياً معاً.

\_\_ ويستعمل لحام الدرزات المستمر تصميم(12) عندما يسمح قطر الأنبوب بدخول الإلكترود الدائري داخله.

\_\_ التصاميم(13 ، 14) توضح طرق لحام الأنابيب مع الفلنشات ذات الأقطار الكبيرة بواسطة فتحة مخروطية الشكل.

## المصطلحات العلمية

### A

|                          |                                                     |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| Abrasion                 | مقاومة التآكل                                       |
| Abrasive                 | ورقة سمباج                                          |
| Abrasive wheel           | عجلة تجليخ                                          |
| Absorbption of radiation | امتصاص الإشعاع                                      |
| Acetylene cutting        | قطع بالاستيلين                                      |
| Acetylene welding        | لحام بالاستيلين                                     |
| Acidic                   | حامضي ، حمضي                                        |
| Acid proof steel         | فولاذ مقاوم للحمض                                   |
| Acoustic frequency       | تردد صوتي                                           |
| Acoustic radiator        | مرسل الأمواج الصوتية                                |
| Acoustic velocity        | السرعة الصوتية                                      |
| Acoustic wave            | موجة صوتية                                          |
| Activation energy        | الطاقة النشطة                                       |
| Adjustment knob          | زر الضبط                                            |
| Admiralty brass          | النحاس الأصفر المقوى<br>٧٠% نحاس، ٢٩% زنك، ١% قصدير |
| Admissable               | مقبول ، مسموح به                                    |
| Admix                    | مزج، خلط                                            |
| Adnic                    | سبيكة من النحاس والنيكل والقصدير                    |
| Aerate                   | عَرَضَ للهواء، مَزَجَ بالهواء والغاز                |
| Aflame                   | ملتهباً ، مشتعلأ                                    |

|                        |                                          |
|------------------------|------------------------------------------|
| Air cooling            | تبريد بالهواء                            |
| Air discharge          | تفريغ بالهواء                            |
| Air pump               | مفرغة هوائية، مضخة هوائية                |
| Alkaline               | قلوي                                     |
| Alloy cast – iron      | فونت سبائكي                              |
| Alloy steel            | فولاذ سبائكي                             |
| All – welded structure | إنشاء ملحوم بأكمله                       |
| Alternating current    | تيار متناوب                              |
| Aluminum alloys        | سبائك ألومنيوم                           |
| Aluminum brass         | نحاس أصفر مقوى بالألومنيوم               |
| Aluminum bronze        | سبيكة من البرونز والألمنيوم              |
| Aluminothermic welding | لحام الترميت                             |
| Aluminum welding       | لحام بالألومنيوم                         |
| Ammonia                | غاز النشادر، أمونيا                      |
| Amplifier              | مضخم _ صمام التقوية أو التضخيم           |
| Amplitude of vibration | سعة الاهتزاز                             |
| Angle steel            | فولاذ زاوي                               |
| Angular speed          | سرعة زاوية                               |
| Anisotropic            | متباين الخواص                            |
| Annealed steel         | فولاذ ملدن                               |
| Anode drop             | هبوط الجهد الأنودي (في أنبوب تفريغ غازي) |
| Anti – oxidation       | ضد التأكسد                               |
| Anti - rust            | مقاوم للصدأ                              |

|                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| Arc discharge           | تفريغ قوسي              |
| Arc ignition            | إشعال القوس             |
| Arc shield              | حجاب القوس              |
| Arc welding             | لحام قوسي               |
| Atomic-hydrogen welding | لحام بالهيدروجين الذري  |
| Automatic arc welding   | لحام قوسي آلي           |
| Axial stress            | إجهاد محوري             |
| Added metal             | معدن مضاف               |
| All – weld metal        | معدن اللحام الصرف       |
| Anode                   | مصعد                    |
| Arc - cutting           | القطع بالقوس الكهربائي  |
| Argon                   | غاز الأرجون             |
| As-welded               | كما أجرى لحامه          |
| Axially loaded members  | العناصر المحملة محورياً |
| Allowable stress        | الإجهاد المسموح به      |
| Axial tension           | الشد المحوري            |

