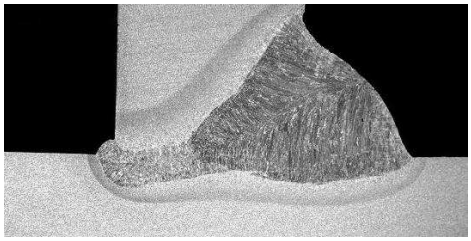
جامعة مولاي إسماعيل
UNIVERSITÉ MOULAY ISMAÏL

المدرسة الوطنية العليا للفنون و المهن
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARTS ET MÉTIERS

MODULE CI_28 : MATÉRIAUX ET PROCÈDES

Fabrication additive et soudage



Pr. Abdellah LAAZIZI

Année 2019/2020

Sommaire

1. Introduction 5
2. Procédés de fabrications et les assemblages 5
2.1. Fonctions d'un assemblage 5
..... 6
..... 6
3. Soudage 6
3.1. Définition 6
3.2. Le principe du soudage 6
3.3. Exigences du soudage 7
3.4. Positions de soudage 7
3.5. Procédé de soudage: Caractéristiques générales 7
3.6. Soudage : quels matériaux peuvent être soudés ? 7
3.7. Appareil de soudage 7
3.8. Énergie du soudage 8
3.9. La pratique du soudage 8
4. Brasure 9
4.1. Le principe de la brasure 9
4.2. Brasure : les matériaux pouvant être brasés 9
4.3. L'appareil de brasage 10
5. Soudage par résistance 10
5.1. Le principe de la soudure par résistance 10
5.2. Matériaux pouvant être soudés par résistance 11
5.3. L'appareil de soudage par résistance 11
5.4. Pratique de la soudure par résistance 11
5.5. Soudure par point 12
A. Le principe de la soudure par point 12
B. Le matériel de soudure par point 12
C. Les déclinaisons de la soudure par point 13
6. Soudure à l'arc 14
6.1. Principe de la soudure à l'arc 14
6.2. Soudage à l'électrode enrobée 14
A. Principe de la soudure à l'électrode enrobée 15
B. Le matériel de soudure à l'électrode enrobée 15
C. Les déclinaisons de la soudure à l'électrode enrobée 16
D. La pratique de la soudure à l'électrode enrobée 16
La méthode : Après mise en œuvre du matériel, la soudure à l'arc à l'électrode enrobée doit se faire après amorçage de l'arc électrique. 16
Le matériel 17
6.3. Soudure MIG/MAG 17
A. Principe de la soudure MIG/MAG 18
B. Le matériel de soudure MIG-MAG 18
C. Les déclinaisons de la soudure MIG/MAG 18
D. La pratique de la soudure à fil fusible sous protection gazeuse (MIG/MAG) 19
6.4. Soudage TIG 19
A. Le matériel de soudure TIG 20
B. Les déclinaisons de la soudure TIG 20
C. La pratique de la soudure à électrode non fusible sous protection gazeuse (TIG) 21

6.5. Soudure plasma 21
A. Le principe de la soudure plasma 21
B. Le matériel de soudure plasma 22
C. Les déclinaisons de la soudure plasma 22
D. La pratique de la soudure à électrode sous protection et accélération gazeuse (plasma) 22
6.6. Soudage laser 23
E. Principe du soudage laser 23
F. Le matériel de soudage au laser 23
G. Les déclinaisons de la soudure laser 24
H. La pratique de la soudure flot cohérent de lumière (laser) 24
7. Soudage chimique 24
7.1. Soudage oxyacétylénique 24
A. Principe de l'oxycoupage 25
B. Matériel pour l'oxycoupage 25
Le poste d'oxycoupage 25
La torche d'oxycoupage 25
C. Les réglages pour l'oxycoupage 25
8. Soudure par ultrason 26
8.1. Le principe de la soudure par ultrason 26
8.2. Les matériaux pouvant être soudés à froid 26
8.3. L'appareil de soudure par ultrason 27
9. Conclusion/Choix d'un procédé 27
10. Critères de choix d'un procédé de soudage 27
11. Hygiène et sécurité 27
11.1. Électrocution 28
11.2. Coup d'arc et rayonnements 28

1. Introduction

Les procédés d'assemblage jouent un rôle très important dans la majorité de domaines industriels. Les procédés de soudage sont une catégorie parmi d'autres.

Pour effectuer un soudage, Il faut réunir les conditions

- Distances entre pièces faibles
- Liaisons entres matériaux doivent exister.

2. Procédés de fabrications et les assemblages

Procédés industriels

Formage des métaux	**Usinage des métaux**	**Assemblage**		**Traitement thermiques**	**Formages des plastiques**	**Usinages des Matériaux ligneux**	**Formage des composites**
		direct	indirect				
Pliage	Perçage	coinçage	Le clouage	cémentation	Thermo-pliage		
Emboutissage	Fraisage	forçage par compression	vissage	Le recuit	Injection	Dégauchissage	
Extrusion	Tournage	frettage	boulonnage	Le revenu	Thermoformage		
Estampage	Rectifiage	sertissage	rivetage			Rabotage	
Laminage	Cisaillage	agrafage	soudage a l`arc				
fluotournage	Oxycoupage	Filetage	soudage a gaz			Toupillage	
Cintrage	poinçonnage			La trempe	Le roto-moulage	Tournage sur bois	
profilage	Electroérosion						
Frittage							
moulage par injection						tenonnage, le mortaisage et gonjonnage	
moulage au sable							
moulage a la cire pendue							

moulage, même que formage des plastiques

2.1. Fonctions d'un assemblage

Un assemblage peut etre realiser pour une ou plusieurs fonctions. Parmi ces fonctions :

- Liaison mécanique
- Transmission des efforts
- Contraintes physiques et chimiques : thermique, corrosion
- Continuité métallique
- Étanchéité
- Autres….

Liaison : Eviter les déplacements de 2 ou plusieurs pièces

Effort: traction, cisaillement, ..

Mode de sollicitation: statique, dynamique, chocs

Continuité métallique

3. Soudage

3.1. Définition

Opération consistant à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité (métallique, propriétés, …) entre les parties à assembler, par l'action d'une énergie (thermique, mécanique,…) et avec ou sans apport métallique.

Le soudage ou l'union moléculaire. Il est un moyen d'assemblage permanent destiné à créer une continuité de la nature des matériaux assemblés : métaux et matières plastiques notamment.

Le soudage autorise l'assemblage permanent par fusion des bords des pièces à réunir et évite les apports de pièces et produits d'union comme les rivets, les agrafes, la boulonnerie.

3.2. Le principe du soudage

L'appellation de **soudage** s'applique dès lors que deux pièces sont réunies de façon à ce que la continuité de la matière entre les deux éléments soit telle qu'au niveau atomique ces deux pièces n'en forment qu'une seule.

En fait, le soudage requiert une dilution du métal d'apport dans les matériaux à souder. Le métal d'apport est identique à celui des pièces à souder. Lorsque le métal d'apport est différent des pièces à souder ou que ces deux pièces sont de métaux différents, on parle de **soudobrasage**, mais la technique reste identique.

En revanche, à la différence de la brasure, le soudage nécessite d'abord une fusion des extrémités des pièces à réunir avant de les assembler en un seul ensemble cohérent. Cette fusion de la matière nécessite une élévation plus ou moins importante de la température selon les matériaux à souder.

