

Université Mustapha Ben Boulaid Batna 2

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Filière : **Génie mécanique**

Spécialité : **Construction mécanique**

Mastère 1 ; **Semestre 1**

Unité d'enseignement: **UED 1.2**

Intitulée du module :

TECHNIQUE DE SOUDAGE

1. GENERALITES

Parmi les procédés d'assemblages mécaniques, l'assemblage par soudage est le plus répandu dans les domaines industriels (pétrolier et gazier, construction navale, aéronautique, automobile etc.).

Le soudage est une liaison permanente de deux ou plusieurs parties constitutives de nature identique ou différente, soit par chauffage, soit par pression, soit par l'action simultanée des deux, de la chaleur (combustion de gaz, arc électriques) et de la pression. On soude presque la totalité des métaux existants en utilisant plusieurs procédés.

1.1. Vocabulaire de base

A/ Ensemble soudé: ensemble formé par soudure, la zone affectée thermiquement et le métal de base ;

B/ Soudure bout à bout/en bout : assemblage de deux pièces bord à bord. Les assemblages se font le plus souvent en pleine pénétration et sont très résistants ;

C/ Soudure d'angle : assemblage en T ou en L de deux pièces qui se recouvrent ou qui sont perpendiculaires l'une à l'autre ;

D/ Soudage par pression : soudage avec application d'une pression provoquant une déformation plus ou moins plastique des surfaces à souder, sans métal d'apport. Aucune partie constitutive ne subit de fusion. Il est possible, au besoin, de chauffer les surfaces à souder pour faciliter l'assemblage ;

E/ Soudage par fusion : soudage avec fusion assurant la formation du joint sans pression. L'utilisation d'un métal d'apport fondu n'est pas toujours nécessaire ;

F/ Placage: application par soudure, sur la pièce à souder, d'une ou plusieurs couches de métal différent de celui de la pièce. Pour améliorer la résistance à l'abrasion, à la corrosion ou à la chaleur ;

G/ Qualification des modes opératoires de soudage (QMOS) : document contenant la spécification des paramètres exigés pour une application donnée du soudage, en vue d'en assurer la répétabilité

H/ Taux de dépôt : quantité de métal déposé par unité de temps lors du soudage ;

I/ Métal de base : métal assemblé ou rechargé par soudage ;

j/ Apport de chaleur : il est déterminant pour la vitesse de refroidissement de la soudure ;

L'apport de chaleur est donné par la formule suivante :

$$Q = K \frac{UI}{v \times 1000} \text{ en KJ/mm} \quad (1)$$

Où : Q- est la quantité de chaleur apportée (kJ/mm) ;

U- la tension (V) ;

I- l'intensité (A) ;

V- la vitesse de soudage (mm/s) ;

k- facteur de rendement thermique lié au procédé de soudage. Le facteur k égal à 0,8 pour le soudage MMA (manuel à l'arc) et le soudage MIG/MAG (sous protection gazeuse), un facteur k égal à 1 pour le soudage à l'arc submergé, et un facteur k égal à 0,6 pour le soudage TIG.

K/ Zone affectée thermiquement (ZAT): zone du métal de base qui n'a pas fondu mais dont les propriétés ont été affectées par la chaleur dégagée lors du soudage.

1.2. Différents types de soudage

A/ La soudure autogène :

Signifie la participation des bords des pièces assemblées à la composition du joint. Le métal qui compose le joint est de même nature que les pièces à souder. La température de soudage est donc nécessairement supérieure à la température de fusion des pièces à assembler

B/ Soudage homogène :

Lorsque le métal d'apport et le métal de base sont de nature identique. Dans ce procédé, le métal des pièces à assembler participe à la constitution du joint au même titre que le métal d'apport. Opération de "fusion localisée" de deux pièces de même nature. Le métal de base se dilue dans le métal d'apport.

C/ La soudure Hétérogène :

Le soudage est hétérogène lorsque le métal de base et le métal d'apport sont de nature différente. Dans ce procédé, les pièces à assembler ne sont pas portées à la température de fusion et ne participent pas à la constitution du joint. Ce rôle est uniquement rempli par le métal d'apport, dont la température de fusion est plus basse et qui assure, en se solidifiant, une liaison métallique entre les surfaces à assembler. Dans ce procédé on distingue :

a) Le brasage fort : température de fusion du métal > 450°C, avec utilisation du décapant Borax ;

b) Le brasage tendre : température de fusion du métal < 450°C, en utilisant le décapant Borax ;

c) Le soudo-brasage : réalisé généralement au chalumeau. La température à obtenir varie suivant les métaux à souder : - Acier et fonte : 600 à 900°C. - Cuivre : 850 à 900°C. - Aluminium 600°C.