## B

|                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| Bare electrode welding | اللحام بالإلكترود           |
| Base metal             | معدن الأساس                 |
| Basic slag             | خبث قاعدي                   |
| Beam of rays           | حزمة من الأشعة              |
| Bevel angle            | زاوية الشطف ، زاوية الشنفرة |

|                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| Bevel edge         | حافة مشطوبة أو مشنفرة  |
| Blacksmith welding | لحام التطريق اليدوي    |
| Blower forge       | كبير الحدادة           |
| Blowhole           | فجوة غازية             |
| Blow lamp          | موقد لحام              |
| Bulge              | بروز ، نتوء ، انتفاخ   |
| Bump joint         | وصلة تراكبية           |
| Burnishing         | صقل تلميع              |
| Burst welding      | اللحام بالانفجار       |
| Bursting charge    | حشوة الانفجار          |
| Butt joint         | وصلة تناكبية           |
| Butt welded tubes  | أنابيب ملحومة تناكبياً |
| Breaking load      | حمل الانهيار           |
| Breaking stress    | إجهاد الانهيار         |
| Breaking test      | اختبار الانهيار        |
| Brinell hardness   | اختبار برنيل للصلادة   |
| Brittleness        | قصيف ، هش              |
| Bare electrode     | الكتروود عار           |
| Butt seam welding  | لحام تدريزي تقابلي     |
| But weld           | لحام الإملاء (التعبئة) |

## C

|                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| Carbon arc welding          | اللحام بقوس كربوني         |
| Carbon acid gas             | ثاني أكسيد الكربون         |
| Carbon monoxide             | أول أكسيد الكربون          |
| Carburizing flame           | لهب مكرين                  |
| Cast-iron                   | فونت                       |
| Caulking weld               | لحام لسد الشقوق            |
| Chilled steel               | فولاذ مقسّ بالتبريد السريع |
| Cleft weld                  | لحمة مغلقة                 |
| Cleave                      | شق ، تصدع                  |
| Closed joint                | وصلة مقفلة                 |
| Coated electrode            | الكتروود مغلف              |
| Coefficient of permeability | معامل النفاذية (الانتشار)  |
| Cold draw                   | سحب على البارد             |
| Cold pressing               | تشكيل بالكبس على البارد    |
| Cold rolled                 | مدلق على البارد            |
| Cold welding                | اللحام على البارد          |
| Conduction                  | التوصيل الحراري            |
| Continuous current arc      | قوس يشتعل بالتيار المستمر  |
| Corner joint                | وصلة ركنية                 |
| Control gear                | جهاز تحكم                  |
| Cutting flame               | شعلة قطع                   |
| Carbon steel                | فولاذ كربوني               |
| Characteristics             | خصائص                      |
| Charpy impact test          | اختبار (شاربي)             |
| Chemical composition        | تركيب كيميائي              |
| Cool time                   | زمن التبريد                |
| Corrosion                   | تآكل                       |
| Crack                       | شرخ                        |
| Crystalline structure       | بنية بلورية                |

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| Cathode            | مهبط        |
| Cast iron          | حديد الزهر  |
| Chrome steel       | فولاذ كرومي |
| Centering loading  | تحميل مركزي |
| Compression stress | إجهاد الضغط |
| Connections        | وصلات       |

## D

|                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| Deflecting arc            | قوس كهربائي منحرف           |
| Degree of ionization      | درجة التأين                 |
| Deformation               | تشوه ، انفعال               |
| Demagnetization           | إزالة المغنطة               |
| Density                   | كثافة                       |
| Deoxidized copper         | نحاس مختزل                  |
| Diffusivity               | الانتشارية ، النفاذية       |
| Diatomic gas              | غاز ثنائي الذرة             |
| Die welding               | اللحام بالقوالب             |
| Direct current            | تيار مستمر                  |
| Direct polarity           | قطبية مباشرة                |
| Disk electrode            | إلكترود قرصي                |
| Dissociation              | تفكك                        |
| Double – bevel groove     | حز مزدوج الشنفرة            |
| Double – cover butt joint | وصلة تناكبية مزدوجة التغليف |
| Defect                    | عيب                         |
| Density                   | كثافة                       |
| Diamond                   | حساس (الالماس)              |
| Duty cycle                | دورة تشغيل                  |