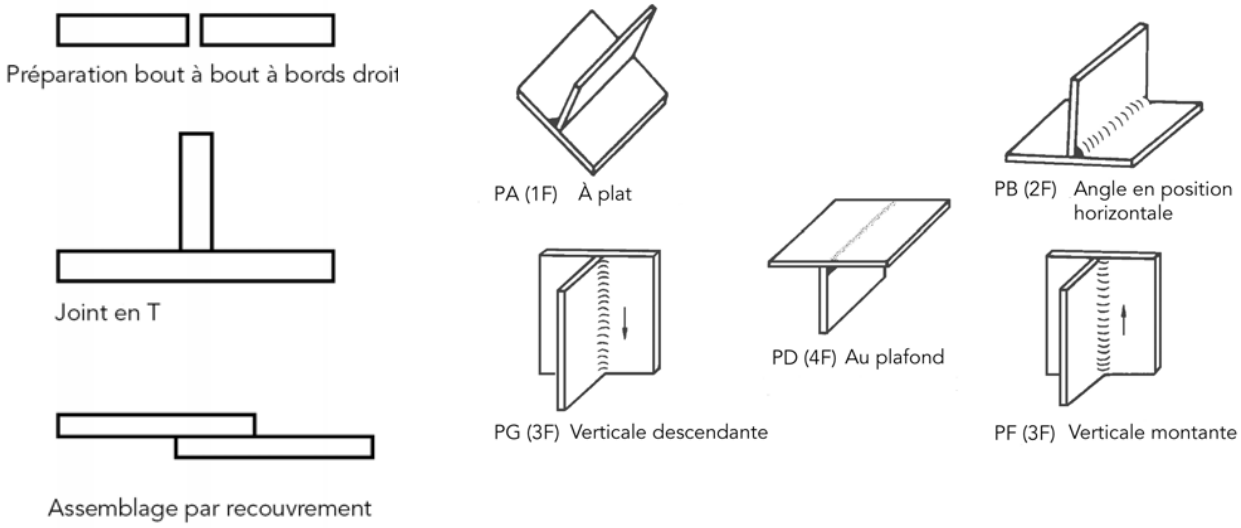
Le soudage rend donc obligatoire la présence :

- des matériaux à souder,
- d'un appareil de soudage,
- d'une alimentation en énergie.

3.3. Exigences du soudage

- Chauffage des pièces jusqu'à T adéquate; souvent T>Tf mais pas toujours.
- Assurer une pénétration suffisante de la zone de liaison à l'intérieur du matériau
- Eliminer les divers risques de contaminations superficielles et atmosphériques
- Obtenir un joint présentant les propriétés recherchées

3.4. Positions de soudage



3.5. Procédé de soudage: Caractéristiques générales

- Source d'énergie définie par sa puissance et sa concentration
- Protection de la soudure
- Dispositif d'apport de métal

3.6. Soudage : quels matériaux peuvent être soudés ?

Chaque métal, alliage de métaux, matériau nouveau ayant ses propres caractéristiques, une méthode de soudage est appliquée par matériau.

3.7. Appareil de soudage

L'appareil de soudage est appelé poste à souder et consiste dans le principe à un dispositif capable d'amener une forte élévation de température contrôlée en un point précis des matériaux à souder.

Selon la méthode pour élever la température de fusion des matériaux à souder, on distingue :

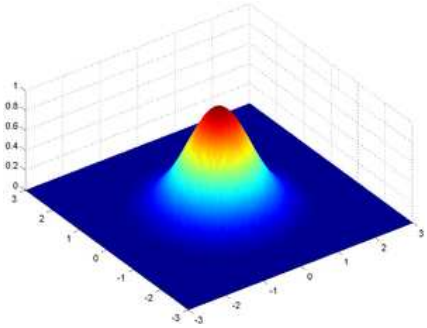
- **le soudage à la flamme utilisant** :
  - la lampe à souder,
  - le chalumeau oxygène acétylène,
  - le poste à souder gaz ;
- **le soudage au fer chauffant** :
  - le fer à souder,
  - la station soudage ;
- **le soudage à l'arc électrique** :
  - Électrode enrobée,
  - MIG-MAG,
  - TIG.
  - Plasma
- **Soudage par action mécanique**
  - Friction
  - Ultrasons
  - Diffusion

3.8. Énergie du soudage

L'énergie à utiliser pour le soudage dépend surtout du point de fusion du matériau à souder. Pour les matériaux à bas point de fusion, le soudage à la flamme ou au fer électrique chauffant permettra d'atteindre la température désirée, mais pour les matériaux à température élevée du point de la fusion, seule l'électricité permet d'obtenir la température suffisante.

La soudure alimentée par l'électricité se partage entre :

- soudage laser ;
- soudure par ultrason ;
- soudure à l'arc électrique selon diverses méthodes :
  - soudure par point,
  - soudage à l'électrode enrobée,
  - soudure semi-automatique,
  - soudure MIG,
  - soudure TIG,
  - soudure plasma,
  - soudure par résistance.



$$Q = k\frac{U\,I}{V \times 1\,000} \quad \text{en kJ/mm}$$

3.9. La pratique du soudage

Le soudage requiert des techniques pour savoir comment souder et une norme soudure ainsi que des précautions : protection soudure.

Le matériel à acquérir, comment choisir son poste à souder, l' achat de poste à souder neuf ou poste à souder d'occasion à moins de recourir à la location de poste à souder.

4. Brasure

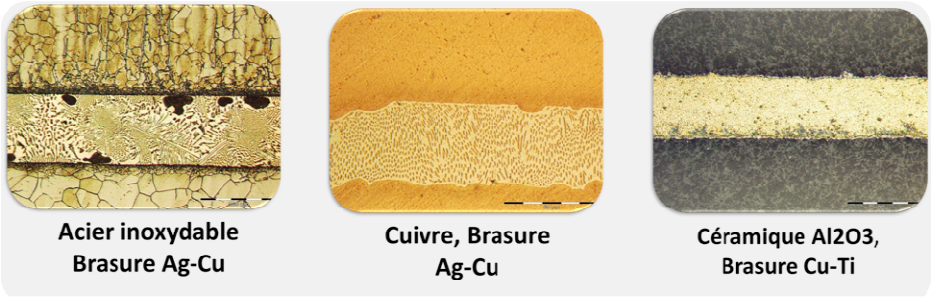
La **brasure** est un moyen d'assemblage permanent destiné à créer un assemblage simulant une continuité des matériaux assemblés par l'ajout d'un métal d'apport.

La brasure autorise l'assemblage permanent par réunion des bords des pièces sans utilisation de pièces d'union comme les rivets, les agrafes, la boulonnerie.

4.1. Le principe de la brasure

La brasure s'applique dès lors que deux pièces sont réunies de façon à ce qu'un métal d'apport simule la continuité de la matière entre les deux éléments, alors qu'au niveau atomique, il n'y a pas pénétration du métal d'apport dans le métal des pièces à assembler.

la brasure ne requiert qu'une fusion du métal d'apport sur les matériaux à réunir. Dans la brasure, le métal d'apport est différent de celui des pièces à unir, il est choisi en fonction de son point de fusion bien moins élevé que celui des pièces à unir.



C'est pourquoi, à la différence du soudage ou du soudobrasage, la brasure ne nécessite qu'une fusion du métal d'apport sans fusion des extrémités des pièces à réunir.

Cette fusion du métal d'apport ne nécessite qu'une relativement faible élévation de la température toujours inférieure à celle requise pour la fusion des matériaux à braser.

4.2. Brasure : les matériaux pouvant être brasés

La plupart des métaux peuvent être brasés à la seule condition que leur température de point de fusion soit supérieure à celle du métal d'apport :

- La **brasure tendre** à l'étain requiert une température de fusion de 200 °C environ et permet un assemblage à faible résistance mécanique sur la plupart des métaux.

- La **brasure forte** à l'argent, au cuivre ou à l'aluminium requiert une température de fusion de 600 °C à 900 °C, et permet un assemblage à forte résistance mécanique sur la plupart des métaux à l'exception de ceux à bas point de fusion : étain, plomb (interdit par la nouvelle norme), zinc.

4.3. L'appareil de brasage

L'appareil pour brasure est un poste à souder léger capable d'amener une élévation de température modérée sur un métal d'apport.