1.3. Les avantages techniques et économiques du soudage:

- a) Les assemblages soudés présentent une résistance élevée par rapport à d'autres assemblages ;
- b) Le soudage est très souvent employé en combinaison avec le moulage, forgeage, estampage etc., ce qui permet d'obtenir des pièces d'une forme très compliquées et de dimensions très grandes ;
- c) Haute productivité, bas prix de revient avec possibilité d'obtention des assemblages étanches ;
- d) Diminution des dépenses initiales des équipements des ateliers de soudage.

1.4. Propriétés des métaux

Les métaux se distinguent en fonction de caractéristiques qui leur confèrent des propriétés spécifiques qui déterminent leur soudabilité, mais aussi la fonction du métal dans un assemblage ;

1.4.1. Fragilité : La fragilité désigne la caractéristique d'un métal qui se brise facilement sous l'effet d'un choc ou d'une déformation. Il se déforme peu ou pas du tout, et se casse facilement ;

1.4.2. Ductilité : À l'opposé, la ductilité représente la capacité d'un métal à se déformer sans se rompre. Il peut être étiré, allongé ou soumis à des forces de torsion. Les matériaux ductiles sont difficiles à casser parce que les fissures ou créés par une déformation se propagent difficilement ;

1.4.3. Ténacité La ténacité correspond à la capacité des matériaux à résister aux chocs sans se briser ni s'écailler. Les marteaux et les équipements utilisés pour déformer ou couper des plaques d'acier (matrices, poinçons, etc.) sont constitués de matériaux de haute ténacité ;

1.4.4. Malléabilité : La malléabilité est une caractéristique qui permet au métal de se laisser façonner. Elle réfère à la résistance relative du métal soumis à des forces de compression, comme le forgeage ou le laminage. Un exemple de matériel extrêmement malléable, quoique non soudable, est la pâte à modeler. Notons que la malléabilité d'un matériau croît avec l'augmentation de la température ;

1.4.5. Élasticité : L'élasticité désigne la capacité d'un matériel à reprendre sa forme originale après avoir subi une déformation. C'est le cas typique d'un ressort qu'on étire puis qu'on relâche ;

1.4.6. Dureté : La dureté est la capacité d'un corps à résister à la pénétration d'un corps plus dur que lui. Elle se caractérise par sa résistance aux rayures. Le diamant est le matériau le plus dur. Les aciers à haute teneur en carbone sont durs, les aciers doux, est moins, et l'aluminium est de faible dureté ;

1.4.7. Résistance à l'abrasion : Les matériaux durs présentent une bonne résistance à l'abrasion, ils ne s'usent pas facilement par frottement. En pratiques, ils sont plus difficiles à meuler ;

1.4.8. Résistance à la corrosion : Désigne la capacité d'un matériau à ne pas se dégrader sous l'effet de la combinaison chimique de l'oxygène et du métal. Un métal ferreux résistant à la corrosion ne rouille pas ; c'est le cas des aciers inoxydables et de certains autres aciers d'alliage ;

1.4.9. Point de fusion : C'est la température à laquelle un métal passe de l'état solide à l'état liquide. Le point de fusion est un facteur important pour déterminer la soudabilité d'un métal. Ainsi, plus le point de fusion d'un métal est bas, moins la chaleur nécessaire pour le souder sera élevée.

1.4.10. Magnétisme : Est la propriété des alliages ferreux, qui les rend sensibles aux aimants .

1.5. Notion de soudabilité

On considère qu'un matériau métallique est soudable, à un degré donné par un procédé donné et pour un type d'application donné, lorsqu'il se prête, à la réalisation d'une construction entre les éléments de laquelle il est possible d'assurer la continuité métallique par la constitution de joint soudé, qui par leurs caractéristiques locales et les conséquences de leurs présences, satisfont aux propriétés requises, est choisies comme base de jugement.

Dans le cas des aciers, un critère de soudabilité est donné par la valeur de carbone équivalent fixé par l'institut international de soudure. Il est donné par [4]:

$$C_{eq} (\%) = \frac{C+Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (2)$$

Avec: C_{eq} : Valeur de Carbone équivalent

Et: C: Carbone, Mn: Manganèse, Cr: Chrome, Mo: Molybdène, V: Vanadium, Ni: Nickel, Cu: Cuivre.

Selon la valeur de Carbone équivalent on distingue que :

- Si $C_{eq} \leq 0.40$, soudage sans précaution ;
- Si $0.40 \leq C_{eq} \leq 0.60$, on effectue un préchauffage entre 100 à 250 C° ;
- Si $C_{eq} \geq 0.60$, soudage difficile ;
- Si $C_{eq} > 0.70$, acier non soudable.