## E

|               |                  |
|---------------|------------------|
| Edge distance | البعد بين الحواف |
|---------------|------------------|

|                        |                               |
|------------------------|-------------------------------|
| Electrode – feed motor | محرك كهربائي لتغذية الإلكترود |
| Electrode holder       | ماسك الإلكترود                |
| Electrode lead         | كبل الكترود اللحام            |
| Electrode potential    | جهد الإلكترود                 |
| Electrode reel         | بكرة سلك اللحام               |
| Electrolytic bath      | حمام إلكتروليتي               |
| Electrolytic copper    | نحاس إلكتروليتي               |
| Electron beam          | حزمة الكترونية                |
| Electron emission      | انبعاث الكتروني               |
| Electron transition    | انتقال الإلكترون              |
| Electro-slag welding   | اللحام الكهربائي الخبثي       |
| Embossment             | نتوء ، بروز                   |
| Entrapment             | انحباس ، انحصار               |
| Etching                | تخريش ، تنميش                 |
| Exothermic reaction    | تفاعل أكزوثيرمي               |
| Electrode reel         | بكرة الإلكترود                |
| Elongation             | استطالة                       |
| Extrusion              | بثق                           |
| Elasticity             | مرونة                         |
| Elastic limit          | حد المرونة                    |
| Elastic stress         | إجهاد مرن                     |
| Element                | عنصر                          |

## F

|                  |                            |
|------------------|----------------------------|
| Face shield      | واقية للوجه                |
| Fatigue          | تعب ، كلل                  |
| Faying surfaces  | سطحان متاخمان لبعضهما      |
| Ferrous metals   | معادن حديدية               |
| Fibre asbestos   | اسبستوس ليفي               |
| Field current    | تيار المجال ، تيار التحريض |
| Field distortion | تشوه المجال المغناطيسي     |



|                      |                                            |
|----------------------|--------------------------------------------|
| File                 | مبرد                                       |
| Filling metal        | معادن الحشو (معادن الملاء)                 |
| Filling rod          | سلك الملاء (سلك المعدن المضاف)             |
| Filling weld         | لحمة زاوية                                 |
| Fire                 | نار لهب                                    |
| Fire welding         | لحام التطريق على الساخن                    |
| Fit allowance        | تسامح التوافق                              |
| Fixed load           | حمل ثابت                                   |
| Flame cutting        | قطع باللهب                                 |
| Flame welding        | لحام باللهب                                |
| Flange butt joint    | وصلة تناكبية مشفة                          |
| Flash                | وميض ، بريق                                |
| Flash – butt welding | لحام تناكبي وميضي (اللحام التناكبي بالصهر) |
| Flash welding        | لحام وميضي (لحام بالصهر)                   |
| Flat welding         | لحام مسطح                                  |
| Flexibility          | قابلية الانثناء ، اللدونة                  |
| Flexible connection  | وصلة مرنة                                  |
| Flow welding         | لحام التدفق                                |
| Fluid density        | كثافة السائل                               |
| Flux                 | مساعدة صهر                                 |
| Forge welding        | لحام التطريق                               |
| Forged steel         | فولاذ مطروق                                |
| Forge rolls          | دلافين التشكيل                             |
| Forging rolls        | لحام بالحرارة والتطريق                     |
| Fracture             | كسر صدع                                    |
| Fragile              | هش ، سهل الانكسار                          |
| Free-cutting         | سهل القطع ، سهل التشكيل                    |
| Frequency control    | ضبط التردد                                 |
| Full penetration     | تغلغل تام                                  |
| Fusion penetration   | عمق تغلغل الصهر                            |
| Fusing factor        | معامل الصهر                                |
| Fusing point         | نقطة الانصهار                              |
| Fusion welding       | لحام الصهر                                 |

Face – hardening  
Fluid  
Fluidity  
Fusion  
Fusion zone

تصلد سطحي  
مانع  
انسيابية  
انصهار  
منطقة الانصهار

## G

Galvanizing  
Galvanometer  
Gamma iron  
Gas gap  
Gas cutting  
Gaseous mixture  
Gas welding  
Gauge  
Gauge hole  
Gauge wire  
Gloves  
Gradient  
Grain growth  
Grain structure  
Granular flux  
Gray iron  
Groove  
Groove weld  
Gamma radiation  
Gangue  
Gas porosity  
Glass  
Grinding

غلغنة ، طلاء بالزنك  
غلغانومتر ، مقياس للكشف عن التيار الكهربائي  
حديد غاما  
فجوة غازية  
القطع بالغاز  
خليط غازي  
اللحام الغازي  
مقياس قد ، محدد قياس  
محدد قياس الثقوب  
محدد قياس قطر الأسلاك  
قفازات  
تدرج  
نمو الحبيبات  
بنية حبيبية  
فلاكس حبيبي  
فونت رمادي  
أخدود ، ثلم ، حز  
لحام حزي  
إشعاع غاما  
شوائب  
مسامية غازية  
زجاج  
تجليخ