Selon le type de brasure tendre ou forte, il faut élever plus ou moins la température jusqu'à la fusion du métal d'apport, on distingue :

- **la brasure à la flamme utilisant** :
  - la lampe à souder,
  - le chalumeau oxygène acétylène,
  - le poste à souder gaz ;
- **la brasure au fer chauffant** :
  - le fer à souder,
  - la station soudage.

5. Soudage par résistance

Soudage par résistance, l'union parfaite.

La **soudure par résistance** est un moyen d'assemblage permanent destiné à créer une continuité de la nature des métaux assemblés.

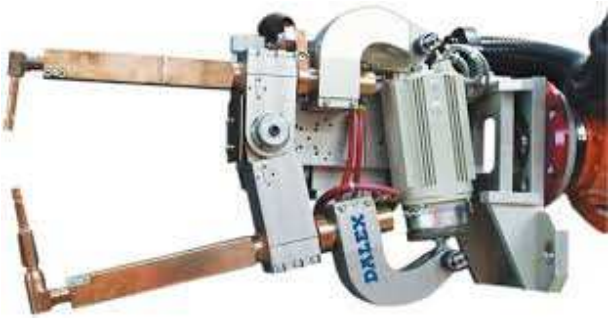
Le soudage par résistance autorise l'assemblage permanent par fusion des bords des pièces à réunir et évite le recours au métal d'apport et aux pièces et produits d'union comme les rivets, les agrafes, la boulonnerie.

Exemple de procédés de soudage par point :

- par point
- par bossage
- par étincelage
- A la molette

5.1. Le principe de la soudure par résistance

L'appellation de soudage s'applique dès lors que deux pièces sont réunies de façon à ce que la continuité de la matière entre les deux éléments soit telle qu'au niveau atomique ces deux pièces n'en forment qu'une seule.



La soudure par résistance requiert une dilution du métal commun aux deux pièces à souder. Le soudage par résistance est un procédé qui n'utilise

pas de métal d'apport, mais met en œuvre les effets conjugués d'une pression mécanique et de l'intensité d'un courant électrique traversant l'assemblage.

Par rapport au soudage classique, le soudage par résistance nécessite d'abord la mise sous pression élevée des pièces à réunir entre elles avant de les faire parcourir par un courant électrique de forte intensité. L'échauffement dû au courant électrique provoque la fusion au point de contact commun de ces pièces.

Cette fusion de la matière mise sous pression nécessite une importante intensité de courant électrique (plusieurs milliers à plusieurs dizaines de milliers d'Ampère) selon l'élévation plus ou moins importante de la température selon les matériaux à souder.

5.2. Matériaux pouvant être soudés par résistance

Chaque métal ou alliage de métaux ayant ses propres caractéristiques, une méthode de soudage par résistance est appliquée par métal obligatoirement conducteur d'électricité.

- soudure acier par résistance :
  - acier non allié,
  - acier galvanisé ;
- soudure inox par résistance ;
- soudure aluminium par résistance ;

5.3. L'appareil de soudage par résistance

L'appareil de soudure par résistance est appelé machine à souder par points ou par bossage, et consiste dans le principe à un dispositif capable de presser fortement les pièces entre elles tout en délivrant une importante intensité électrique entre les électrodes de pression.

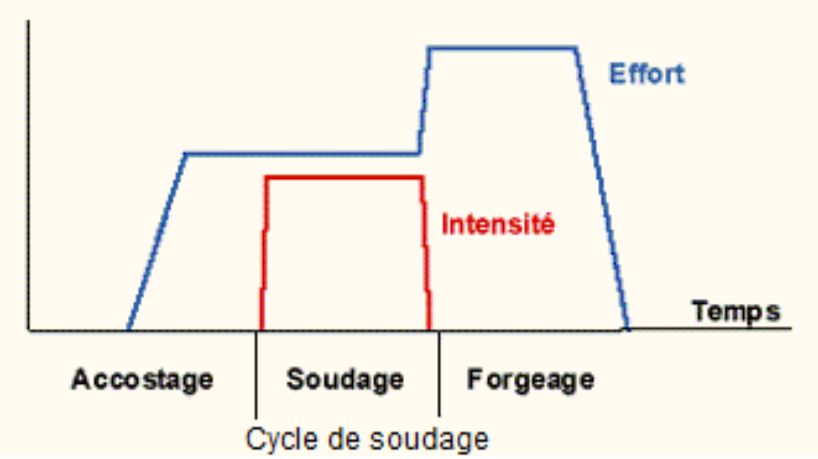
On distingue :

- la machine à souder par points :
  - mécanique où la pression est exercée par une pince,
  - hydraulique où la pression s'exerce via des vérins hydrauliques ;
- la pince à souder portative où la pression est pneumatique.

5.4. Pratique de la soudure par résistance

Le soudage par résistance requiert des techniques assez proches du soudage, il faut donc savoir comment souder et connaître les précautions.

Le matériel à choisir, comment choisir son poste à souder, l' achat de poste à souder neuf ou poste à souder d'occasion à moins de recourir à la location de poste à souder tout en ayant à l'esprit les caractéristiques spécifiques du poste à soudure par résistance.



5.5. Soudure par point

Soudure par point, le soudage des tôles fines sans électrode fusible.

La soudure à l'arc est le type générique de plusieurs méthodes et principes de soudage (dont la **soudure par point**) utilisant l'arc électrique pour élever la température des métaux à souder jusqu'au point de fusion.

A. Le principe de la soudure par point

La soudure par point est une méthode de soudage utilisant le principe de la soudure par résistance à électrode non fusible où l'élévation de température pour obtenir le point de fusion du métal s'ajoute à une forte pression mécanique.

Deux électrodes de cuivre non fusibles compriment les pièces de métal à souder l'une contre l'autre puis les font traverser par un courant de très forte intensité (quelques milliers à quelques dizaines de milliers d'ampères).

Le court circuit électrique au point de contact des deux pièces métalliques créé la fusion du métal en une à deux secondes pour un temps de passage du courant électrique de quelques dixièmes de seconde seulement.

La soudure par point est largement utilisée pour assembler les tôles entre elles (construction automobile notamment), car la brièveté de l'opération et la localisation précise du point de soudure entre les électrodes sous pression limitent la déformation des tôles lors de la soudure.

B. Le matériel de soudure par point

Le matériel de soudure par point se compose soit :

- d'une machine à souder par résistance qui est une machine à pince hydraulique ou mécanique pour assurer la pression associée à un générateur électrique de forte puissance

- d'une pince à souder par point qui est une pince hydraulique mobile. La pince est reliée au générateur par des câbles souples et par des flexibles hydrauliques pour assurer la puissance de pression.

L'électrode soudure est forcément une électrode en cuivre sans métal d'apport.

Comme il n'y a pas d'arc électrique, mais mise en court circuit au point de contact des métaux à souder, la soudure par résistance ne produit pas d'arc lumineux éblouissant. (le masque à soudure n'est pas nécessaire dans l'équipement de protection soudure par point).

C. Les déclinaisons de la soudure par point

Agissant par conductivité électrique, la soudure par point ne sert qu'à souder des métaux conducteurs d'électricité.

La méthode de soudure par point est utilisée pour assembler des tôles dont l'épaisseur est généralement comprise entre 0,5 et 10 mm. Ces deux tôles peuvent avoir des caractéristiques différentes de composition ou de revêtement, et ne sont pas obligatoirement de même épaisseur.