2. CLASSIFICATION GENERALE DES PROCÉDES DE SOUDAGE

Il existe plusieurs procédés de soudage caractérisés par le type de source d'énergie pour l'échauffement et par l'état du métal à l'endroit du soudage.

2.1. Selon la source d'énergie

Selon le type de la source d'énergie on distingue les énergies du type :

- Energie thermoélectrique ;
- Energie thermochimique ;
- Energie mécanique ;
- Energie de focalisation.

Les sources d'énergie doivent être capables d'apporter, en un temps assez court, une grande quantité de chaleur en un point bien localisé. Tout d'abord par l'emploi de la flamme oxyacétylénique puis de l'arc électrique. Les classes des procédés selon les sources d'énergie:

A/ Energie électrique :

- a) Soudage à l'arc électrique sans protection gazeuse :
 - + Avec électrode fusible (M.I.G) ;
 - + Avec électrode réfractaire (T.I.G).

- b) Soudage à l'arc électrique sous flux solide avec électrode fusible ;
- c) Soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée ;
- d) Soudage au plasma d'arc ;
- e) Soudage à l'hydrogène atomique ;
- f) Soudage par résistance électrique:
 - + A la molette ;
 - + Par point.

B/ Energie chimique :

Soudage à la flamme, spécifié par la nature de la flamme.

Ex.: soudage oxyacéthylinique. Soudage par réaction exothermique.

C/ Energie mécanique :

Soudage à la forge. Soudage par ultrasons. Soudage par friction. Soudage par pression.

D/ Energie focalisée :

Soudage au rayon laser. Soudage par bombardement électronique sous vide.

2.2. Selon l'état du métal pendant le soudage:

Selon l'état du métal pendant et à l'endroit du soudage on distingue :

A/ Le soudage par fusion :

Il consiste à porter à fusion les bords des pièces à souder à l'aide d'une source d'énergie tels que l'arc électrique, la flamme de gaz, la réaction chimique, l'énergie de rayons laser, le jet de plasma, etc. Sous l'action de la chaleur les bords du métal sont fondus et établissent une liaison entre eux ou encore avec un métal d'apport, ainsi formant le bain de fusion, après solidification constitue la soudure.

B/ Le Soudage par pression :

Regroupe tous les procédés de soudage dans lesquels on obtient une soudure en général sans métal d'apport, par application d'une pression suffisante pour obtenir une déformation plastique des zones à souder, un chauffage localisé permet la liaison atomique de la zone de soudage :

- a) Soudage en bout par résistance ;
- b) Soudage par points par résistance.

2.3. Description de divers procédés de soudage

Il existe plusieurs dizaines de procédés de soudage et parmi lesquels on peut citer :

2.3.1 Soudage électrique

A/ Soudage à l'arc électrique : La source d'énergie est l'arc électrique qui jaillit entre le métal à souder et le métal d'apport qui est une électrode. Dans ce procédé on peut citer :

a) Soudage en atmosphère inerte (T.I.G) : L'électrode est réfractaire (non fusible) et le bain de fusion est protégé par un gaz inerte comme l'argon ou autre.

b) Soudage avec électrode enrobée : L'enrobage de l'électrode dépose sur le métal en fusion un laitier protecteur. La rapidité d'exécution des soudures est importante et liée au fait que l'apport de chaleur est très localisé.

c) Soudage avec fil électrode sous protection gazeuse (M.I.G) : Ici le métal d'apport est constitué par un fil qui arrive en continu au niveau de l'arc électrique. Le bain de fusion est protégé par un gaz inerte. On peut souder avec ce procédé à une grande vitesse de soudage.

d) Soudage avec fil électrode sous flux en poudre : Même procédé que le procédé M.I.G, seulement ici, la protection du bain se fait par un flux en poudre.

B/ Soudage par résistance électrique :

a) Soudage par points :

Est un procédé d'assemblage discontinu par recouvrement. Il s'applique à des assemblages en tôles d'épaisseur de 0.5 à 10mm pour les matériaux conducteurs (*aciers, aluminium ...*).

Les deux pièces sont placées et maintenues dans leur position respective d'assemblage, puis introduites dans les bras de la machine.

Le chauffage nécessaire à l'endroit du soudage est assuré par effet de Joule :

$$Q = P \cdot R.t. \quad (3)$$

L'intensité de soudage et le temps de son passage de cette intensité jouent un grand rôle dans ce procédé, il est utilisé pour assembler des pièces par recouvrement.

L'action d'une pédale liée à la machine de soudage déclenche pour chacun des points à réaliser un cycle complet qui comprend les phases suivantes:

- + *L'accostage :* les électrodes viennent appuyer et comprimer les pièces à souder ;
- + *Le soudage :* le passage du courant crée une zone fondue par l'effet de Joule ;
- + *Le forgeage ou le maintien:* effet de laisser le temps à l'assemblage de refroidir ;
- + *Le remonté :* la fin du procédé les électrodes s'écartent et reviennent au repos.