## H

|                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Half-round iron          | حديد نصف مبروم                    |
| Hammer welding           | لحام التطريق الآلي                |
| Hardness number          | رقم الصلادة                       |
| Hard steel               | فولاذ قاسي (صلد)                  |
| Heat-affected zone       | منطقة التأثر الحراري              |
| Heat of fusion           | حرارة الانصهار                    |
| Heat resisting steel     | فولاذ صامد للحرارة                |
| Heat tinting             | تأكسد المعدن بفعل الحرارة         |
| Heat transfer            | انتقال الحرارة                    |
| Heat treatment           | معالجة حرارية                     |
| Heavily-coated electrode | الكتروود سميك التغليف             |
| Heli-arc welding         | لحام القوس في غاز خامل            |
| Hidden arc welding       | لحام القوس المخفي                 |
| High carbon steel        | فولاذ عالي نسبة الكربون           |
| High-quality weld        | لحمة عالية الجودة                 |
| Holder                   | ماسك                              |
| Homogeneity              | تجانس                             |
| Hose nozzle              | فوهة الخرطوم                      |
| Hot working              | التشكيل على الساخن                |
| Haematite                | أكسيد الحديد الأحمر ( $Fe_2O_3$ ) |
| Hair line cracks         | شروخ شعرية                        |
| Hard                     | صلد                               |
| Hardness                 | صلادة                             |
| High-tension steel       | فولاذ عالي مقاومة الشد            |
| Hydraulic pressure       | ضغط هيدروليكي                     |

## I

|                                  |                                        |
|----------------------------------|----------------------------------------|
| Ignition circuit                 | دارة استقبال                           |
| Ignition powder                  | مسحوق إشعال (في اللحام الالترميئي)     |
| Ignition promoter                | مسارع الاشتعال                         |
| Ignition velocity                | سرعة الاشتعال                          |
| Impact stress                    | إجهاد الصدم                            |
| Indlusions                       | شوائب محبوسة داخل المعدن (شوائب دخيلة) |
| Indentation                      | ثلم، فريضة                             |
| Induction heating                | التسخين بالتيارات الحثية               |
| Induction welding                | لحام الحث الكهربائي                    |
| Inert – gas arc – welding        | لحام القوس في وسط من الغاز الخامل      |
| Inert oxide                      | أكسيد متعادل                           |
| Initiating switch                | مفتاح بدأ                              |
| Interchangeability               | التبادلية                              |
| Interrupted - spot               | لحام نقطة منقطع                        |
| Intensity of stress              | شدة الإجهاد                            |
| Interchange of heat              | تبادل الحرارة                          |
| Intermittent current             | تيار منقطع                             |
| Intermolecular attraction energy | قوة التجاذب بين الجزيئات               |
| Invisible                        | غير مرئي                               |
| Impact energy                    | طاقة التصادم                           |
| Impact test                      | اختبار الصدم                           |
| Infrared                         | أشعة تحت الحمراء                       |
| Inspection                       | فحص - معاينة                           |
| Internal stresses                | إجهادات داخلية                         |
| Ion bond                         | رابطة أيونية                           |
| Ion crystal                      | بلورة أيونية                           |
| Iron                             | حديد                                   |
| Ionization energy                | طاقة التأين                            |

## J

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| Jig                     | دليل تشغيل                |
| Jog button              | زر متابعة                 |
| Jumping up = upsetting  | الفلطحة بالطرق على الساخن |
| Jump joint = butt joint | وصلة تناكبية              |
| Jump weld = butt weld   | لحام تناكبي بالطرق        |
| Jig erring              | حركة ترددية               |
| Joint                   | وصلة - عقدة               |
| Jut (out)               | نتوء ، بروز               |

## K

|               |                                                  |
|---------------|--------------------------------------------------|
| Killed steel  | فولاذ مخمد (فولاذ مختزل كليا قبل الصب)           |
| Kinding       | إيقاد                                            |
| Knife switch  | مفتاح سكينى                                      |
| Kish          | غرافيت جامد                                      |
| Knuckle joint | (يطلق على سطح خام الحديد المصهور الغني بالكربون) |
| Krypton       | غاز الكريبتون                                    |

## L

|                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| Labile                     | متغير ، غير مستقر              |
| Lap joint                  | وصلة تراكبية                   |
| Lap seam welding           | لحام تراكبي                    |
| Latent heat of fusion      | حرارة الانصهار الكامنة         |
| Left hand welding          | اللحام إلى اليسار              |
| Lightly - coated electrode | الكترود رقيق التغليف           |
| Liquidus                   | خط السيولة (في مخططات التوازن) |
| Load capacity              | سعة التحميل                    |
| Looked – up stress         | إجهاد متخلف (متبقي)            |
| Low - carbon steel         | فولاذ منخفض الكربون            |