La capacité des métaux et alliages à être soudés par point est fonction de leur résistivité électrique et de leur conductibilité thermique ; on peut distinguer deux catégories :

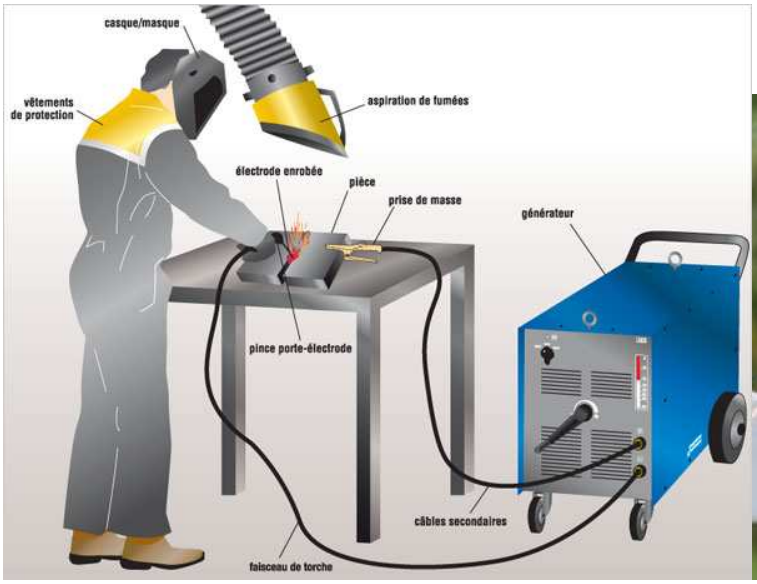
- **1re catégorie** : Les métaux à grande résistivité électrique et faible conductibilité thermique, comme les aciers, qui se soudent avec une faible intensité de courant, mais un temps de passage relativement long.
- **2e catégorie** : Les métaux à faible résistivité électrique et à grande conductibilité thermique, comme l'aluminium et ses alliages ou les alliages de cuivre, qui se soudent avec de fortes intensités de courant et des temps très courts.

Métaux	Informations
acier	L'acier doux se soude très facilement, tout comme que les aciers à faible teneur en éléments spéciaux.
Aciers à tremper	• Les aciers à tremper se soudent, mais exigent un recuit après soudage, car la soudure est devenue fragile suite au refroidissement rapide. • Ce recuit est effectué automatiquement sur certaines machines à souder.
inox	Les aciers inoxydables (chrome-nickel) se soudent très bien par l'emploi d'un courant modéré, sous une pression forte et en un temps de soudage court et précis.
Nickel	Le nickel (et ses alliages) se soude facilement avec une intensité assez élevée.
aluminium	L'aluminium, le magnésium et leurs alliages se soudent à condition d'employer un courant très intense pendant un temps très court.
Laiton	Le laiton se soude plus facilement que l'aluminium en employant un courant élevé pendant un temps court.
zinc	Le zinc et ses alliages contenant du zinc ou du plomb sont très délicats à souder en raison de leur faible température de fusion.
cuivre	Le cuivre sur cuivre est impossible à souder par point ou donne une très mauvaise soudure alors que les alliages rouges et les bronzes phosphoreux se soudent un peu mieux.

Bon à savoir : des métaux et alliages de nature différente sont soudables par points s'ils forment un alliage et si leurs températures de fusion ne sont pas trop différentes.

6. Soudure à l'arc

Soudure à l'arc, de la plus simple à la plus évoluée.



La **soudure à l'arc** est le type générique de plusieurs méthodes et principes de soudage utilisant l'arc électrique pour élever la température des métaux à souder jusqu'au point de fusion.

6.1. Principe de la soudure à l'arc

Le principe de la soudure à l'arc tient dans le principe de l'élévation de température au point de fusion par l'utilisation d'un arc électrique.

C'est l'échauffement créé par la résistivité des métaux parcourus par l'électricité qui élève la température au point de soudure jusqu'à celle requise pour la fusion du métal.

Le poste à souder délivre un courant électrique (alternatif ou continu) :

- La pièce à souder est reliée à un pôle et sur le second pôle c'est une électrode qui transporte le courant électrique.
- L'opérateur manœuvre le porte-électrode pour amener l'électrode à frôler la surface de la pièce à souder.
- L'arc électrique qui se créé provoque l'échauffement du métal de la pièce à souder et la fonte éventuelle de l'électrode.

Bien évidemment, si l'électrode entrait en contact avec la pièce à souder, le dispositif serait en court-circuit d'où les caractéristiques et protections internes du poste à soudure.

6.2. Soudage à l'électrode enrobée

Soudure à l'électrode enrobée : la base de la soudure à l'arc à électrode fusible.

La soudure à l'arc est le type générique de plusieurs méthodes et principes de soudage utilisant l'arc électrique pour élever la température des métaux à souder jusqu'au point de fusion.

A. Principe de la soudure à l'électrode enrobée

Le principe de la soudure à l'arc tient dans le principe de l'élévation de température au point de fusion par l'utilisation d'un arc électrique.

C'est l'échauffement créé par la résistivité des métaux parcourus par l'électricité qui élève la température au point de soudure jusqu'à celle requise pour la fusion du métal et de l'électrode fusible.

Le poste à souder délivre un courant électrique (alternatif ou continu).

- La pièce à souder est reliée à un pôle et sur le second pôle c'est une électrode qui transporte le courant électrique. L'opérateur manœuvre le porte-électrode pour amener l'électrode à frôler la surface de la pièce à souder.
- L'arc électrique qui se créé provoque l'échauffement du métal de la pièce à souder et la fonte de l'électrode enrobée.

Une électrode enrobée est composée d'une âme métallique recouverte d'un enrobage qui formera le laitier.

Le diamètre et la longueur d'une électrode sont définis par les dimensions de son âme.

L'enrobage de l'électrode en fondant sous l'arc électrique participe à la formation d'un laitier protecteur sur le cordon de soudure. Le laitier assure la protection contre l'oxygène de l'air ambiant durant le refroidissement du bain de fusion.

Une fois la soudure refroidie, le laitier sera ôté par piquage à l'aide d'un marteau à piquer.

B. Le matériel de soudure à l'électrode enrobée

Le matériel de soudure à l'électrode enrobée se compose d'un poste à souder à l'arc qui est un générateur électrique relié par un câble à la pièce à souder et par un autre au porte-électrode sur lequel est fixée l'électrode soudure amenant l'arc électrique près de la pièce à souder.

L' électrode soudure est une électrode enrobée qui peut être soit un fil à souder enrobé, soit des électrodes enrobées de différents métaux, tailles et enrobages selon le métal à souder.

On distingue notamment l'enrobage :

- Rutile (R ou RR) : L'enrobage est composé en grande partie d'oxyde de titane (le rutile) ou de composés dérivés, avec des alliages ferreux et des silicates pour affiner le métal.
- Basique : (B) : L'enrobage contient en grande quantité des carbonates de calcium, des alliages et du fondant (spathfluor) abaissant la température de fusion.
- Acides (A) : L'enrobage contient des oxydes de fer et de manganèse ainsi que des désoxydants.
- Oxydant : (O) : L'enrobage contient des oxydes de fer, de silice et de silicates pour un bel aspect de finition en soudage.

- Cellulosique (c) : L'addition de cellulose et de matières organiques produit lors de la chauffe une abondance de gaz dont le souffle améliore la pénétration.

C. Les déclinaisons de la soudure à l'électrode enrobée

Par la possibilité d'assembler des aciers de toutes nuances et de toutes compositions ainsi qu'en raison des excellentes caractéristiques mécaniques des dépôts issus de l'enrobage, la soudure à l'électrode enrobée permet le soudage de toutes les épaisseurs d'acier dans toutes les positions de soudage en mono-cordon ou en passages multiples.

Il suffit de choisir le bon enrobage selon le métal à souder, le diamètre de l'électrode enrobée et l'intensité du courant électrique de soudage.

- Lorsque l'intensité de courant est trop faible, il y a collage de l'électrode enrobée sur la pièce à souder.
    - La fusion est molle, la pénétration est faible et l'amorçage difficile.
    - Il y a une instabilité de l'arc provoquant une mauvaise compacité du métal déposé avec des défauts et des incrustations du laitier dans la soudure.
- Lorsque l'intensité de courant est trop forte, il se produit d'importantes projections aux abords du joint et des écoulements de métal lors du soudage en position verticale.