Dans ce procédé on distingue :

Les appareils de soudage sont constitués en principe de deux bras portant chacune une électrode. L'un de ces bras est mobile et vient pincer les pièces à souder.

b) Soudage à la molette :

Le principe de soudage à la molette est le même que celui par points, les électrodes sous forme de disques rotatifs en cuivre, réalisant des soudures par recouvrement, continues et étanches.

La soudure se réalise de façon progressive et continue, associant serrage des tôles et passage du courant, sur toute la longueur du cordon à réaliser

Le cycle de soudage, comporte des phases similaires à celles du soudage par point :

+ *L'accostage* : Les deux pièces à souder sont au point de départ et les deux molettes viennent serrer, pour localiser le courant.

+ *Le soudage* : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur primaire, et la rotation des molettes est engagée, créant une liaison continue entre les deux pièces

+ *L'arrêt et le remonté des molette*: qui commande l'écartement des molettes

c) Soudage en bout par étincelage: Ce procédé de soudage par résistance utilisé pour le reboutage des tubes. Les bords rapprochés sous-tension et des arcs s'amorcent provoquant la fusion des bords.

Le soudage en bout par étincelage est utilisé pour assembler les pièces (barres, tubes ...) où ils ont la même section droite. Les pièces à assembler sont placées en contact dans des mâchoires en cuivre, dont l'une est fixée sur un chariot mobile en translation parallèlement à l'axe de soudage.

Les deux sont amenées d'abord à la température de soudage par effet Joule dû à un courant électrique traversant ces surfaces, ensuite un effort de forgeage est appliqué pour finaliser la soudure.

Le cycle se déroule automatiquement de la façon suivante:

+ *avance et accostage* : le chariot mobile entre en mouvement pour rapprocher les pièces qui viennent en contact sous un effort déterminé.

+ *soudage* : le courant passe, déclenché par la fermeture du contacteur primaire du circuit de puissance, et porte les parties en contact à la température de soudage.

+ *forgeage ou maintien* : exercé par l'effort du chariot mobile et à la fin duquel les mâchoires s'ouvrent en permettant le retour au repos du chariot.

d) Soudage par induction : La source d'énergie est le courant électrique induit dans les pièces à souder par l'application d'un champ magnétique intense et de haute fréquence.

e) Soudage par friction : Le principe est le suivant : une pièce est fixe, l'autre animée d'un mouvement de rotation et est appliquée contre la première. L'énergie thermique dégagée par le frottement permet d'atteindre la température de forgeage.

f) Aluminothermie : On utilise ici la chaleur dégagée par la réaction suivante :



Il faut amorcer la réaction soit avec de la poudre, soit avec une résistance électrique. Ce procédé est surtout utilisé pour le soudage des rails de chemin de fer.

g) Soudage par ultra-sons: Ce procédé utilise l'énergie de vibration produite par un appareil électroacoustique. Il est utilisé surtout dans l'industrie nucléaire et en électrotechnique pour les soudages des feuilles d'aluminium, de molybdène, de platine etc. Il est très employé pour assembler les matières plastiques.

2.3.2. Soudage a gaz (*Soudage oxyacéthylinique*)

La source d'énergie est la flamme oxyacéthylinique. Il est le seul procédé utilisé pour l'exécution des joints soudo-brasés ou brasés. Ce procédé présente une grande souplesse et il est recommandé pour l'exécution de travaux délicats sur pièces de nuances diverses et de petites dimensions.

Le soudage oxyacéthylinique C'est vers la fin du siècle dernier et à la suite des travaux du français Georges Claude et de l'allemand Von Linde, que naquit l'idée d'utiliser la flamme pour chauffer localement des pièces jusqu'à leur point de fusion dont le principal but est de les assembler.

On peut obtenir cette flamme par la combustion d'un gaz combustible dans l'air. L'air étant composé de 4/5 d'azote qui ne participent pas à la combustion, comme camburant, (l'oxygène). La haute température (3000°C) de la flamme oxyacéthylinique obtenue par la combustion du mélange d'acétylène et d'oxygène dans une proportion bien définie.

Le soudage oxyacéthylinique est caractérisé par des vitesses d'échauffement et de refroidissement du métal plus faibles en comparaison avec le soudage à l'arc électrique, ce qui conduit à la formation d'une structure à gros grains dans le métal adjacent au cordon de soudure, diminue la résistance du joint soudé et provoque des déformation importantes de la pièce soudée.