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Lanneilarl          | رقائقي – صفائحي       |
| Limit of elasticity | حد المرونة            |
| Lim                 | جير (cao)             |
| Liquid state        | الحالة السائلة        |
| Low – alloy steel   | فولاذ منخفض السبائكية |
| Luminescence        | إشعاع ضوئي            |
| Luster              | لمعان بريق            |
| Loads               | أحمال                 |
| Low voltage         | جهد منخفض             |

## M

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| Magnetic alloy            | سبيكة مغناطيسية        |
| Magnetic blow             | نفخ مغناطيسي           |
| Magnetic flux             | فيض مغناطيسي           |
| Magnetic permeability     | النفاذية المغناطيسية   |
| Malleable iron            | حديد مطروق             |
| Malleabilising            | تلدن                   |
| Mash welding              | لحام بالهرس            |
| Mechanized welding        | لحام آلي               |
| Medium – coater electrode | الكتروود متوسط التغليف |
| Medium carbon steel       | فولاذ متوسط الكربون    |
| Medium pressure torch     | مشعل لحام متوسط الضغط  |
| Metal - arc welding       | لحام بالقوس المعدني    |
| Mild - steel              | فولاذ طري              |
| Milling                   | تفريز                  |
| Mitre fillet welding      | لحمة زاوية مسطحة الوجه |
| Mold                      | قالب صب                |
| Molecular hydrogen        | هيدروجين جزيئي         |
| Multi - flame             | متعدد اللهب            |
| Maintenance               | صيانة                  |
| Mechanical properties     | الخواص الميكانيكية     |

|                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| Mechanism                   | آلية                  |
| Material science            | علم المواد            |
| Melting point               | نقطة الانصهار         |
| Mechanical working          | تشكيل ميكانيكي        |
| Metallo graphy              | علم دراسة وفحص المواد |
| Metallo graphic examination | فحص ميكروسكوبي        |
| Multiple spot welding       | لحام البقع المتعدد    |

## N

|                             |                                                         |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------|
| Naval brass                 | النحاس الأصفر البحري (يحتوي على جزء بالمائة من القصدير) |
| Negative lap                | تراكب سلبي                                              |
| Neon                        | غاز النيون                                              |
| Neutral flame               | لهب متعادل (في لحام الأكسجين والاستيلين)                |
| Nitrogen case - hardening   | تصليد الفولاذ بالنترة (تأثير منترد)                     |
| Nitrogening electrode       | الكترود غير مستنفذ                                      |
| None ferrous metal          | معدن لا حديدي                                           |
| None-harden-able metal      | معدن لا يتصلد                                           |
| Nonmetals                   | اللامعادن                                               |
| Normalizing                 | معالجة حرارية التنسيق                                   |
| Notch                       | ثلم ، حز                                                |
| Nozzle                      | فوهة                                                    |
| Nikel – chrome steel        | فولاذ نيكلي كرومي                                       |
| Nitriding                   | نترة                                                    |
| Nitrogen – case - hardening | تصليد سطحي بالنترة                                      |
| None – destructive(test)    | الفحص بالطرق اللااتلافية                                |
| Normal stresses             | إجهادات عمودية                                          |
| Nugget                      | عقدة لحامية                                             |

## O

|                        |                                         |
|------------------------|-----------------------------------------|
| Oblique joint          | وصلة مائلة                              |
| Open – joint           | وصلة مفتوحة                             |
| Operating procedure    | خطوات التشغيل                           |
| Oscillating current    | تيار عالي الذبذبة                       |
| Oscillator             | مولد الذبذبة                            |
| Oscillograph           | أوسيلوغراف (راسم الذبذبات)              |
| Output factor          | عامل خارجي                              |
| Over current           | تجاوز حد التيار                         |
| Overhead position      | وضع سقفي (أثناء اللحام)                 |
| Over heating           | تجاوز حد التسخين                        |
| Over lap joint         | وصلة تراكبية                            |
| Overloaded             | محمل فوق المعدل                         |
| Oxidizing flame        | لهب مؤكسد                               |
| Oxidizing slag         | خبث مؤكسد                               |
| Oxy-acetylene blowpipe | حمالات الأكسجين و الأسيتيلين            |
| Oxy-acetylene cutting  | قطع المعادن ب لهب الأكسجين و الأسيتيلين |
| Oxy-acetylene flame    | لهب الأكسجين و الأسيتيلين               |
| Oxy-acetylene torch    | مشعل الأكسجين و الأسيتيلين              |
| Oxy-acetylene welding  | اللحام بالأكسجين و الأسيتيلين           |
| Oxy-arc cutting        | القطع بالقوس الكهربائي مع الأكسجين      |
| Oxidation              | أكسدة                                   |
| Order                  | نظام                                    |
| Oil hardening          | تصليد في الزيت                          |
| Oxy-hydrogen welding   | اللحام بالهيدروجين و الأكسجين           |