Intensité du courant (A) par rapport au diamètre de l'électrode (Ø) et à l'épaisseur de la pièce

Épaisseur	**Électrode**				
	Ø 2,0 mm	**Ø 2,5 mm**	**Ø 3,2 mm**	**Ø 4,0 mm**	**Ø 5,0 mm**
3 mm	60 A	70 A	90 A		
4 mm		80 A	100 A	120 A	
5 mm		90 A	110 A	130 A	160 A
6 mm		90 A	120 A	140 A	160 A
8 mm		90 A	125 A	150 A	170 A
10 mm			130 A	160 A	190 A
12 mm			130 A	170 A	190 A
15 mm			130 A	170 A	200 A
20 mm				190 A	220 A

D. La pratique de la soudure à l'électrode enrobée

ou soudure à poste MMA (Manual Metal Arc).

La méthode : Après mise en œuvre du matériel, la soudure à l'arc à l'électrode enrobée doit se faire après amorçage de l'arc électrique.

L'amorçage est fait par frottements légers de l'électrode sous tension sur une pièce martyre (raccordée électriquement à la pièce à souder) et jamais sur la pièce à souder ni sur la pince de masse. L'amorçage est nécessaire pour échauffer l'électrode et former le cratère dans l'âme de la en faisant fondre l'enrobage.

La hauteur de l'électrode par rapport à la pièce à souder est d'environ une fois son diamètre.

- Un bon rapprochement de l'électrode provoque un arc stable au crépitement sec et la lumière est intense sans qu'on y distingue l'étincelle de l'arc électrique.
- Une trop grande distance entre l'électrode et la pièce à souder se traduit par un arc électrique instable au bruit sourd et visuellement l'arc apparaît comme une flamme.

L'orientation de l'électrode et son positionnement doivent être contrôlés en permanence :

- L'électrode doit être maintenue bien au-dessus du chanfrein qui reçoit le cordon de soudure afin de chauffer uniformément les deux lèvres à souder.
- L'électrode doit être inclinée de 60 à 80° par rapport à l'avance du cordon afin que l'enrobage forme le laitier à l'avant de la soudure et non à l'arrière ce qui inclurait du laitier dans le cordon.

La soudure à l'arc à l'électrode enrobée requiert des techniques pour savoir comment souder et connaître les précautions : protection soudure.

Le matériel

Les électrodes enrobées :

- L'utilisation des électrodes rutile (R ou RR) et acides (A) est possible avec un poste à souder en courant alternatif (CA) et en courant continu (CC) en polarité directe.
- Les autres électrodes sont utilisées avec un poste à souder en courant continu (CC) en polarité inverse.
- **En courant continu (CC) avec une polarité directe**, la prise de masse est branchée à la borne positive et l'électrode, à la borne négative.
    - Les électrons circulent de l'électrode vers la pièce à souder et frappent sa surface avec une grande vitesse, concentrant ainsi la chaleur sur le joint.
    - Les ions de gaz inerte sont à ce moment dirigés vers l'électrode négative à une vitesse relativement lente.
    - Le courant continu avec une polarité directe ne contribue donc pas à nettoyer la surface des métaux des oxydes présents.
- **En courant continu (CC) avec une polarité inversée**, l'électrode est branchée à la borne positive et la prise de masse, à la borne négative.
    - Dans ce cas, c'est l'électrode qui reçoit la plus grande proportion de chaleur et non la pièce.
    - Avec la polarité inversée, la pièce demeure relativement froide comparativement au soudage avec la polarité normale; il en résulte une pénétration peu profonde.
    - De plus, la polarité inversée a un effet nettoyant sur certains métaux tels que le magnésium, le béryllium et le cuivre.
    - En effet, les ions de gaz inerte brisent le film d'oxydes en frappant la surface de la pièce à grande vitesse. Il en résulte un effet de nettoyage du bain de fusion.
- **Le soudage en courant alternatif (CA)** réunit les caractéristiques du soudage à l'aide de courant continu avec polarité inversée et avec polarité normale.
    - Ainsi, pendant l'alternance positive, il y a un fort effet de nettoyage du bain de fusion.
    - Durant l'alternance négative, la chaleur est plus concentrée dans le bain de fusion, ce qui a pour effet d'augmenter la pénétration.

6.3. Soudure MIG/MAG

Soudure MIG et soudure MAG : la soudure à l'arc sous protection gazeuse.

La soudure à l'arc est le type générique de plusieurs méthodes et principes de soudage utilisant l'arc électrique pour élever la température des métaux à souder jusqu'au point de fusion.

A. Principe de la soudure MIG/MAG

Le principe de la soudure à l'arc tient dans le principe de l'élévation de température au point de fusion par l'utilisation d'un arc électrique. C'est l'échauffement créé par la résistivité des métaux parcourus par l'électricité qui élève la température au point de soudure jusqu'à celle requise pour la fusion du métal.

Évolution du soudage semi-automatique à fil fusible, la **soudure MIG/MAG** y ajoute la protection de la zone de soudage sous un gaz de protection. Selon si le gaz protecteur est inerte ou actif durant la fusion on parlera de soudure MIG ou de soudure MAG.

- MIG : (Metal Inert Gaz) : un gaz inerte est propulsé sur la soudure en cours (Argon ou Hélium) ;
- MAG (Metal Active Gaz) : un gaz actif concourt à la qualité de la soudure (mélange Argon/CO2 ou Argon/oxygène).

Dans la soudure MIG/MAG, plutôt que de produire un laitier protecteur par la fonte de l'enrobage d'une électrode enrobée ou du fourrage d'un fil continu, c'est un gaz de protection (inerte ou actif) qui protège le bain de fusion de l'oxydation produite par l'air ambiant.

B. Le matériel de soudure MIG-MAG

La soudure MIG/MAG utilise généralement un fil continu de soudage (soudure semi-automatique) plutôt qu'une électrode soudure en raison de la forme de la torche qui oriente du gaz en plus de porter l'électrode. C'est pourquoi un poste à souder MIG/MAG comporte le plus souvent un dévidoir continu de fil de soudure.

Le gaz est stocké dans une bouteille raccordée à la torche via une électrovanne pour contrôler le débit et un détendeur pour réguler la pression.

À noter : l'utilisation d'un fil fourré (fil à souder) permet de se passer de bouteilles de gaz en procédé MAG uniquement.

Le poste à souder à l'arc est un générateur électrique relié par un câble à la pièce à souder et par un autre à la torche de soudage (le fil). Une unité de contrôle semi-automatique ou automatique permet de faire varier l'intensité du courant de soudage en fonction de l'arc désiré et la vitesse d'avance du fil à souder.

C. Les déclinaisons de la soudure MIG/MAG

Par la possibilité d'assembler des aciers, **de l'inox, de la fonte et de l'aluminium,** la soudure semi-automatique à fil sous protection gazeuse permet le soudage de toutes les épaisseurs d'acier dans toutes les positions de soudage en mono-cordon.

Le procédé MIG ou MAG permet de se passer de fil enrobé tout en bénéficiant d'une meilleure protection du bain de fusion et autorise des quantités et vitesses de soudage plus importantes.

- Le procédé MAG, sous atmosphère active, est réservé aux aciers non alliés ou faiblement alliés.

- Le procédé MIG, sous atmosphère inerte, s'emploie pour l'acier inoxydable, les alliages légers et les alliages cuivreux.

D. La pratique de la soudure à fil fusible sous protection gazeuse (MIG/MAG)

L'amorçage est quasi instantané en utilisant du fil et sous protection gazeuse.

La hauteur du fil par rapport à la pièce à souder peut varier légèrement puisque le poste à souder fera varier l'intensité du courant en conséquence.

- Un bon rapprochement de la torche provoque un arc stable au crépitement sec et la lumière est intense sans qu'on y distingue l'étincelle de l'arc électrique.
- Une trop grande distance entre la torche et la pièce à souder se traduit par un arc électrique instable au bruit sourd et visuellement l'arc apparaît comme une flamme.

Le choix du gaz inerte ou actif (mig ou mag) dépend du type de soudure à réaliser :

- Soudure par arc court (short arc) :
  - Le métal se dépose par gouttes dans le bain de fusion par une série de courts-circuits (50 à 200 environ par seconde) entre le fil d'apport et le métal à souder.
  - L'intensité et la tension sont basses (I<200 A et U entre 14 et 20 V). Le fil à souder sort de 5 à 10 mm de la torche.
- Soudure par pulvérisation axiale (spray arc) :
  - L'extrémité du fil fond en très fines gouttelettes projetées dans le bain de fusion.
  - L'intensité et la tension sont élevées (I>200 A et U entre 20 et 40 V).
  - Le fil à souder est un peu en en retrait à l'intérieur de la torche.
- Soudure par transfert globulaire :
  - Méthode intermédiaire entre le régime par arc-court et le régime par pulvérisation axiale.
  - **Les intensités et les tensions sont de valeurs moyennes (I = 200 A et U 20 V environ).**
  - **La pénétration est moins prononcée qu'en court-circuit.**

Courant de soudage	Méthode	Gaz de protection
I < 200 A ; 14 V < U < 20 V	Arc court	• Conseillés : CO2 - Argon + CO2 • Déconseillé : Argon (pur)
I > 200 A ; 20 V < U < 40 V	Pulvérisation axiale	• Conseillés : Argon (pur) - Argon + CO2 • Déconseillé : CO2
I = 200 A ; U = 20 V	Transfert globulaire	• Conseillés : CO2, Argon, Argon + CO2 • Déconseillé : aucun

Soudure TIG : l'autre soudure à l'arc sous protection gazeuse

La soudure à l'arc est le type générique de plusieurs méthodes et principes de soudage utilisant l'arc électrique pour élever la température des métaux à souder jusqu'au point de fusion.

6.4. Soudage TIG

Le principe de la soudure à l'arc tient dans le principe de l'élévation de température au point de fusion par l'utilisation d'un arc électrique. C'est l'échauffement créé par la résistivité des métaux parcourus par l'électricité qui élève la température au point de soudure jusqu'à celle requise pour la fusion du métal.

Évolution du soudage semi-automatique, la **soudure TIG** remplace le fil fusible par une électrode non fusible en conservant l'avantage de la protection de la zone de soudage sous un gaz de protection.

L'électrode non fusible est en tungstène et le gaz utilisé en protection est obligatoirement un gaz inerte d'où le nom de soudure TIG pour (Tungsten Inert Gas). Puisque l'électrode est non fusible, la soudure TIG nécessite l'apport de métal.

Dans la soudure MIG/MAG, plutôt que de produire un laitier protecteur par la fonte de l'enrobage d'une enrobée ou du fourrage d'un fil continu, c'est un gaz de protection (inerte ou actif) qui protège le bain de fusion de l'oxydation produite par l'air ambiant.

A. Le matériel de soudure TIG

La soudure TIG utilise une électrode de soudage non fusible en tungstène incorporée dans la torche.

Le gaz est stocké dans une bouteille raccordée à la torche via une électrovanne pour contrôler le débit et un détendeur pour réguler la pression.

- Le poste à souder à l'arc est un générateur électrique relié par un câble à la pièce à souder et par un autre à la torche de soudage (le fil). Une unité de contrôle semi-automatique ou automatique permet de faire varier l'intensité du courant de soudage en fonction de l'arc désiré et de la taille de la baguette de métal d'apport.
- La torche à souder TIG est équipée d'une buse en céramique permettant de diriger le flux de gaz sur la zone de soudage.

B. Les déclinaisons de la soudure TIG

Par la possibilité d'assembler des aciers, **de l'inox, des alliages et de l'aluminium,** la soudure TIG sous protection gazeuse permet le soudage de toutes les épaisseurs d'acier et d'alliages dans toutes les positions de soudage en mono-cordon.

Le procédé TIG permet de se passer de fil enrobé et de dévidoir de fil tout en bénéficiant d'une meilleure protection du bain de fusion et autorise des quantités et vitesses de soudage plus importantes.

Les buses utilisées pour le soudage TIG :

- buse en céramique (rose foncé),
- buse en aluminium (rose clair)
- buse en corindon (blanc)

Le diamètre de la buse varie de 6 mm à 20 mm suivant l'intensité de soudage.

Les électrodes utilisées en soudage TIG :

- **Tungstène pur** (pointe verte) utilisé pour les alliages d'aluminium,
- **Tungstène + oxyde de zirconium** (pointe jaune) utilisé pour les alliages d'aluminium,
- **Tungstène thorié** (pointe rouge) utilisé pour les aciers et les aciers inoxydables,
- **Tungstène cérié au cérium ou au lanthane** (pointe grise) remplace de plus en plus le tungstène thorié.

C. La pratique de la soudure à électrode non fusible sous protection gazeuse (TIG)

L'amorçage est quasi instantané en utilisant une électrode sous protection gazeuse.

La hauteur de l'électrode par rapport à la pièce à souder ainsi que l'affûtage plus ou moins pointu de l'électrode peuvent varier légèrement puisque le poste à souder fera varier l'intensité du courant en conséquence, mais doivent être surveillées.

De la même manière, le courant de soudage par sa polarité et son intensité devra être adapté en conséquence.

Soudure TIG des aciers et des aciers inoxydables	**Soudure TIG de l'aluminium et des alliages légers**
• Courant continu, • polarité directe, • électrode en tungstène cérié (gris), • affûtage en biseau de 30 à 60°.	• Courant alternative, • polarité alternée, • électrode en tungstène pur (vert), • affûtage à 90°.

Le choix du gaz de protection :

- Argon : pur, c'est le gaz le plus couramment utilisé.
- Argon + Hélium : permet à l'arc de développer une énergie plus importante et une plus grande vitesse de soudage.
- Argon + Hydrogène : plus performant encore que le mélange Argon+Hélium avec une meilleure pénétration de la fusion et un meilleur rendu visuel.
- Argon + Azote : azote en très petite quantité pour souder des aciers complexes.

6.5. Soudure plasma

Soudure plasma : la soudure MIG ou TIG à très haute température.

La soudure à l'arc est le type générique de plusieurs méthodes et principes de soudage utilisant l'arc électrique pour élever la température des métaux à souder jusqu'au point de fusion.

A. Le principe de la soudure plasma

Le principe de la soudure à l'arc tient dans le principe de l'élévation de température au point de fusion par l'utilisation d'un arc électrique.

C'est l'échauffement créé par la résistivité des métaux parcourus par l'électricité qui élève la température au point de soudure jusqu'à celle requise pour la fusion du métal.

Basé sur l'évolution de la soudure TIG et de la soudure MIG, la soudure plasma nécessite un gaz supplémentaire qui mélangé au gaz principal élève notablement la température de soudage jusqu'à l'effet plasmatique.

En conséquence, si le soudage plasma utilise une électrode en tungstène non fusible comme pour le soudage TIG, ou un fil fusible continu comme pour la soudure MIG, celle-ci est protégée par une buse en cuivre qui est en permanence refroidie à l'eau pour éviter sa fusion.

Cette buse canalise d'une part le gaz initial en position centrale et d'autre part le second gaz en position annulaire.

B. Le matériel de soudure plasma

La soudure plasma-TIG utilise une électrode de soudage non fusible en tungstène incorporée dans la torche.

La soudure plasma-MIG utilise un fil de soudage fusible dévidé en continu à l'intérieur de la torche.

Les gaz (central et annulaire) sont stockés dans des bouteilles raccordées à la torche via des électrovannes pour contrôler le débit et des détendeurs pour réguler la pression.

C. Les déclinaisons de la soudure plasma

Par la possibilité d'assembler des aciers, **de l'inox, des alliages et de l'aluminium,** la soudure plasma sous protection gazeuse et à température plasmatique permet le soudage de toutes les épaisseurs d'acier et d'alliages dans toutes les positions de soudage à grande vitesse.

- Pour les tôles fines et très fines à partir de 0,01 mm on utilise le soudage micro plasma (intensité de courant faible de 0,1 A environ).
- Pour les tôles de 1 à 3 mm d'épaisseur, le soudage au plasma classique.
- Pour les tôles plus épaisses, jusqu'à 8 mm, soudage au plasma à jet débouchant, en une passe.
- Pour les épaisseurs plus importantes, le soudage au plasma requiert une poudre d'apport supplémentaire uniquement possible en atelier avec des machines industrielles.

D. La pratique de la soudure à électrode sous protection et accélération gazeuse (plasma)

L'amorçage est quasi instantané en utilisant un jet de plasma.

La hauteur de l'électrode par rapport à la pièce à souder ainsi que l'affûtage plus ou moins pointu de l'électrode peuvent varier légèrement puisque le poste à souder fera varier l'intensité du courant en conséquence, elles doivent donc être surveillées.

De la même manière, le courant de soudage par sa polarité et son intensité devra être adapté en conséquence.

Le soudage au plasma requiert deux gaz différents :

- le gaz central est toujours à base d'Argon additionné ou non d'Hélium ou d'Hydrogène ;
- le gaz annulaire sera principalement :

- de l'Hydrogène pour le soudage des aciers inoxydables ou fortement alliés et les matériaux au nickel ;
- de l'Hélium pour le soudage de l'aluminium et de ses alliages, du titane et du cuivre.

6.6. Soudage laser

Soudage laser : la soudure de précision par lumière cohérente.

Le soudage est un moyen d'assemblage permanent destiné à créer une continuité de la nature des matériaux assemblés : métaux et matières plastiques notamment.

Le soudage autorise l'assemblage permanent par fusion des bords des pièces à réunir et évite les apports de pièces et produits d'union comme les rivets, les agrafes, la boulonnerie.

E. Principe du soudage laser

Le **soudage laser** assure la fusion des lèvres des matériaux à souder grâce à un flot de lumière cohérente qui élève très rapidement la température des matériaux jusqu'à leur point de fusion avec une précision et une finesse que la flamme ou l'arc électrique sont incapables d'atteindre.

Un système génère et concentre l'énergie d'un faisceau laser, de 105 W/cm² à 106 W/cm² environ :

- Le faisceau laser est de l'épaisseur d'un cheveu (capillaire) dans lequel le métal est porté jusqu'à son point de vaporisation au centre et au niveau liquide sur ses parois. Le bain de fusion est déplacé mécaniquement pour la précision du soudage.
- Une fois solidifié à nouveau après le passage du faisceau, le métal assure la continuité métallurgique entre les pièces soudées rendant la soudure invisible à l'œil nu.

Selon les matériaux à souder et l'aspect attendu de la soudure, un gaz inerte ou une poudre fusible peut être apporté sur le bain de fusion afin d'augmenter ses performances et protéger la zone de soudure de l'oxydation par l'air ambiant.

Ce procédé est comparable dans le principe à la soudure MIG MAG ou à la soudure TIG, mais sans électrode.

F. Le matériel de soudage au laser

Le soudage laser utilise obligatoirement une machine d'atelier qui doit être capable de générer et de piloter un faisceau laser puissant sur une ligne de soudage d'épaisseur capillaire.

Il n'existe donc pas de torche manuelle pour le soudage laser.

Le soudage laser détient le record de vitesse de soudage en permettant jusqu'à 8 mètres de soudage à la minute.

G. Les déclinaisons de la soudure laser

Le soudage laser regroupe deux grandes catégories :

- Laser CO_2 :
  - Le laser CO_2 utilise un mélange de dioxyde de carbone associé à de l'hélium et de l'azote pour protéger et parfaire la zone de fusion.
  - Avec peu de puissance ; le laser CO_2 est principalement utilisé pour la découpe de matériaux non métalliques.
  - Le faisceau laser doit être dirigé par miroirs orientables ce qui rend l'usage en mono-poste seulement.
- Laser YAG :
  - C'est un faisceau laser à état solide appelé ainsi car produit à l'aide d'une barre de grenat d'yttrium-aluminium au néodyme placée au milieu de la source laser.
  - De puissance supérieure à 2 kW, le laser YAG est réservé à la soudure et la découpe des matériaux métalliques.
  - Le flux laser peut être dirigé par fibre optique ce qui autorise plusieurs postes de soudage pour une seule source laser.

H. La pratique de la soudure flot cohérent de lumière (laser)

Les applications de la soudure laser sont multiples dès lors que l'on recherche une précision capillaire ou inférieure à l'épaisseur d'un cheveu.

De plus, l'assemblage des plastiques et thermoplastiques en plus de la soudure, du brasage et du soudobrasage des métaux rendent le laser de plus en plus fréquemment utilisé notamment pour tous les matériaux qui ne peuvent être exposés à une élévation de température autre que millimétrique voire micrométrique.

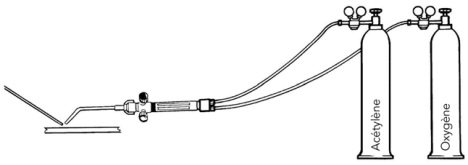
La soudure laser en continu est utilisée par exemple pour : pignons de boîte de vitesse, boules de pétanque, scies diamantées, etc.

La soudure laser par point est utilisée par exemple pour : soudage de lames de rasoir, carrosserie en aluminium, soudage de maillons de chaîne de bijouterie en or, soudage étanche de pacemakers en titane, etc.

7. Soudage chimique

7.1. Soudage oxyacétylénique

Soudage au chalumeau utilise un melanges des gazs. Il peut découpé des pièces métalliques de quelques millimètres à plus d'un mètre d'épaisseur à l'aide d'un chalumeau.
La découpe des pièces métalliques de quelques millimètres à plus d'un mètre d'épaisseur à l'aide d'un chalumeau.
Rapport oxygène/acétylène >1, il y a resque de Formation des oxydes.



- Faible épaisseurs: aciers + fontes, métaux non ferreux
- processus relativement lent

A. Principe de l'oxycoupage

L'**oxycoupage** est un procédé de coupage des aciers à l'aide d'un jet d'oxygène pur envoyé sur une zone de métal amené à son point de fusion.

C'est l'oxydation rapide sous jet d'oxygène qui coupe le métal et non la puissance du jet.

Pour atteindre la température de fusion des aciers, on utilise généralement un poste à souder oxygène-acétylène (1 300 °C environ), mais équipé d'une torche d'oxycoupage spécifique.

B. Matériel pour l'oxycoupage

Le poste d'oxycoupage

Généralement un poste à souder gaz pouvant embarquer également de l'oxygène (oxygaz) ou un chalumeau oxygène acétylène équipé d'une seconde distribution d'oxygène :

- l'une pour la chauffe,
- l'autre pour la découpe dont les pressions de distribution diffèrent.

La torche d'oxycoupage

Alors que le métal doit être maintenu à sa température de fusion, pendant la coupe, le jet d'oxygène tend à refroidir le bord supérieur de la saignée. La flamme de chauffe est la source de chaleur supplémentaire qui conditionne le temps d'amorçage de la réaction d'oxydation et qui influe sur la qualité de l'arête supérieure de la saignée.

La flamme de chauffe est généralement constituée de plusieurs petits dards répartis autour et à proximité du jet de coupe ; cette disposition permet un déplacement dans toutes les directions.

Une tête de coupe est définie par le diamètre du canal de coupe. Ce diamètre détermine, pour une pression donnée, le débit d'oxygène de coupe.

Le choix du calibre de la tête de coupe est fonction de l'épaisseur à couper (indications gravées sur la tête de coupe).

C. Les réglages pour l'oxycoupage

En fonction de l'épaisseur de l'acier et du calibre de la tête de coupe, il faut ajuster la distance entre la buse et la pièce à découper et régler les paramètres de débit des gaz de chauffe et de découpe.

La vitesse de découpe sera également adaptée aux paramètres définis.

Épaisseur de l'acier (mm)	Calibre de la tête de coupe	Distance buse-pièce (mm)	Vitesse (mm/mn)	Pression (bar)		
				O2 coupe	O2 chauffe	Acétylène
03/10	07/10	5 à 8	800 et 650	4 à 6	1,3 à 1,7	0,3 à 0,5
10/25	10/10	5 à 8	650 et 450	5 à 7	1,3 à 1,7	0,3 à 0,5
25/50	12/10	5 à 8	450 et 350	5 à 7	1,3 à 1,7	0,4 à 0,7

50/80	16/10	8 à 10	350 et 250	6 à 8	1,5 à 2,5	0,5 à 0,8
80/120	20/10	8 à 10	250 et 200	6 à 8	1,5 à 2,5	0,5 à 0,8
120/200	25/10	10 à 12	200 et 125	6 à 9	1,5 à 2,5	0,7 à 1
200/300	30/10	10 à 12	125 et 200	6 à 9	2 à 3	1 à 1,3

8. Soudure par ultrason

La soudure par ultrason : la soudure en musique.

Le soudage est un moyen d'assemblage permanent destiné à créer une continuité de la nature des matériaux assemblés : métaux et matières plastiques notamment.

Le soudage autorise l'assemblage permanent par fusion des bords des pièces à réunir et évite les apports de pièces et produits d'union comme les rivets, les agrafes, la boulonnerie.

8.1. Le principe de la soudure par ultrason

L'appellation de soudage s'applique dès lors que deux pièces sont réunies de façon à ce que la continuité de la matière entre les deux éléments soit telle qu'au niveau atomique ces deux pièces n'en forment qu'une seule.

Pour cela, la **soudure par ultrason** qui s'applique uniquement aux matières plastiques et polymères plastiques requiert une dilution de matières sur les lèvres des pièces à souder.

Le soudage nécessite d'abord une fusion des extrémités des pièces à réunir avant de les assembler en un seul ensemble cohérent.

- Cette fusion de la matière est assurée ici par l'émission d'ultrasons qui excitent les molécules à l'intérieur du matériau.
- Cette excitation moléculaire crée un échauffement interne comparable aux micro-ondes du four familial.

Comparable dans l'esprit à la soudure par résistance, la soudure par ultrason utilise :

- un transducteur électromagnétique ou émetteur qui va générer les ultrasons,
- une sonotrode pour transmettre les ultrasons aux pièces à souder,
- une presse pour maintenir en pression les pièces à souder.

8.2. Les matériaux pouvant être soudés à froid

Uniquement les plastiques ou polymères-plastiques peuvent être soudés par ultrason. La pression et la longueur d'onde sonore devront être étudiées en fonction de chaque matériau.

L'avantage de la soudure à ultrason est de ne pas causer d'échauffement périphérique de la matière sur une pièce généralement fusible (empêchant un soudage à la flamme) et non-conductrice d'électricité (interdisant la soudure à l'arc électrique ou la soudure par résistance).

8.3. L'appareil de soudure par ultrason

La machine de soudure par ultrason est forcément une machine d'atelier capable d'embraquer le générateur d'ultrason, la presse et l'animation de la sonotrode.

Le principe de la machine de soudure par ultrason :

- Présentation et alignement des pièces à souder (verte et bleue).
- Descente de la sonotrode et mise en pression des deux pièces.
- Émission brève d'ultrason échauffant la matière au point de fusion.
- Maintien de la pression pendant bref refroidissement.
- Libération de la pièce assemblée.

9. Conclusion/Choix d'un procédé

le choix d'un procédé s'effectuera :

*assemblages conventionnels (*expérience déjà acquise *)*;
par nouvelle évaluation. Dans certains domaines où le soudage et les soudures sont fortement réglementés, le choix du procédé n'est généralement pas libre.

10. Critères de choix d'un procédé de soudage

- L'épaisseur du matériau à souder
- La composition de l'acier : Les aciers ayant une faible valeur de carbone équivalent sont plus aisément soudables et nécessitent pas ou peu de préchauffage.
- Le cahier des charges ; caractéristiques à garantir sur joint (résilience, dureté, compacité…).
- Le lieu où la soudure doit être faite (protection)
- L'accès au joint : Il est nécessaire de s'assurer que l'équipement de soudage, la torche ou la tête de soudage, peuvent être positionnés correctement.
- La position de soudage (à plat, verticale, au plafond…) : Le procédé Soudage a l'arc (EE, MIG, TIG, MAG) ne convient pas pour du soudage vertical ou en position plafond, contrairement à d'autres procédés.
- Le rendement du procédé : détermine la quantité de métal qui peut être industriellement déposée en une heure de travail. On favorise bien sûr les procédés à haut rendement quand cela est possible.

11. Hygiène et sécurité

Dans cette partie, le problème d'hygiène et sécurité sera traite notamment :

- Électrocution
- Coup d'arc et rayonnements
- Fumées
- Protections individuelles

Cette étude traite des dangers que comporte le soudage à l'arc.

Vous y apprendrez la façon :

d'**éliminer ou de maîtriser les risques d'accident**.
vous devrez suivre à la lettre les règles d'hygiène et de sécurité qui s'appliquent au matériel particulier.
Ces règles sont exposées dans les guides d'utilisation qui accompagnent le matériel.

11.1. Électrocution

Quand une personne touche un conducteur sous tension, elle reçoit une décharge électrique qui se traduit par une commotion.

Cette dernière peut **se révéler dangereuse et même fatale.**

De plus, le courant électrique provoque, dans certains cas, une contraction musculaire telle qu'il devient difficile pour la personne électrocutée de lâcher un conducteur sous tension.

Pour éviter de recevoir une décharge électrique, vous devez prendre les précautions suivantes :

- Ne travaillez jamais avec du **matériel mouillé ou humide**.

- Ne **soudez jamais sous la pluie** ou les pieds dans l'eau.

- Lors des opérations d'entretien, débranchez la machine de soudage afin d'éliminer la source du courant.

- Ne portez jamais les câbles sur l'épaule lors du soudage.

- Assurez-vous toujours que la machine de soudage **a une prise de terre**.

- Placez l'interrupteur de la machine en position d'arrêt lorsque la machine de soudage n'est pas utilisée.

11.2. Coup d'arc et rayonnements

L'arc électrique émet des rayons visibles, ultraviolets et infrarouges (c'est aussi le cas du soleil) qui peuvent endommager l'œil si ce dernier est exposé sans protection

Les **rayons ultraviolets** peuvent causer une **conjonctivite** :

Le soudeur a alors les yeux irrités et a l'impression d'avoir des grains de sable logés sous les paupières ; on dit dans ce cas que le soudeur a reçu un coup d'arc.

Ces symptômes n'apparaissent que plusieurs heures après l'exposition. Aussi, les rayons ultraviolets provoquent des **brûlures de la peau**.

Les **rayons infrarouges** causent le larmoiement et des maux de tête. Une exposition répétée aux rayons infrarouges provoque la cataracte, qui peut rendre le soudeur **aveugle**.

Les **rayons visibles** et intenses émis par l'arc provoquent un **éblouissement** qui, à la longue, **diminue l'acuité visuelle** du soudeur.