A/ Les gaz de soudage et leur stockage

Les bouteilles de gaz inflammables doivent être stockées en extérieur ou dans des espaces bien ventilés. Une signalisation spécifique doit être apposée à l'extérieur de la zone de stockage. Les bouteilles d'acétylène et d'oxygène doivent être soigneusement séparées.

a- L'acétylène (C₂H₂)

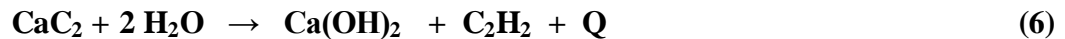
Hydrocarbure gazeux, incolore sont pouvoir calorifique 14000 calories/m³. Il est dangereux au point de vue déflagration, il explose en présence d'une décharge électrique ou de feu. Un mélange d'oxygène et d'acétylène peut exploser à la pression atmosphérique même avec très peu d'acétylène.

Industriellement l'acétylène utilisé pour le soudage et l'oxycoupage est fabriqué à partir du carbure de calcium (CaC₂), lequel est obtenu à partir d'un mélange de carbone (*coke*) et de chaux vive à très haute température, la réaction chimique qui s'y produite est la suivante :



Ensuite l'acétylène est obtenu dans des générateurs par la décomposition chimique du carbone de

calcium avec l'eau selon la réaction suivante :



L'acétylène (C_2H_2) est le gaz combustible. Le tableau 1 donne ses principales propriétés par rapport aux autres gaz combustibles. Il se compose de 92,3 % de carbone et de 7,7 % d'hydrogène. Sa combustion dans l'oxygène produit une température de combustion plus élevée que celle de tout autre hydrocarbure gazeux et sa flamme est bien plus concentrée que celle de tous les autres gaz.

Il forme avec l'air un mélange explosible à des concentrations (2,3 à 82 %.), l'acétylène sous pression est chimiquement instable et peut, dans certaines conditions, exploser en donnant du carbone et de l'hydrogène. On le stocke dans des bouteilles remplies d'un matériau poreux saturé d'acétone, qui absorbe le gaz sous pression de 2 MPa. Une décomposition explosive peut se produire dans les tuyaux partant de la bouteille si la pression dépasse 1,5 MPa.

Tableau 1 Principales caractéristiques des gaz combustibles.

Gaz	Densité (kg/m ³)	Valeur calorifique (MJ/kg)	Température De flamme (°C)	Vitesse de combustion (m/s)
Acétylène	1,07	48.2	3100	13.1
Propane	2.00	46.4	2825	3.7
Hydrogène	0.08	120	2525	8.9

b- L'oxygène (O₂) :

Gaz incolore, inodore. Obtenu par l'électrolyse de l'eau ou par liquéfaction de l'air qui en contient 1/5 de son volume. Il doit être d'une pureté très élevée de 99 %. L'oxygène est stocké sous pression ou à l'état liquide. En bouteille, sous 20 MPa. Les utilisateurs le reçoivent sous forme d'oxygène liquide. Dirigé vers un élément inflammable, l'oxygène pur s'enflamme aisément.

B/ Matériel de soudage oxyacéthylique

a- Stockage de l'oxygène et de l'acétylène :

L'oxygène et l'acétylène sont livrés dans des bouteilles d'acier qui se distinguent de leur capacité. Les plus répandus sont les bouteilles de 40 dm³ de capacité. Elles se distinguent par leurs particularités de construction et par leurs couleurs et doivent porter le timbre du service de contrôle des mines. La couleur conventionnelle de l'ogive de la bouteille d'oxygène est blanche et celle de C_2H_2 est jaune. L'oxygène est comprimé à une pression de 150 bars, qui donne à la pression atmosphérique 7000 litres de gaz pour une bouteille dont le volume est de 46 litres.

Pour les bouteilles de C_2H_2 , on tasse une matière poreuse imbibée d'acétone dans laquelle est emmagasiné du C_2H_2 sous pression de 15 bars. L'acétone peut dissoudre environ 24 fois son propre volume d'acétylène.

Les bouteilles d'acétylène doivent toujours être utilisées dans la position verticale pour éviter que l'acétone ne sorte de la bouteille.

b- Organes de réglages et de sécurité :

Les détendeurs, ont le rôle d'abaisser la pression des gaz (O_2 et C_2H_2) stockés dans les bouteilles (*haute pression*) à une pression de travail utilisable avec les chalumeaux coupeurs ou soudeurs. Ils sont placés entre les bouteilles de gaz et le chalumeau et permettent donc de maintenir stable et constante la pression détendue quelque soit la diminution de pression dans la bouteille. Mano-détendeur pour oxygène. Manodétendeur pour acétylène

Chaque régulateur possède deux manomètres indiquant à tout moment la pression dans le cylindre (*haute pression ou pression à détendre*) et la pression nécessaire au soudage (*basse pression ou pression détendue*).

Le détendeur possède deux chambres, à haute pression communiquant directement avec la bouteille de gaz et la pression qui y règne est égale à celle dans la bouteille et une chambre à basse pression communiquant avec le chalumeau.

c-Tuyaux a gaz (flexible)

Ils sont fabriqués en caoutchouc fortement entoilé et sont de couleur rouge pour l'acétylène et bleue ou verte pour l'oxygène. Ne jamais repérer un boyau avec du ruban adhésif seulement mais insérer une douille de cuivre. Les tronçons de tuyaux raccordés ne doivent pas mesurer moins de 3m de longueur.

d- Dispositif anti-retour de flamme

Le retour de flamme, caractérisé par le claquement qui l'accompagne, est synonyme d'une rentrée de la flamme dans la torche. Il se produit lorsque le débit de gaz ne suit plus la vitesse de combustion de la flamme, de telle sorte que le front de flamme recule. Lorsqu'un retour de flamme, reconnaissable au sifflement qu'il produit, se prolonge, il faut fermer les vannes et robinets de gaz.

En fait, il y a retour de flamme lorsque l'oxygène et l'acétylène remontent dans les tuyaux lorsque de l'oxygène pénètre dans le tuyau d'acétylène et que les deux gaz forment un mélange explosif. Un dispositif anti-retour de flamme fixé sur le régulateur arrête le front de flamme et empêche la flamme d'atteindre la bouteille d'acétylène et de provoquer une explosion.

e/ Chalumeaux soudeurs

Les plus répandus, sont les chalumeaux oxyacétyléniques à injecteurs. En fonction de la pression d'admission des gaz à l'entrée du chalumeau on distingue :

* Chalumeau basse pression : Ils sont conçus pour l'utilisation du C_2H_2 basse pression (0,010 à 0,030 bars). L'oxygène doit avoir une pression de 0,100 bars afin que la vitesse de sortie des gaz soit compatible avec la stabilité de la flamme. C'est l'oxygène qui entraîne le C_2H_2 , vers l'extérieur du chalumeau et d'éviter toute inflammation à l'intérieur du chalumeau.

* Chalumeau haute pression : Dans ce cas, les deux gaz entrent avec des pressions supérieures à 0,150 bars. Un chalumeau basse pression peut être utilisé avec l'acétylène à

haute pression. L'inverse n'est pas possible. Le lot complet du chalumeau comprend plusieurs lances de différents calibres (numérotés).

A chaque numéro de lance, correspondent les dimensions bien déterminées des canaux d'injecteurs et des buses, cela permet de faire varier le débit d'oxygène et d'acétylène lors du soudage.

f- Chalumeaux oxycoupeurs

Les chalumeaux oxycoupeurs produisent la flamme de chauffe et assurent l'amenée d'un jet d'oxygène dans la zone de coupe.

Les chalumeaux coupeurs, comportent deux parties, un tube manche et une lance, leur différence réside dans le canal d'oxygène de coupe muni d'un robinet. La tête est munie de buses interchangeables choisies en fonction de l'épaisseur de l'acier à couper. Les buses peuvent être concentriques produisant une flamme de chauffe annulaire ou bien à flamme multiples.

C/. La flamme oxyacétylénique

La flamme oxyacétylénique est remarquable, elle fournit la température la plus élevée par unité de surface, facilement réglable et la plus réductrice. La structure de la flamme oxyacétylénique avec les répartitions de la température suivant l'axe de la flamme et elle est caractérisée par:

* Ses propriétés chimiques ; * Sa température ; * Sa puissance spécifique.

Dans sa structure on peut distinguer trois zones :

a- Le dard :

Est composé d'un mélange d'oxygène et de produits provenant de la dissolution de l'acétylène. C'est la surface où se fait la combustion primaire du C_2H_2 et d' O_2 suivant la réaction suivante :



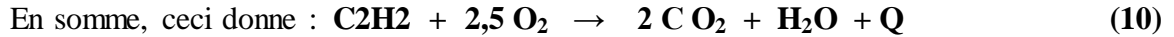
Le dard est blanc, très lumineux et la température la plus élevée $3150^\circ C$. La combustion du carbone et de l'hydrogène dans le dard n'est pas complète, c'est dans le panache que s'effectue leur combustion complète grâce à la participation de l'oxygène de l'air. La combustion complète d'un volume de C_2H_2 nécessite 2,5 volumes d' O_2 . Flamme neutre Flamme carburante Flamme oxydante

b- La zone intermédiaire ou réductrice :

Elle se situe entre le dard et le panache. C'est à l'extrémité de cette zone qu'il faut maintenir le métal d'apport pour le protéger contre les agents corrosifs de l'atmosphère ambiante.

c- Le panache :

C'est dans cette zone que s'effectue la combustion secondaire de C_2H_2 et O_2 avec la participation de l'oxygène de l'air ambiant.



Dans le panache, l'hydrogène et l'oxyde de carbone brûlent en donnant respectivement de la vapeur d'eau et du gaz carbonique le CO_2 qui est neutre, mais il favorise l'attaque du fer. La vapeur d'eau cède son oxygène au métal chaud selon la réaction :



D/ Réglage de la flamme oxyacétylénique :

Selon le rapport entre le volume d' O_2 et d'acétylène consommé, $\text{O}_2 / \text{C}_2\text{H}_2$, la flamme peut être :

* Flamme neutre: Le rapport $\text{O}_2 / \text{C}_2\text{H}_2 = 1$. C'est la flamme dont on se sert pour souder ou chauffer. Elle se traduit par un dard blanc brillant séparé du panache par la zone intermédiaire, il est presque le seul visible à travers les lunettes à souder. Lorsqu'on soude avec une flamme neutre, le métal en fusion est clair et transparent.

* Flamme carburante: Le rapport $\text{O}_2 / \text{C}_2\text{H}_2 > 1$. Une telle flamme est obtenue si à la flamme neutre, on augmente de débit d'acétylène, une auréole se superpose au dard normal qui s'allonge avec l'excès de C_2H_2 , Cette flamme contient une teneur élevée en carbone. On l'utilise pour des rechargements durs de pièces d'usures ou pour des traitements de surface (cémentation).

* Flamme oxydante : Le rapport $\text{O}_2 / \text{C}_2\text{H}_2 < 1$. On peut obtenir une flamme oxydante, si à la flamme neutre, on augmente le débit d'oxygène, le dard se raccourcit ainsi que le panache, la flamme siffle, elle est oxydante et brûle le métal (oxydation de l'acier avec risque de soufflures). Cette flamme n'est jamais employée. Pour souder, la pression doit être :

- a** - de 0,250 à 0,500 bars pour le C_2H_2 ;
- b** - et de 1 à 3 bars pour l' O_2 .

Dans la pratique, on peut s'attendre à un dérèglement du chalumeau ou la flamme se modifie. Si le phénomène se prolonge, la flamme peut s'éteindre avec un claquement, ces incidents sont dus soit :

a- A un écrasement provoqué par des projections d'oxydes surtout lorsque l'on tient le chalumeau trop près du bain de fusion. Un éloignement léger du chalumeau du bain de fusion ou son nettoyage peuvent remédier à cette situation.

b- A un claquement qui est dû à une fuite interne à la buse ou la pression d'oxygène est insuffisante (*réduire le débit à l'aide du robinet*). Les claquements répétés peuvent être évité en mettant le bec du chalumeau dans de l'eau en laissant seul le robinet d'oxygène ouvert. Dans le cas des claquements suivis d'un sifflement avec projection de poussières noires, on doit fermer la bouteille.

c) La flamme décolle: due à la vitesse de sortie des gaz trop grande, on doit réduire les pressions.

2.4. Technique de soudage

Différentes méthodes qui s'appliquent suivant les épaisseurs des joints et leur préparation dont :

- a- bord à bord,
- b- bords relevés,
- c- sur chanfrein en V,
- d- sur chanfrein en X, etc.

2.5. Position de soudage

Les principales positions de soudage sont les suivantes :

- a- A plat.
- b- Au plafond.
- c- En corniche.
- d- Verticale (montante ou descendante)

Dans la position à plat, il est assez aisé d'obtenir une bonne pénétration, convexe et régulière, le bain étant soutenu naturellement par les bords des pièces à souder.

En plafond, au contraire, du fait de la pesanteur du bain de fusion. Il sera difficile de réaliser une bonne pénétration, cette dernière se présentera sous forme concave ou plate. En soudage à l'arc, l'intensité est plus faible pour la position plafond que pour la position à plat (10 à 15 % de moins).

- En position descendante, l'intensité est 15 à 20% supérieure à celle nécessaire pour soudage à plat
- En position montante, l'intensité est 15 à 20% inférieure à celle nécessaire pour le soudage à plat.

2.6. Préparation des bords à souder

En pratique, le mode d'assemblage des bords à souder (*écartement, forme des bords, positions respectives des bords*) joue un rôle important sur la facilité d'exécution d'un joint et sur sa qualité.

La préparation des bords varie en fonction de l'épaisseur des pièces à assembler, de la méthode de soudage et de la position de soudage. Les coupes et chanfreins peuvent être obtenus par :

- Oxycoupage.
- Limage.
- Cisailage.
- Usinage, rabotage ou meulage.

3. PRINCIPAUX DEFAUTS DES SOUDURES

Les défauts des soudures peuvent être divisés en deux catégories : les défauts internes comme les fissures à chaud, les fissures à froid, les fissures au réchauffage et les porosités etc. ; et les défauts ayant une origine purement opératoire tels que caniveaux, manque de pénétration, collage.

3.1. Défauts des cavités

Ce sont des défauts volumiques, elles comprennent :

3.1.1. Défauts des soufflures : Les soufflures sont des défauts fréquents en soudage sphériques, formés par des bulles de gaz enfermées dans le cordon. si elles sont visibles en surface (*débouchantes*) on parle des piqûres et si elles sont allongées, on parle, à des soufflures vermiculaires.

Leurs causes sont dues à des courants d'air, un manque de gaz de protection, ou des impuretés dans le joint à souder. Les piqûres sont causées par le contact entre l'électrode et le métal de base.

3.1.2. Défauts des retassures: Les retassures sont des espaces vides apparaissant lors d'un retrait du métal en se refroidissant.

3.1.3. Défauts des inclusions: Les inclusions c'est l'incorporation dans le cordon, d'un composé étranger. Types d'inclusions.

a - Inclusion solide: Corps solide étranger emprisonné dans la masse de métal fondu (*poussière*).

b- Inclusion de laitier: Les inclusions de laitier peuvent être alignées, isolées ou distribuées aléatoire.

c- Inclusion métallique: Particule de métal étranger emprisonnée dans la masse du métal fondu.

Ces défauts sont détectés par le contrôle visuel et le contrôle radiographie et ultrasons.

3.2. Les fissures

Connues comme des discontinuités brutale dans un matériau; ce sont les plus fréquents défauts dans la soudure. Elles sont divisées en deux catégories selon leur Orientation:

a- Les fissures longitudinales (parallèle à l'axe de la soudure): sont le résultat des taux de refroidissement et de contraintes résiduelles élevées dans les soudures de fortes sections.

b- Les fissures transversales (perpendiculaires à l'axe de la soudure) : sont le résultat des contraintes de retrait longitudinal agissant sur le métal fondu de faible ductilité.

On peut aussi distinguer deux types de fissurations selon le moment où elles surviennent à la suite d'une soudure : la fissuration à chaud et la fissuration à froid.

a- Fissures à chaud: survient au moment de la solidification du bain de fusion, elle est plus susceptible d'apparaître en présence d'impuretés dans le métal de base (comme le soufre ou le phosphore). Elles peuvent être internes ou déboucher en surface mais elles sont toujours localisées dans les espaces inter-dendritiques et suivent donc les directions de solidification.

b- Fissures à froid: elles apparaissent à la phase de refroidissement, vers 200°C ou moins. Elles se développent dans la zone de soudage et la zone affectée thermiquement.

Les méthodes de détection des fissures sont: l'examen visuel, magnétique ou ressuage pour les fissures débouchant en surface; et l'examen par ultrasons ou radiographie pour fissures internes. Donc pour éviter les fissures il faut Choisir un métal d'apport approprié et effectuer un préchauffage approprié ainsi qu'une bonne préparation des joints.

3.3. Morsures et les Caniveaux

- a- Une morsure défaut est un creusage ou insuffisance du métal de base sur une partie du cordon.
- b- Un caniveau est une morsure de grande taille due à une chaleur élevée du métal d'apport.

3.4 Défaut de manque de fusion

Les manques de fusion ou collages sont des manques ou absence de contact entre le métal fondu et le métal de base, ces manques conduisent à des mauvaises continuités métallurgiques entre les métaux à assembler ce qui diminue la section efficace de la soudure.

3.6. Défauts de pénétration

Les défauts de pénétration peuvent être des manques ou des excès de pénétration.

- a- L'excès de pénétration est un surplus du métal d'apport à la racine ou à la surface du cordon,
- b- Le manque de pénétration: insuffisance du métal d'apport au-dessus ou au-dessous de cordon

La méthode d'inspection est le contrôle visuel après l'adaptation des paramètres de soudage et le contrôle radiographie si la racine est inaccessible (*soudures de tuyauteries*).

3.7. Défauts de géométries des cordons

Ce sont des défauts où les déformations du cordon sont lié à la mauvaise préparation des pièces à unir, ils peuvent être: des Défaut d'alignement ou des Défauts angulaires

3.7.1. Défaut d'alignement : Il est remarqué en une soudure bout à bout quand les pièces à unir sont mal bridées le pointage est insuffisant.

3.7.2. Défauts angulaires : Les défauts angulaires sont des déformations (*le pliage ou le cintrage*) généré grâce à la dilatation des pièces sous le grand effet calorifique au cours de l'opération du soudage.

3.8. Défauts des projections

Les projections sont des particules métalliques en fusion projeté pendant le soudage qui adhère au métal de base ou au cordon solidifié.

Ils sont causés par un courant fort, un arc long.