## P

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| Parallel – arc welding | اللحام بقوسين على التوازي |
| Parent metal           | معدن الأساس               |
| path                   | مسار                      |



|                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| Penetration                | تغلغل                      |
| Percussive welding         | لحام صدمي (بالمقاومة)      |
| Phase change               | تغير الطور                 |
| Plastic deformation        | انفعال لدن                 |
| Pleug weld                 | لحمة سداسية                |
| Polarity                   | القطبية                    |
| Polyphase motor            | محرك كهربائي متعدد الأطوار |
| Porosity                   | مسامية                     |
| Post heat time             | زمن التسخين اللاحق         |
| Post heat treatment        | المعالجة الحرارية اللاحقة  |
| Post weld interval         | فترة اللحام اللاحق         |
| Powdered metal             | معادن مسحوق                |
| Preheat time               | زمن التسخين المسبق         |
| Press-type welding machine | ماكينة اللحام بالكبس       |
| Pressure-gas welding       | اللحام بالغاز و الكبس      |
| Pressure welding           | اللحام بالضغط              |
| Projection welding         | لحام البروز                |
| Protrusion                 | نتوء ، بروز                |
| Pulsation welding          | اللحام النبضي              |
| Purging                    | تنظيف ، تطهير              |
| Permissible stress         | إجهاد مسموح به             |
| Plate                      | صفحة                       |
| Period                     | دورة                       |
| Permeability               | النفاذية                   |
| Photon                     | فوتون                      |
| Pitting                    | نقر_تنقر                   |
| Plating                    | طلاء                       |
| Plastic deformation        | تشوه لدن                   |
| Putty                      | معجون                      |

|                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| Quantity of heat          | كمية الحرارة                     |
| Quench                    | التبريد بسرعة (في سقاية الفولاذ) |
| Quenched steel            | فولاذ مقسى                       |
| Quenching through         | حوض السقاية                      |
| Quality                   | جودة (نوعية)                     |
| Quality control           | مراقبة الجودة                    |
| Quantitative              | كمي                              |
| Quick-burning composition | مركب سريع الاحتراق               |

## R

|                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| Radiation               | إشعاع                        |
| Radiant-arc furnace     | فرن قوسي إشعاعي              |
| Reducing flame          | لهب مختزل                    |
| Regulator               | منظم                         |
| Refractory material     | مادة صلبة الحرارة            |
| Reheating               | إعادة التسخين                |
| Residual stresses       | إجهادات متبقية               |
| Resistance butt welding | لحام تناكبي بالمقاومة        |
| Resistor                | مقاومة                       |
| Retraction              | انكماش ، تقلص                |
| Reverse polarity        | قطبية معكوسة                 |
| Rheostat                | مقاومة كهربائية متغيرة       |
| Rightward welding       | اللحام إلى اليمين            |
| Rivcl – oxygen cutting  | قطع مسامير البرشام بالأكسجين |
| Roller – spot welding   | لحام النقط المتجاورة         |
| Roll – spot welding     | اللحام النقطي المنقطع        |
| Root                    | جذر                          |
| Root crack              | تشقق جذري                    |
| Root penetration        | التغلغل الجذري               |
| Run                     | سلك لحام                     |
| Rust                    | صدأ                          |

|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
| Rust – resisting         | مقاوم للصدأ           |
| Radiation damage         | أضرار الإشعاع         |
| Radiographic examination | فحص الأشعة            |
| Re-crystallization       | إعادة التبلور         |
| Rockwell hardening test  | اختبار روكويل للصلادة |
| Rontegen rays            | أشعة (روتجن)          |
| Rolling                  | دلفنة                 |
| Rupture stress           | إجهاد الكسر           |
| Rut                      | مجرى ، قناة ، أخدود   |

## S

|                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| seabs                  | نتوءات                         |
| Searfing               | القشط باللهب                   |
| Scarf weld             | لحمة تلحيف                     |
| Seam welding           | اللحام التدريزي                |
| Semi automatic         | نصف آلي                        |
| Semi coated electrode  | الكتروود نصف مغلف              |
| Semi-killed steel      | فولاذ نصف مغلف                 |
| Series spot welding    | لحام النقطة على التوالي        |
| Sheating of wire       | تغليف السلك                    |
| Shielded arc welding   | اللحام بالقوس المحجب           |
| Silent-arc welding     | اللحام بالقوس الصامت           |
| Single level           | شنفرة أحادية (من طرف واحد)     |
| Single-spot welding    | لحام النقطة الواحدة            |
| Slag inclusion         | دقائق خبثية محبوسة داخل المعدن |
| Smothered arc welding  | اللحام بالقوس المكتوم          |
| Solidus                | خط التجمد (في مخططات التوازن)  |
| Spot welding           | اللحام النقطي                  |
| Square corner joint    | وصلة ركنية مربعة               |
| Stagger welds          | لحامات متناوبة                 |
| Starting thermit       | ثرميت البدء                    |
| Straight -line welding | لحام الخط المستقيم             |
| Stress relieving       | التخلص من الاجهادات            |

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| Striking the arc      | قدح القوس             |
| Stub (of electrode)   | عقب الالكترود         |
| Submerged arc welding | اللحام بالقوس المغمور |
| Suction feeding       | التغذية بالسحب        |
| Surface defect        | عيب سطحي              |
| Surfacing             | تكسية سطحية           |
| Shear stress          | إجهاد القص            |
| Shear streangth       | مقاومة القص           |
| Safety factor         | عامل الأمان           |
| Sample                | عينة اختبار           |
| Shortness             | تقصف                  |
| Shrinkage             | تقلص                  |
| Slag                  | خبث                   |
| Synchronizing         | التزامن               |

## T

|                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| Tack welding             | لحام التتقيط                   |
| Tee joint                | وصلة تعامدية                   |
| Tee – type joint         | وصلة شكل T                     |
| Temper time              | زمن الارجاع                    |
| Temperature distribution | توزع الحرارة                   |
| Tempering                | المراجعة                       |
| Tensile strength         | مقاومة الشد                    |
| Thermal conductivity     | الموصلية الحرارية              |
| Thermit fusion welding   | لحام الثرميت بالصهر            |
| Thermostat               | منظم حراري                     |
| Timer                    | جهاز توقيت                     |
| Tolerance                | تفاوت او تسامح                 |
| Torch spot welding       | لحام النقطة بالمشعل            |
| Transverse- seam welding | لحام تدريز عرضي                |
| Twin-carbon arc welding  | اللحام بالقوس الكربوني المزدوج |

|                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| Tensile stress          | إجهاد الشد      |
| Tensile test            | اختبار الشد     |
| Tensile testing machine | آلة اختبار الشد |
| Torsion                 | التواء (لي)     |
| Toughness               | متانة           |
| Transducer              | محول الطاقة     |
| Two-phase               | ثنائي الطور     |

## U

|                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| Ultimate strength         | المتانة القصوى (الإجهاد الاعظمي) |
| Underwater cutting        | القطع تحت الماء                  |
| Unshielded arc welding    | اللحام بالقوس غير المحجب         |
| Unstable                  | غير متوازن ، غير مستقر           |
| Upset                     | فلطحة                            |
| Ultrasonic                | فوق سمعي (صوتي)                  |
| Ultraviolet radiation(uv) | أشعة فوق بنفسجية                 |
| Universal beam            | جائز قياس                        |
| Universal column          | عمود قياسي                       |
| Unstiffened               | غير مدعم                         |
| Upset welding             | لحام الفلطة                      |

## V

|                  |                    |
|------------------|--------------------|
| Vee – joint      | وصلة شكل V         |
| Vertical welding | لحام شاقولي (راسي) |

|                  |               |
|------------------|---------------|
| Voids            | فراغات        |
| Voltage drop     | هبوط الجهد    |
| Ventilation      | تهوية         |
| Viscosity        | اللزوجة       |
| Vaporization     | تبخر          |
| Voltage recovery | استعادة الجهد |

## W

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| Water – cooling   | التبريد بالماء           |
| Wave weld         | لحام متموج               |
| Wavering of arc   | ترغ القوس                |
| Wearing depth     | عمق التآكل               |
| Weld              | لحم ، لحام ، وصلة ملحومة |
| Weldability       | قابلية اللحام            |
| Welded pipe       | أنبوب ملحوم              |
| Welder            | عامل اللحام              |
| Welding apparatus | جهاز لحام                |
| Welding current   | تيار اللحام              |
| Welding electrode | الكترود اللحام           |
| Welding leads     | موصلات تيار اللحام       |
| Welding goggles   | نظارات (عامل اللحام)     |
| Welding machine   | مكنة لحام                |
| Welding mask      | قناع (عامل) اللحام       |
| Welding powder    | مسحوق لحام               |
| Welding press     | مكبس لحام                |
| Welding regulator | منظم تيار اللحام         |
| Welding rod       | قضيب لحام                |

|                     |                              |
|---------------------|------------------------------|
| Welding seam        | درزة لحام                    |
| Welding set         | جهاز لحام (بالقوس الكهربائي) |
| Welding shop        | ورشة لحام                    |
| Welding test        | اختبار الالتحامية            |
| Welding thermit     | ثرميت اللحام                 |
| Welding tongs       | ملقط اللحام                  |
| Welding transformer | محول تيار اللحام             |
| Welding wire        | سلك اللحام                   |
| Weldment            | مجموعة ملحومة                |
| Weld length         | طول اللحام                   |
| Weld pitch          | خطوة اللحام                  |
| Wave length ( )     | طول موجي                     |
| White cast iron     | حديد زهر أبيض                |
| Welder = welder     | عامل اللحام                  |

X

Xenon  
X-ray inspection  
X-ray micrography

غاو الأكزينون  
فحص بأشعة إكس  
التصوير بالأشعة السينية

Y

Y-alloy  
Yield limit  
Yield point  
Yield stress  
Y-joint

سبيكة أساسها الألمنيوم  
حد الخضوع  
نقطة الخضوع  
إجهاد الخضوع  
وصلة متفرعة بشكل Y

Z

Zero voltage

انعدام الجهد

Zincify  
Zone of oxidation

طلاي بالزنك  
منطقة التأكسد





## المراجع العلمية

- 1- باتون ب.إ. وآخرون تقانة لحام المعادن بالقوس الكهربائي \_ موسكو، دار نشر بناء الآلات 1974.
- 2- ريجكوف ن.إ. \_ إنتاج الإنشاءات الملحومة في بناء الآلات الثقيلة. موسكو، دار نشر بناء الآلات 1980.
- 3- فيناكوروف ب.أ. \_ اللحام في بناء الآلات الجزء الثالث \_ موسكو دار نشر بناء الآلات 1979.
- 4- نيكلايف. غ.أ. \_ طرائق اللحام الخاصة موسكو \_ دار نشر بناء الآلات 1980.
- 5- الدكتور محمد علي سلامة \_ هندسة الإنتاج ٣ جامعة دمشق 1990.
- 6- ريباكوف ب.ف. \_ اللحام بالقوس الكهربائي وبالغاز دار نشر (مير) موسكو 1986.
- 7- المهندس محمد عبدالمجيد حسين \_ تكنولوجيا اللحام الكهربائي جمهورية مصر العربية \_ دار الكتب العلمية 2001.
- 8- المهندس نصوح الخياط، مبادئ علم اللحام وتطبيقاته جامعة دمشق 1984.
- 9- قسطنطين موخانوف \_ الإنشاءات المعدنية ترجمة الدكتور داود سليمان المنير دار نشر (مير) موسكو 1973.
- 10- زورين يون. دليل اللحام، ترجمة الدكتور إسماعيل بشور \_ سلسلة الدراسات في مؤسسة الإسكان العسكرية 1988.
- 11- الدكتور السغبيني والدكتور محمد علي سلامة \_ لحام المعادن جامعة حلب 1991.
- 12- الدكتور محمد عز الدهشان وآخرون \_ معجم المصطلحات العلمية لعلوم هندسة المواد \_ جامعة الملك سعود 1989.
- 13- المهندس عماد درويش \_ حساب الوصلات في المنشآت المعدنية \_ دار نشر دمشق 1994.
- 14- المواصفة العالمية لترميز اللحامات International – Standard ISO – 2553 – 1974.
- 15- باتون ب.إ. \_ لحام الكهربائي الخبثي والتعبئة \_ موسكو دار نشر بناء الآلات 1980.
- 16- المهندس سعد كيلو "دليل المهندس في الرسم الصناعي لعناصر الآلات" طباعة وتوزيع م.سعد كيلو عام 1990.

## **اللجنة العلمية:**

- 1- الأستاذ الدكتور جميل أبو جهجاه
- 2- الأستاذ الدكتور فؤاد عازر
- 3- الأستاذ الدكتور محمد علي سلامة

## **المدقق اللغوي :**

الأستاذ الدكتور علي أبو زيد

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات