

SOUDEAGE A L'ARC SOUS FLUX EN POUDRE

SOMMAIRE

1. GÉNÉRALITÉS.....	2
1.1. Désignation normalisée	2
1.2. Historique.....	2
2. PRINCIPE	2
3. DOMAINE D'APPLICATION DU PROCÉDÉ.....	3
3.1. Avantages du procédé.....	3
3.2. Inconvénients du procédé.....	3
3.3. Description de l'installation	4
3.3.1. Source de courant	4
3.3.2. Boîtier de commande et de régulation	4
3.3.3. Tête de soudage.....	5
3.3.4. Automate de soudage.....	5
3.3.5. Aspirateur à flux.....	5
4. LES PARAMÈTRES DE SOUDAGE ET LEUR INFLUENCE	6
5. AMORÇAGE DE L'ARC.....	7
6. NATURE ET UTILISATION DES FLUX.....	7
6.1. Les flux fondus.....	9
6.2. Les flux agglomérés.....	10
6.3. Influence de l'épaisseur de la couche du flux	10
7. PROCÉDÉS DERIVES	16
7.1. Soudage avec deux fils fins ou auto-plurial ou bi-fils fins.....	20
7.2. Soudage avec apport de fil chaud	20
7.3. Le rechargement par feuillard	21
8. RECAPITULATIF DE PERFORMANCES	22

SOUDAGE SOUS FLUX EN POUDRE

1. GENERALITES

1.1. DESIGNATION NORMALISEE

Désignation française	Soudage à l'arc sous flux en poudre avec fil – électrode ou électrode en bande
Désignation américaine	Submerged arc welding with wire electrode or with strip electrode
N° de nomenclature	Avec fil électrode 121 Avec électrode en bande : 122

1.2. HISTORIQUE

Le brevet original de la société UNION CARBIDE date de 1935 sous le nom du procédé UNIONMELT. Il a été introduit en France par la société Soudure Autogène Française un peu avant la guerre de 1940.

2. PRINCIPE

Le soudage à l'arc sous flux en poudre utilise un ou plusieurs fils nus ou un feuillard fusible. L'énergie mise en œuvre pour réaliser le joint est produite par le passage d'un courant électrique entre l'électrode et la pièce à souder, au travers d'un milieu constitué par un laitier résultant de la fusion d'un flux en poudre recouvrant l'extrémité du fil, l'arc et le bain de fusion. Ce procédé n'est utilisé qu'en automatique, le guidage de la tête de soudage est assuré par une potence ou un banc de soudage.

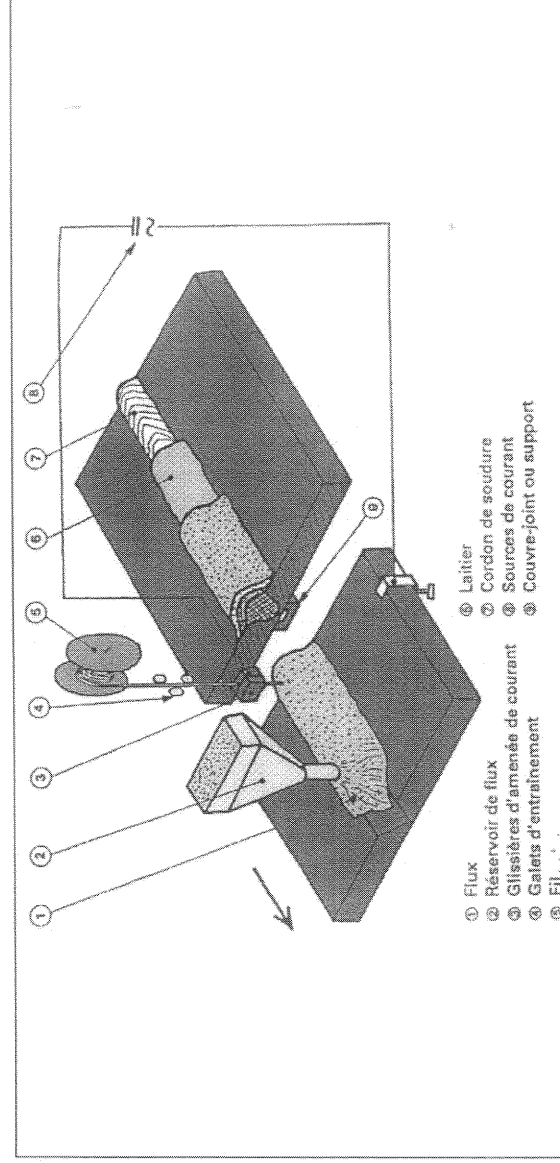


Figure 1

3. DOMAINE D'APPLICATION DU PROCEDE

Le soudage sous flux en poudre s'applique principalement au soudage des aciers ferritiques et austénitiques

Sa forte pénétration, sa haute productivité, son prix de revient, etc., le destinent aux fortes épaisseurs (> 5 mm). Par exemple, il autorise grâce aux énergies de soudage élevées l'assemblage bout à bout en une seule passe de 15 mm d'acier sur bords jointifs chanfreinés.

Les principales applications se trouvent dans le domaine de la charpente métallique, la construction navale, de la grosse chaudronnerie, de l'industrie offshore.

Cependant, sa pénétration sûre, sa vitesse de soudage, la qualité du dépôt et l'aspect des cordons trouvent des applications intéressantes sur les épaisseurs plus faibles (épaisseur ≥ 2 mm environ). Exemple : bouteille de gaz comprimé (butane / propane), banc de soudage, etc. dans ce cas on travaille soit sur latte support soit à partir de préparation à bords soyés.

Il est aussi utilisé pour réaliser des revêtements déposés par soudage. Dans ces applications, afin d'augmenter la vitesse de dépôt, on utilise généralement des installations multi fils ou des électrodes en bandes (feuillard).

3.1. AVANTAGES DU PROCEDE

Ce procédé est avantageux pour déposer des quantités importantes de métal. Les dépôts sont de bonnes qualités notamment avec l'utilisation de flux basique.

Il est utilisé à forte intensité (250-400 A en mono fil), jusqu'à 1500 A en multi fils ou en feuillard.

Il permet des vitesses d'avance élevées (jusqu'à 3 m / mn) et le taux de dépôt est important (2,5 à 12 kg / h en mono fil).

Il a un pouvoir de pénétration élevé ce qui conduit à une simplification de la préparation des bords.

L'arc n'est pas visible et ce procédé ne génère ni projection ni fumée de soudage.

3.2. INCONVENIENTS DU PROCEDE

Du fait de la présence de flux, ce procédé ne permet le travail qu'à plat ou en corniche. Bien qu'il existe quelques rares applications en semi-automatique, la plupart des installations sont des installations automatiques. L'installation, déjà relativement coûteuse, devra nécessairement être complétée par des vireurs, potence ou bancs de soudage. Il faudra par ailleurs prévoir un dispositif d'aspiration du flux ainsi que d'éventuels moyens d'étuvage et de recyclage.

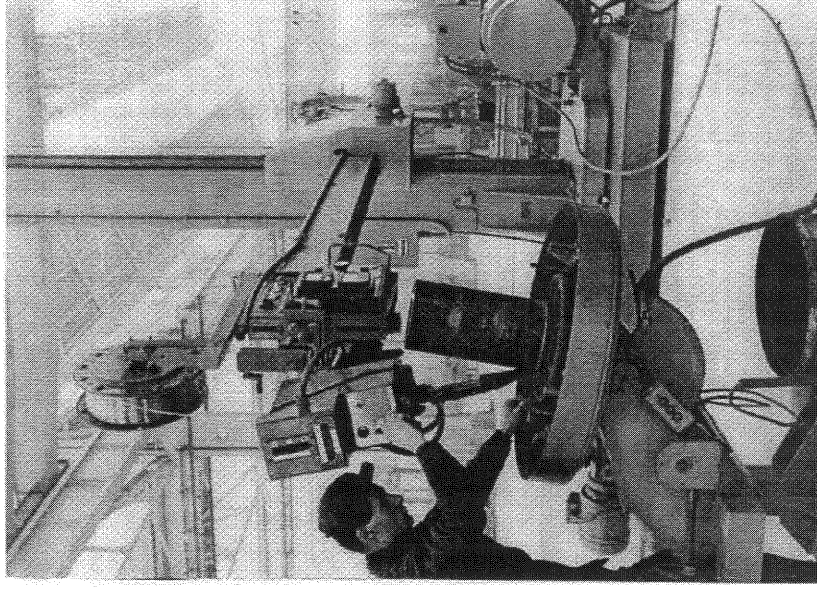


Figure 2

3.3. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

3.3.1. Source de courant

Les générateurs utilisés pour le soudage sous flux solide, bien que de technologie soit proche de ceux utilisés pour les autres procédés, sont en général spécifiques car ils doivent permettre le réglage séparé de la tension et de l'intensité.

Les générateurs à courant alternatifs sont des transformateurs monophasés. Les sources à courant continu étaient, jusqu'au début des années 1980, des génératrices entraînées par un moteur triphasé à courant alternatif. Par la suite ces génératrices ont été peu à peu remplacées par des transformateurs redresseurs à thyristors.

Les caractéristiques électriques statiques des génératrices et des transformateurs monophasés sont toujours plongeantes ;

Jusqu'à 450 A, on utilise plutôt des transformateurs redresseurs à caractéristique statique plate, ce qui permet de jouir du principe de l'auto régulation de l'arc, comme en MIG ou MAG. La vitesse du fil est alors asservie à l'intensité. Ce type de générateur apporte en outre une grande facilité d'amorçage et une remarquable stabilité d'arc, même pour de faibles densités de courant. Pour les intensités supérieures on préférera des transformateurs à caractéristique plongeante ou verticale, le réglage de l'intensité est indépendant. La tension est en générale asservie sur la vitesse d'avance du fil.

La tension à vide des générateurs est comprise entre 50 et 70 volts. L'intensité que doit débiter le générateur est fonction des travaux à exécuter et des diamètres du fil utilisé, en mono fil ou en feuilard intensités comprises entre 250 et 500 Ampère selon la grosseur du fil, en multi fils ou en feuilard l'intensité est comprise entre 700 et 1500 Ampère.

La plupart du temps on soude en courant continu avec une polarité qui dépend du flux que l'on utilise. En courant alternatif, il convient de souder à 450 ampères au moins. Au-dessous de cette valeur, l'arc devient très instable ou nécessite des conditions particulières d'emploi : tension d'arc élevé, préchauffage des pièces.

Pour le soudage au-dessus de 1200 ampères, on préfère le courant alternatif pour limiter les effets néfastes du soufflage magnétique.

3.3.2. Boîtier de commande et de régulation

Il alimente le moteur de dévidage car il contient un régulateur électronique.

La face avant présente toutes les commandes nécessaires au soudage : marche / arrêt, soudure, dévidage manuel lent / rapide, relevage manuel lent, arrêt urgence.

Contrôle vitesse de fil.

Commande de l'électrovanne d'arrivée de flux

En général un ampèremètre et un voltmètre

Eventuellement la télécommande de réglage de la tension et de l'intensité du générateur.

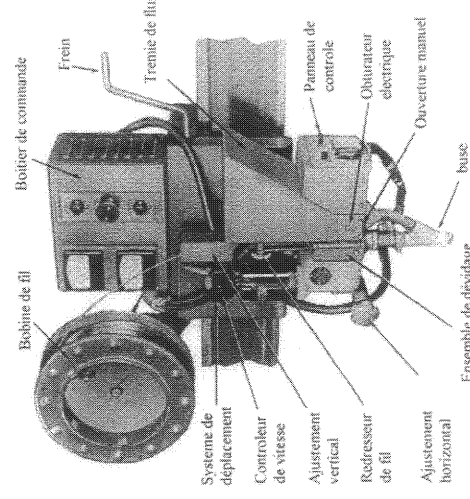


figure 3

3.3.3. Tête de soudage

La tête de soudage comprend

Un groupe moto réducteur à vitesse réglable. La vitesse doit être maintenue constante parce qu'elle fixe la vitesse d'avance du fil,
Le tube contact permettant l'arrivée de courant,
Le tube d'arrivée de flux qui peut être concentrique au tube contact,
Eventuellement, un dispositif de palpage ou de suivi de joint,
Eventuellement, un oscillateur pour le soudage en passe large ou pour effectuer des revêtement.
Le dispositif d'arrivée de fil avec éventuellement le support de bobine de fil.
oscillateur linéaire,

3.3.4. Automate de soudage

Le soudage sous flux en poudre est presque essentiellement un procédé automatique. Il convient donc :

a) *Soit de faire bouger la tête de soudage*

On utilise alors

Des potences : avec mouvement bras / chariot,
Des bancs de rabotage,
Des chariots sur poutre,
Des chariots de chantier au sol.

b) *Soit de faire bouger la pièce à souder*

On utilise alors :

Des vireurs
Des positionneurs,
Des mandrins motorisés,
Des tours de soudage : horizontal ou vertical,
Des unités de rotation.
Des machines spéciales.

3.3.5. Aspirateur à flux

L'installation de soudage est complétée par un dispositif permettant la récupération du flux usagé. Il existe plusieurs types d'appareils.

Les plus simples ne sont constitués que d'un aspirateur. L'excédant de flux est mélangé avec les morceaux de laitier solidifié. Il faut donc par la suite trier les produits récoltés.

Il existe des appareils aspirateurs permettant de recycler le flux. Dans ces appareils, après aspiration, le flux est séparé du laitier, dépoussiéré puis mélangé avec du flux neuf puis stocké dans un réservoir permettant de le maintenir à une température d'environ 100°C si le flux est basique l'ensemble est alors renvoyé à la tête de soudage par une pompe.

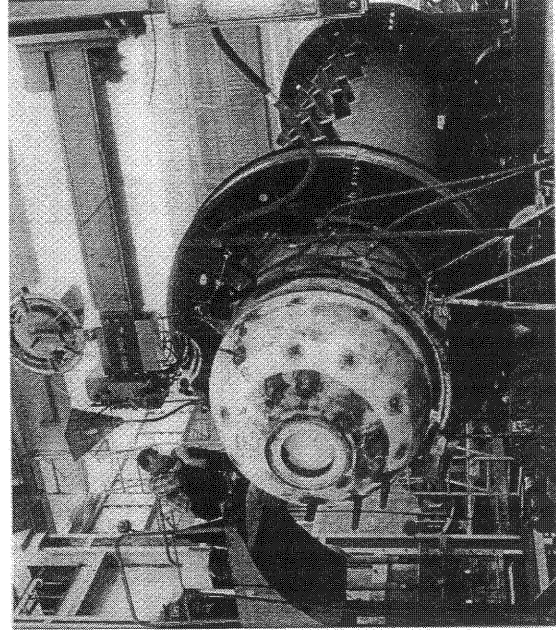


Figure 4

4. LES PARAMETRES DE SOUDAGE ET LEUR INFLUENCE

En soudage mono fil, les résultats dépendent principalement : de l'intensité, de la tension d'arc de la vitesse de soudage, du diamètre du fil et de la polarité

a) *Influence de l'intensité*

La pénétration augmente lorsque l'intensité augmente, mais celle-ci a peu d'influence sur la largeur et la surépaisseur du cordon.

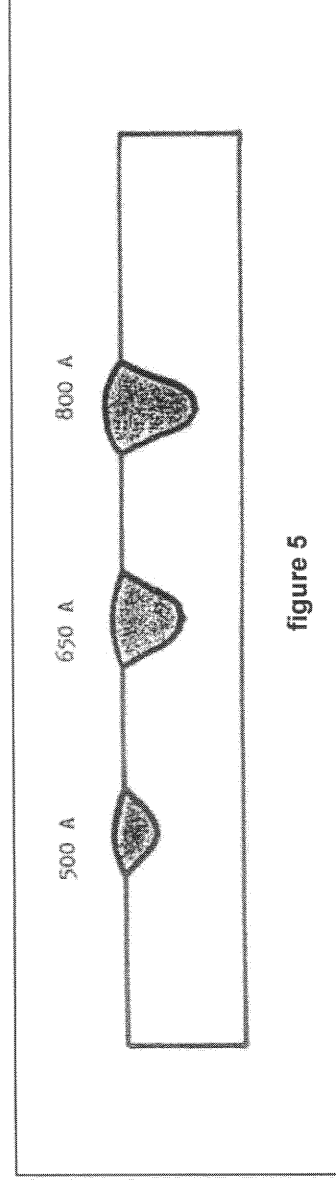


figure 5

b) *Influence de la tension d'arc*

Si la tension à l'arc augmente, la largeur du cordon, la consommation de flux et le risque de caniveaux augmentent.

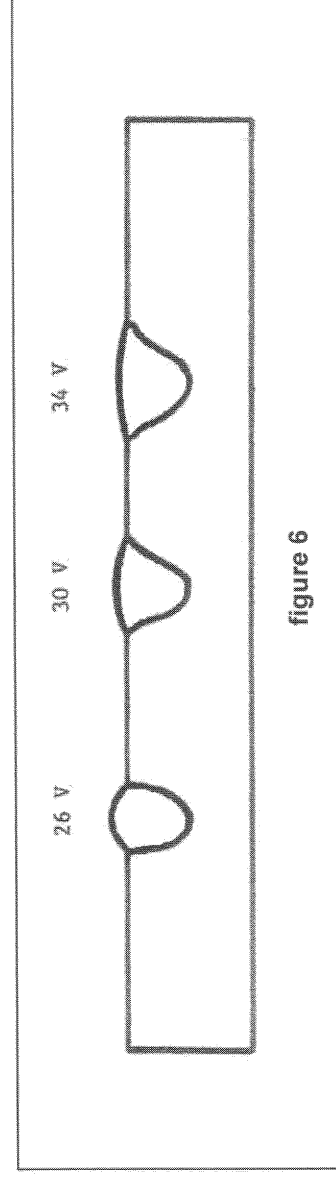


figure 6

c) *Influence de la vitesse de soudage*

Plus la vitesse de soudage augmente, plus le cordon est étroit et plus la pénétration baisse.

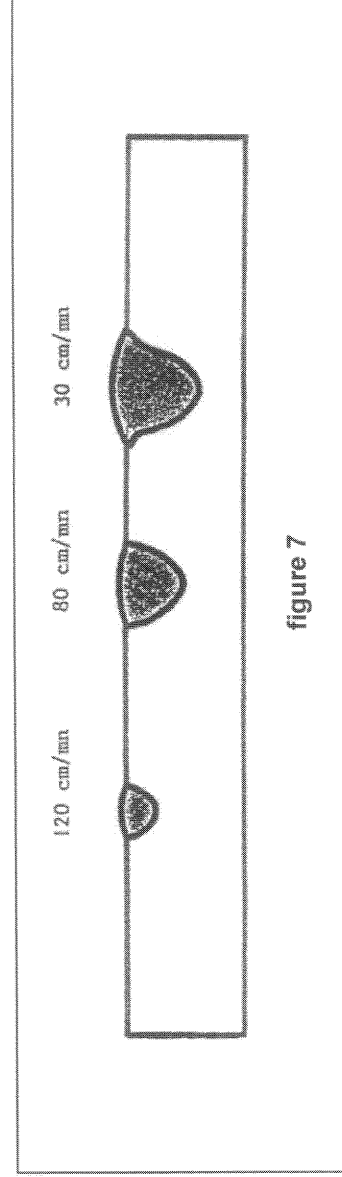


figure 7

d) Influence du diamètre du fil

A autres paramètres constants, la pénétration augmente quand le diamètre du fil diminue.

e) Influence de la polarité

En courant continu, on raccorde généralement le pôle (+) au fil, mais si l'on le met au pôle (-) :

- La pénétration diminue,
- La stabilité de l'arc est moins bonne,
- La vitesse de fusion et le taux de dépôt augmente.

f) Influence de la longueur libre de fil (*stick out*)

Généralement la longueur libre de fil est égale à cinq à sept fois le diamètre de celui-ci. Si cette longueur augmente, la pénétration diminue, l'arc est moins stable. Par contre le taux de dépôt augmente.

5. AMORÇAGE DE L'ARC

Si l'on utilise une source de courant à caractéristiques plates, l'intensité de court-circuit (qui peut atteindre trois fois l'intensité nominale) est suffisante pour obtenir un amorçage immédiat. Les paramètres se stabilisent par la suite très vite.

Si l'on utilise un poste à caractéristique plongeante, l'intensité de court-circuit est trop faible pour obtenir un amorçage immédiat, il faut l'aider par un artifice. Si la tête de soudage ne dispose pas d'un dispositif d'amorçage spécifique par courant HF ou par système "retract" (inversion momentanée du sens de dévidage), il convient de disposer au bout du fil d'un petit matelas de paille de fer qui se volatilise au moment de l'amorçage.

Le démarrage peut cependant se faire à la volée. Le fil est en léger contact avec la pièce, on démarre le chariot, puis on applique le courant. A cause du déplacement du chariot, le fil ne colle pas à la pièce. Cette solution est souvent retenue pour les démarrages fréquents si la position du début de cordon n'est pas impérative ou si l'on amorce sur un appendice.

6. NATURE ET UTILISATION DES FILS

Le choix du fil électrode est fait en fonction :

- du matériau à souder (nuance ou qualité),
- de l'épaisseur,
- du mode opératoire.

Il y a différents diamètres possibles (mm) : 1,2 - 1,6 - 2,0 - 2,4 - 3,2 - 4,0 - 5,0 (plus rarement 0,8 et 6,0 mm).

Il existe un rapport direct entre le diamètre du fil et le courant d'arc qu'il peut supporter.

En règle générale : on peut calculer de la manière suivante les valeurs moyennes approximatives de l'intensité que peut supporter le fil électrode.

- limite inférieure : diamètre électrode (mm) x 100,
- limite supérieure: diamètre électrode (mm) x 200.

Exemple dans le cas d'un acier non allié

Ø (mm)	PLAGE D'INTENSITE (EN AMPERES)		
2,0	160 – 400	} peu utilisés	
2,4	180 – 220 – 500 – 520		
3,2	250 – <u>320(*)</u> – <u>650</u> – 700	} souvent utilisés	
4,0	400 – <u>460</u> – <u>800</u> – 900		
5,0	450 – <u>550</u> – <u>1100</u> – 1200	} peu utilisé	
1,2	650	MAXI	
2 x 1,6	850	MAXI	

(*) Les chiffres soulignés indiquent la plage d'utilisation normale.

N.B. – Dans certains cas d'application on peut être amené à souder avec des densités de courant plus élevées que la plage préconisée.

Exemple : pour un fil de Ø 3,2 mm : 1000 A en soudage à 3 électrodes.

6.1. COURBE DE FUSION DU FIL

Celle-ci mesure la vitesse de fusion et elle est principalement fonction :

- du diamètre du fil,
- de la nature du courant : continu ou alternatif,
- de l'intensité appliquée,
- de la longueur de la partie terminale,
- de la polarité en courant continu : + ou – à l'électrode,
- de la nature du fil : acier doux ou inox.

Par contre , elle est peu différente d'une poudre à l'autre.

Exemples :

Les courbes de fusion obtenues avec des fils inox sont nettement différentes de celles obtenues avec des fils d'acier au carbone, pour les mêmes diamètres et des intensités égales :

VITESSE DE FUSION INOX \neq VITESSE DE FUSION ACIER DOUX x 1,2

7. NATURE ET UTILISATION DES FLUX

Les flux sont constitués d'un mélange de nombreux produits où domine les oxydes de manganèse, les silicates de chaux complexes, l'alumine, la magnésie, le rutile et le fluorure de calcium. Il existe deux familles de flux

7.1. LES FLUX FONDUS

Il s'agit d'un mélange de produits minéraux fondus au four électrique, coulés sur une sole refroidie, concassés, broyés et tamisés. Leur structure est granulaire avec un aspect vitreux ou cristallisé. La grosseur des grains contenus dans le mélange est normalisée. Par exemple 1250 x 80 (dénomination de l'ancienne norme NF A 81 319) signifie que le grain passe au travers d'un tamis de maille 1,25 mm mais ne passe pas au travers d'un tamis de maille 0,8 mm

Le choix de la granulométrie est fonction :

- Du type de flux,
- De l'intensité
- De la forme du joint

La granulométrie du flux influence beaucoup la soudabilité opératoire :

- Plus la granulométrie est fine :
 - Meilleur est le mouillage (influence sur l'aspect du cordon)
 - Moindre est la pénétration,
 - Plus grande est la facilité en angle avec une forte gorge,
 - Plus la consommation de flux est importante,

- Plus la granulométrie est grosse, plus le dégazage est facile

Les flux fondus :

- Ont un aspect vitreux,
- Contiennent très peu d'eau : faible reprise d'humidité.
- Sont homogène : chaque particule aura la même analyse du fait que le flux est à l'état liquide dans le creuset.
- Tiennent bien au recyclage :
- Forment peu de poussières.
- Permettent le soudage avec des intensités plus élevées (limite : 1400 A avec 1 fil).

7.2. LES FLUX AGGLOMERES

Ils sont obtenus par agglomération de produits minéraux et de poudres métalliques au moyen d'un liant, ensuite on effectue une cuisson qui permet le séchage de celui-ci.

Dans ce cas, le flux se présente sous forme de grains compactés. La fabrication de ces flux se fait par un processus continu : marche 24 heures sur 24.

Granulométrie : Avec ces flux, il n'existe qu'une granulométrie qui est de : 1400 - 200 (norme française).

Précaution d'emploi : Pour certains travaux nécessitant une teneur en H² diffusible faible (NFA 81 307) un étuvage devient indispensable. La température minimum étant de 200 °C pendant 2 heures. (Mais elle peut être aussi, d'après la norme, de 400 °C pendant 1 heure avec un maximum de 600 °C pendant 1 heure).

Les flux agglomérés :

- Sont constitués de grains compacts. Dans ce type de flux, certains éléments peuvent être apportés sous forme de ferro-alliages, car dans ce cas on part de particules broyées très finement et liées.
- Provoquent une fusion plus douce que les flux fondus.
- Forment des laitiers facilement détachable, même en fond de chanfrein.

7.3. INFLUENCE DE L'EPAISSEUR DE LA COUCHE DU FLUX

Elle doit être suffisante pour assurer une bonne protection du bain de fusion liquide pour éviter les projections, les arcs visibles... Pratiquement on fera en sorte que le lit de flux arrive un peu au-dessus du tube contact

7.4. CONDITIONNEMENT DES FLUX

Il existe deux types de conditionnement standard :

➤ **pour les flux fondus :**

- sac papier de 50 kg,
- fût de 100 kg

➤ **pour les agglomérés :**

- sac papier de 50 kg.

7.5. ETUVAGE DES FLUX

Pour les soudures pour les quelles il y a un risque de fissuration à froid, on utilise des flux agglomérés dits « bas hydrogène », c'est à dire qu'il ne sont pas susceptible de produire un taux d'hydrogène diffusible supérieur à 5 ml / 100g de métal fondu. Avant utilisation, ces flux doivent être étuvés dans des condition proche de ce que l'on pratique pour les électrodes basiques.

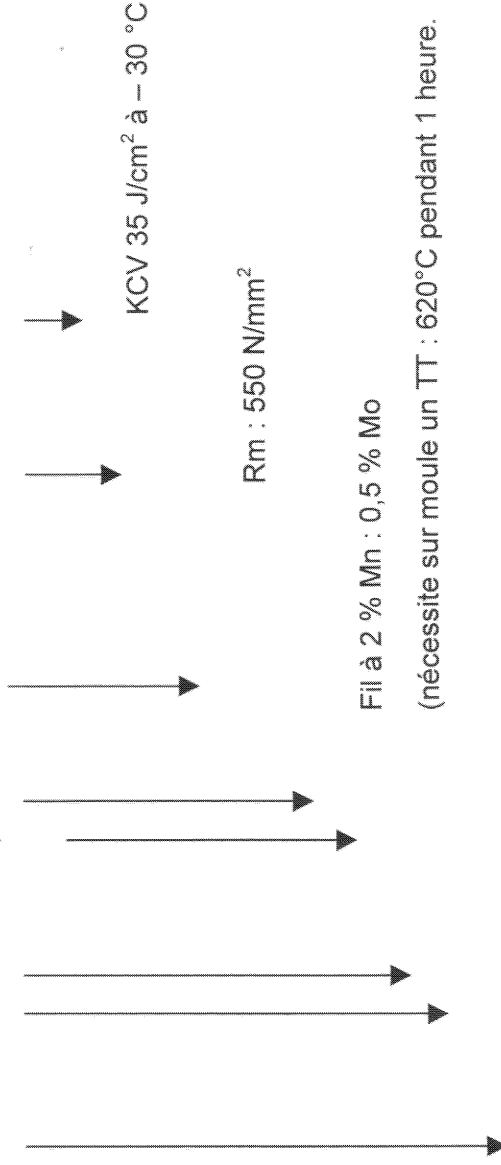
Exemple de condition d'étuvage :

- 200 °C pendant 2 heures.
- 400 °C pendant 1 heure.

fondu F

Exemples 1 : pour le couple AS 40 / AS 89 pour acier résistant à chaud

FP / F 4 - CS 2 - SA4 MO - 55 - 03



CC

Silicate de calcium

Granulométrie : 1400 x 100

Flux fondu

7.6.3. Composition chimique

En soudage, il y a échange des éléments dans l'arc. La composition chimique du métal déposé dépend : du fil, du flux, des paramètres de soudage (I et U).

En général :

- si l'intensité augmente, les échanges diminuent (schématiquement, on tend à retrouver l'analyse du fil),
- si la tension augmente, les échanges fil / flux augmentent.

7.6.4. Caractéristiques mécaniques

Celles-ci varient avec la préparation des bords à souder.

- a) **a) Cas des tôles fines** : le soudage se fait en général sans préparation ou avec un petit chanfrein pour éviter les surépaisseurs. Dans ce cas la dilution peut atteindre environ 70 %.

Les caractéristiques mécaniques du joint tiennent compte du trinôme :

Métal de base <> Fil <> Flux

Exemple : Acier A42 AP.

La norme demande des KCV à - 20 °C. Dans ce cas, on optera pour un couple AS 35 ou S 4T 2 AR S2Mo en mono ou bi-passe .

b) b) Cas des fortes épaisseurs

Soudage multipasse : Dans ce cas, on utilise généralement des préparations avec chanfrein. De ce fait, il y a peu de dilution du métal de base.

Les caractéristiques mécaniques proviennent essentiellement du métal déposé par le couple FIL/FLUX.

Exemple : Acier A42 FP.

La norme demande : rupture mini 420 daN/mm²

KCV – 40 °C 35 J/cm²

8. MISE EN ŒUVRE DE LA SOUDURE

8.1. CONCEPTION DES JOINTS

Rappels :

- Ce procédé ne permet que le travail à plat et éventuellement en corniche.
- Il ne peut réaliser que des pénétrations partielles : soudage sans support envers.

Exemples :

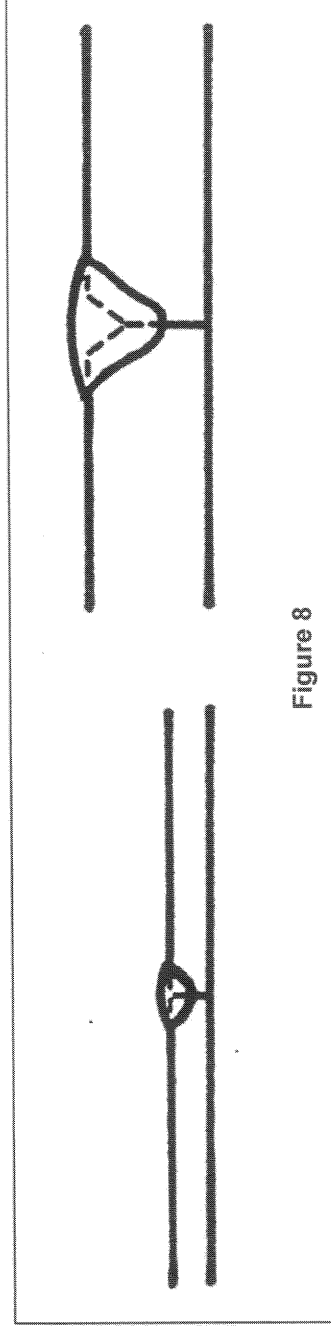


Figure 8

Pour obtenir une pénétration totale, il faut nécessairement un support envers, de tel sorte que le volume important du bain de fusion soit maintenu soit :

- par une latte en cuivre ou céramique.
- par une latte en acier de même composition chimique que le métal de base, subsistante ou non subsistante
- Par la pièce elle-même (fig.14).

8.1.1. Préparation en mono ou multipasses

Préparation en une ou plusieurs passes en soudage manuel ou automatique et avec ou sans accès à l'envers du cordon :

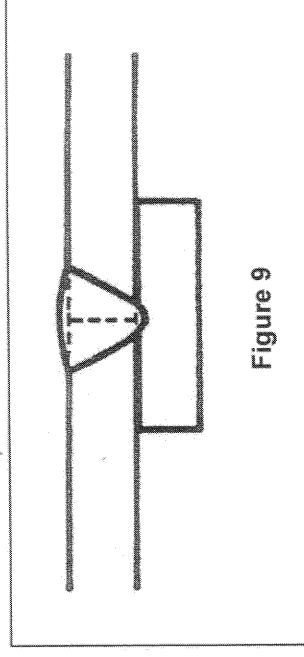
- soit à l'électrode enrobée ou MIG,
- soit en TIG ou en PLASMA.

8.1.2. Préparation sur latte perdue (*)

L'épaisseur de la latte perdue est fonction de l'épaisseur à souder.

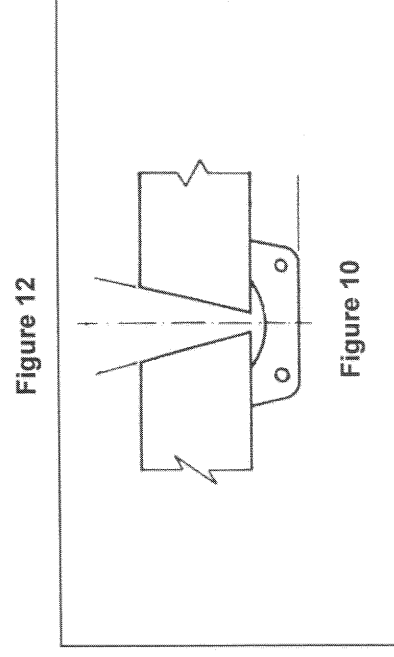
Le support subsistant restera apparent s'il n'empêche pas le fonctionnement en service de la pièce.

Il sera usiné si cela est nécessaire.



8.1.3. Préparation sur latte refroidie

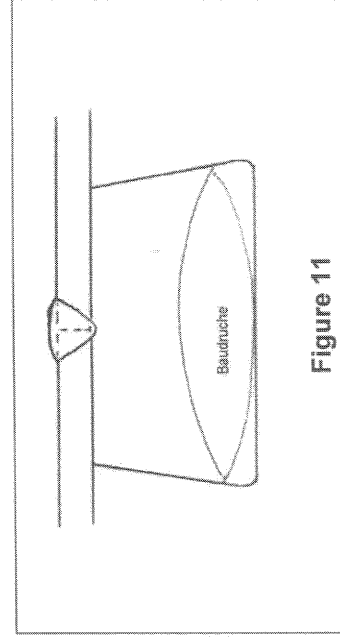
L'utilisation d'un support envers refroidit sera préconisé dans le cas d'assemblage où l'énergie atteinte est importante.



8.1.4. Préparation sur lit en poudre

Une boudruche gonflable permet le placage de la poudre à l'envers du cordon.

On veillera à ne pas oublier de bien dégrasser le laitier côté envers formé par le flux.

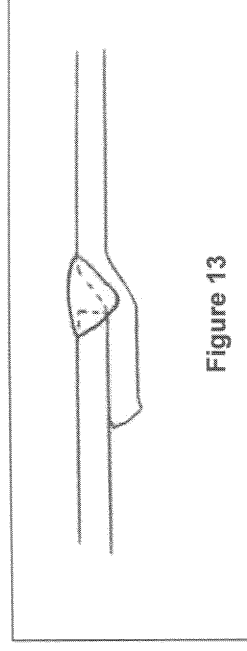


8.1.5. Préparation sur support adhésif

Dans ce cas un support adhésif permet le soutien du flux en poudre contre la tôle

8.1.6. Préparation à bord soyé

Ce type de préparation est couramment employé pour les faibles épaisseurs $2\text{mm} \leq \text{ép} \leq 4\text{ mm}$.
Notamment pour la fabrication de bouteille de gaz (butane – propane). (Figure 13).



(*) La latte participe à la fusion.

Et parfois, en chanfrein étroit.

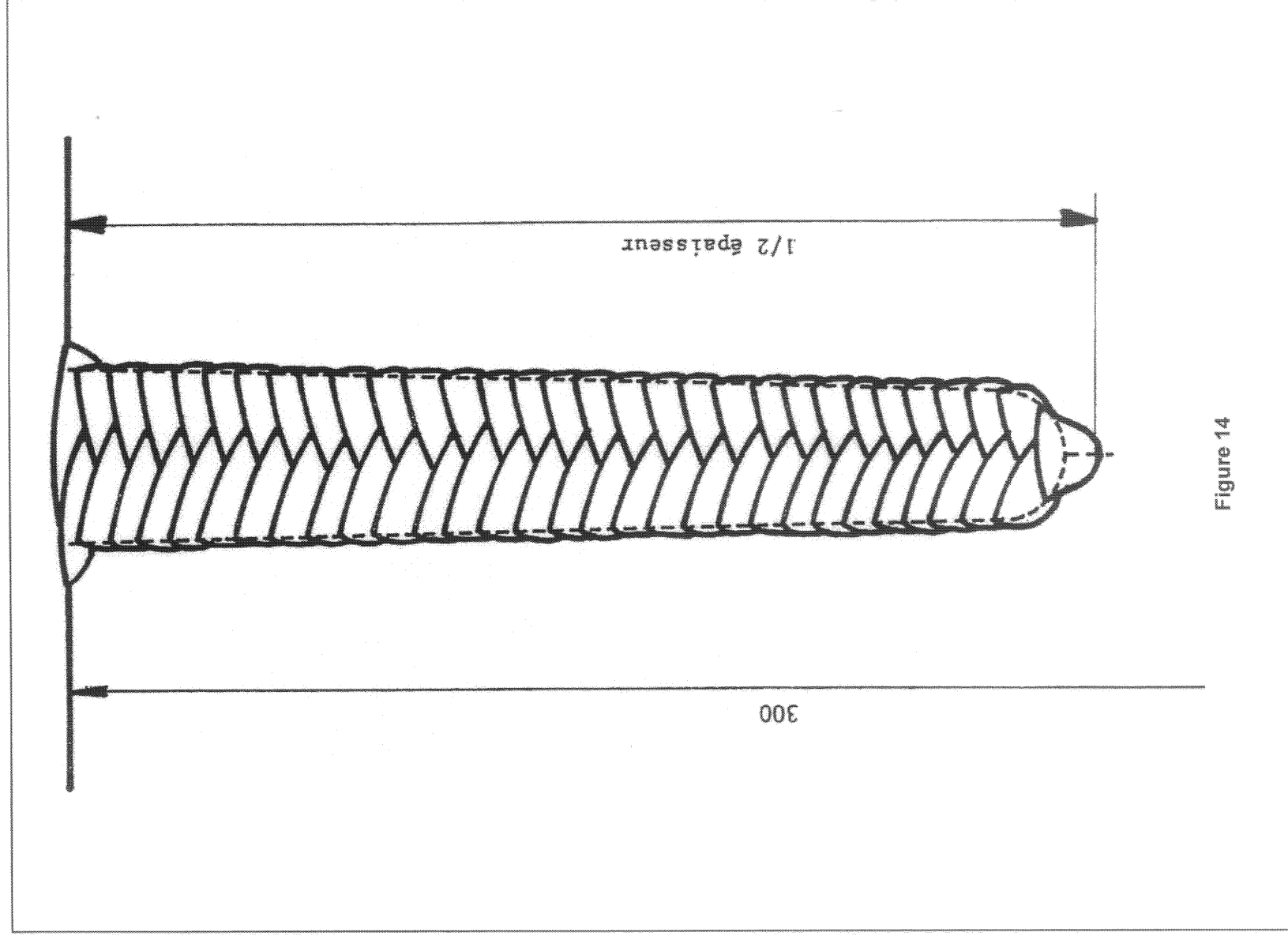


Figure 14

8.2. METHODES DE SOUDAGE

8.2.1. Soudage à plat ou multi passes

Afin de faciliter le décrassage des soudures en multi passes, il y a intérêt à faire des « petites » passes décalées sur les bords plutôt que des grandes passes centrales.

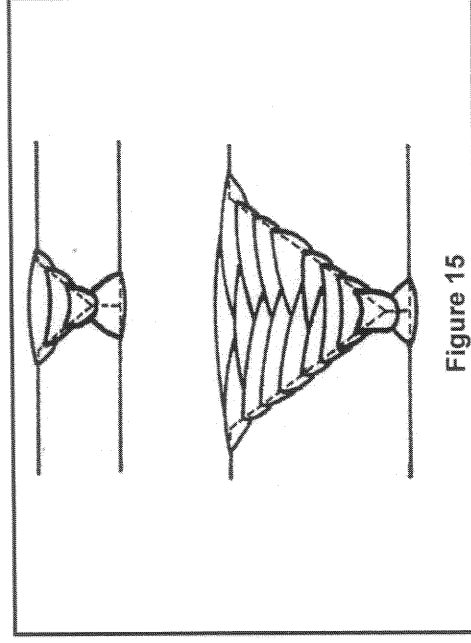


Figure 15

8.2.2. Soudage avec reprise envers

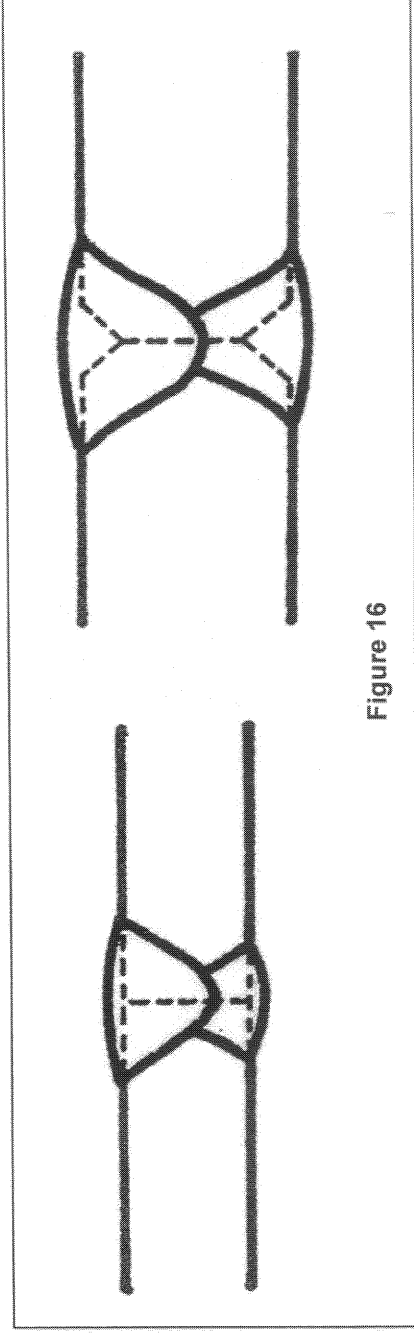


Figure 16

8.2.3. Soudage en angle intérieur

Positionné ou non en une ou plusieurs passes.

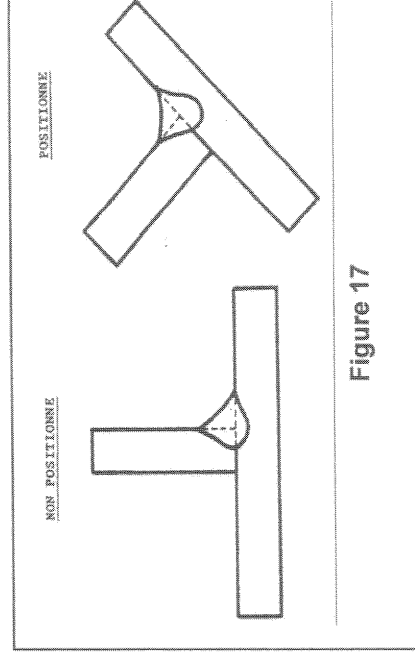


Figure 17

8.2.4. Soudage en angle extérieur

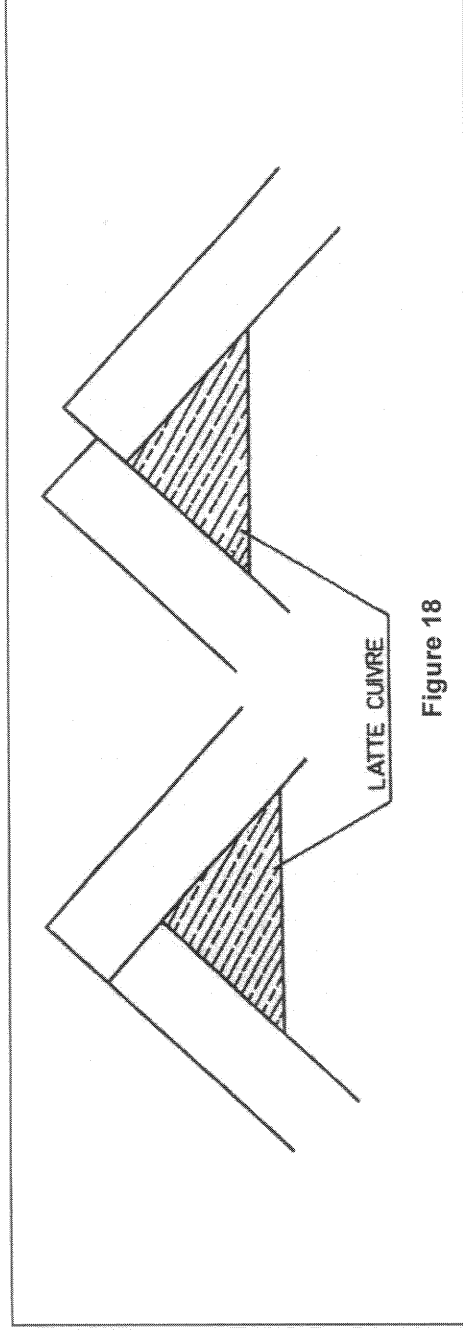


Figure 18

8.2.5. Soudage à clin

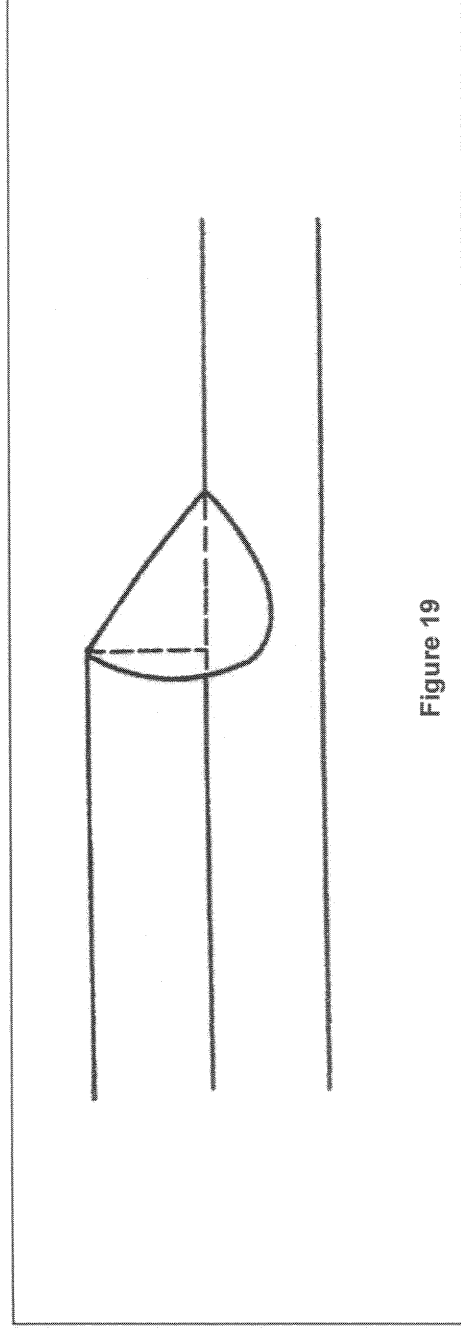


Figure 19

8.2.6. Soudage par recouvrement

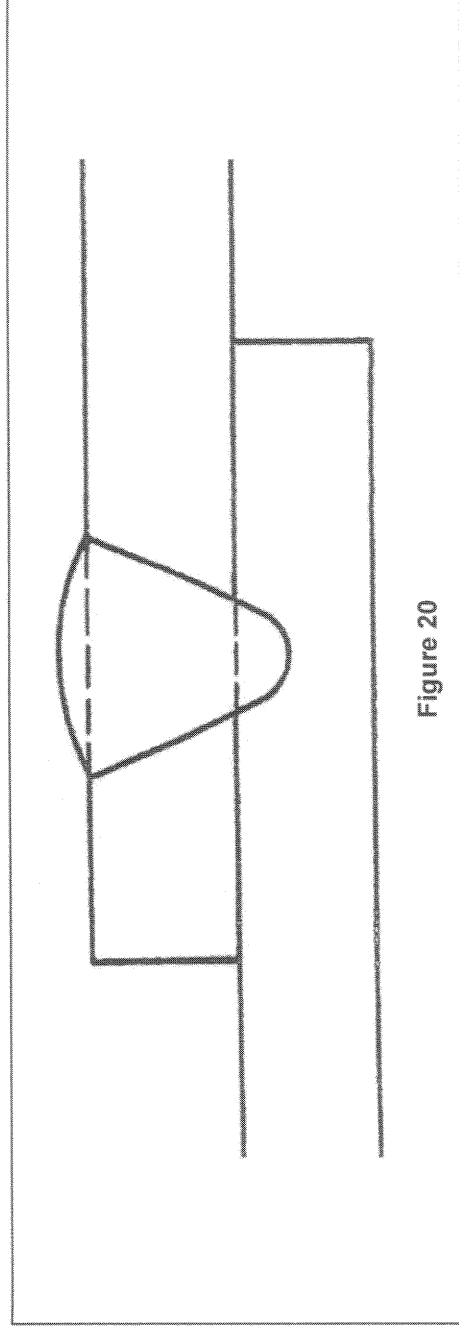


Figure 20

8.2.7. Soudage en corniche

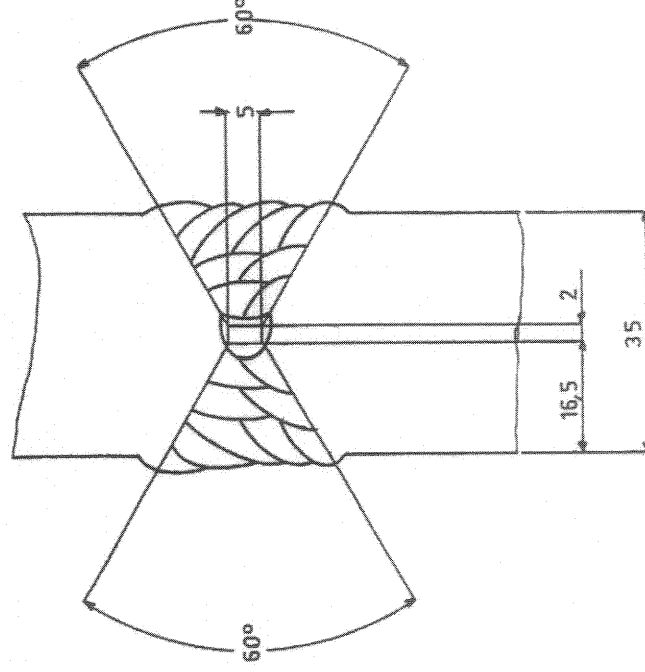
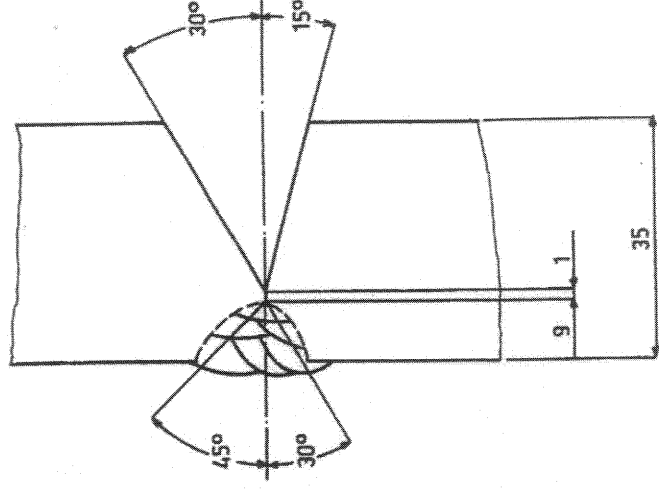
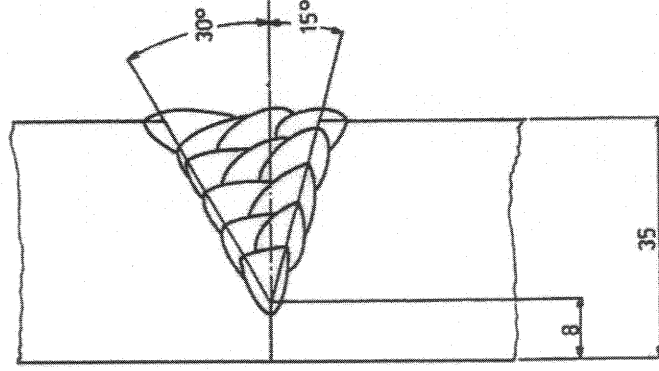


Figure 21

8.2.8. Exemples de préparation

Les préparations varient en fonction des épaisseurs des tôles à assembler. En voici quelques exemples bord à bord.

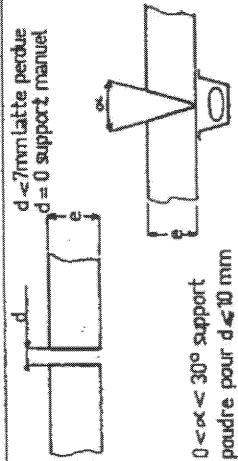
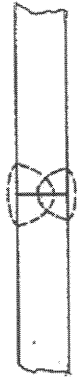
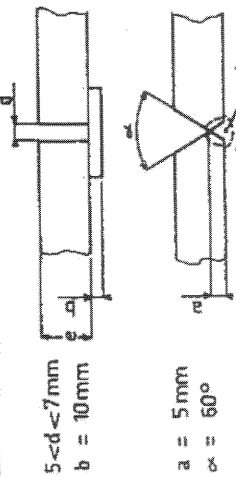
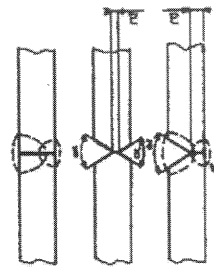
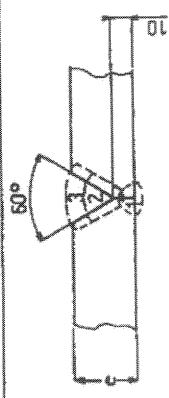
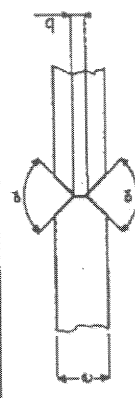
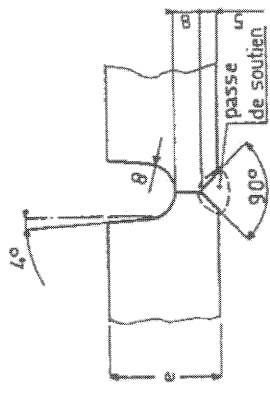
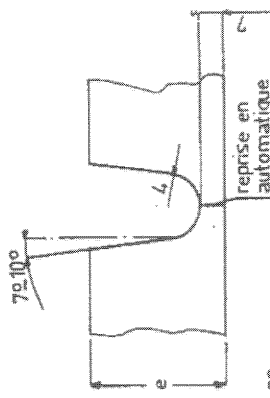
e mm	sur support envers en 1 passe	sans support
2 à 5	latte cuivre latte perdue sur lit de poudre 3mm minimum	non retenu ou avec pénétration partielle e= 3, 4 et 5mm
6 à 12	 $0 < \alpha < 30^\circ$ support poudre pour $d \leq 10$ mm	en bi-passes 
12 à 15	 $5 < d < 7$ mm $b = 10$ mm $a = 5$ mm $\alpha = 60^\circ$ support manuel	 $\alpha = 90^\circ$ $a = 6$ mm $\alpha = 60^\circ$ $a = 9$ mm passe manuelle ou auto
15 à 35	 60°	soudage à 2 fils 1ère passe en position transverse 2ème et 3ème passes en tandem.
15 à 35		Soudage monofil bi-passes $e < 25$ mm $\alpha = 90^\circ$ $6 < b < 9$ $e > 25$ mm $\alpha = 60^\circ$ $7 > b < 9$
e > 25	 40° e = 25 à 40 mm	 70° e > 30 mm reprise en automatique

Figure 22

9. PROCEDES DERIVES

9.1. SOUDAGE AVEC DEUX FILS FINS OU AUTO-PLURIAL OU BI-FILS FINS

Cette technique consiste à utiliser deux fils électrodes à partir d'un seul équipement, l'entraînement simultané des deux fils est assuré par un seul moto - réducteur dans un dispositif unique de guidage et de prise de courant. L'intensité débitée par un seul générateur se partage sur chacun des fils.

a) Position des deux fils sur le joint : celle-ci est à définir en fonction du but recherché.

➤ **Position tandem** : dans ce cas, l'action des 2 fils est successive. Cette position correspond à un allongement de la source de chaleur le long du joint dont l'effet d'ailerons peut être légèrement contrôlé par l'attraction mutuelle des 2 arcs de même polarité. Cette disposition permet d'augmenter la vitesse d'exécution (jusqu'à 50 %). *Exemple* : tubes spirales.

➤ **Transverse** : chaque colonne d'arc attaque une rive du joint sans effet cumulé dans l'axe du joint.. Cette disposition permet de souder avec une moins bonne préparation des joints. *Exemple* : cuves à mazout.

➤ **Semi-transverse** : C'est une position intermédiaire des 2 précédentes qui peut aussi être utilisée. L'essentiel des applications est fait dans le domaine des épaisseurs comprises entre 1,5 et 4 mm.

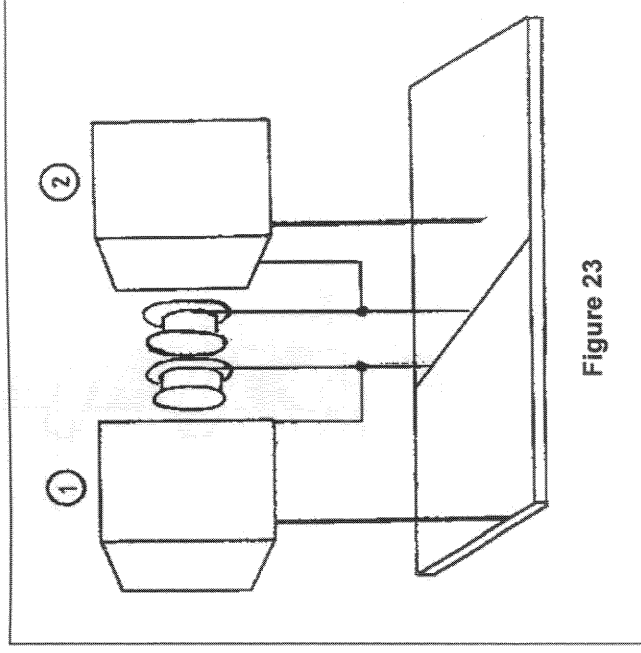


Figure 23

9.2. SOUDAGE AVEC APPORT DE FIL CHAUD

C'est un procédé de soudage à haut taux de dépôt.

Principe :

On adjoint au fil de soudage, un fil fin chauffé par effet Joule en courant alternatif, jusqu'à un état voisin de la fusion (le diamètre le mieux adapté est de 1,6 mm).

L'alimentation en fil chaud a lieu à l'avant du bain de fusion et le choix du courant alternatif a été fait de façon à réduire au minimum l'influence magnétique de ce courant sur l'arc principal.

Le métal du fil chaud se trouve intimement mélangé au métal de base et au fil électrode fondu.

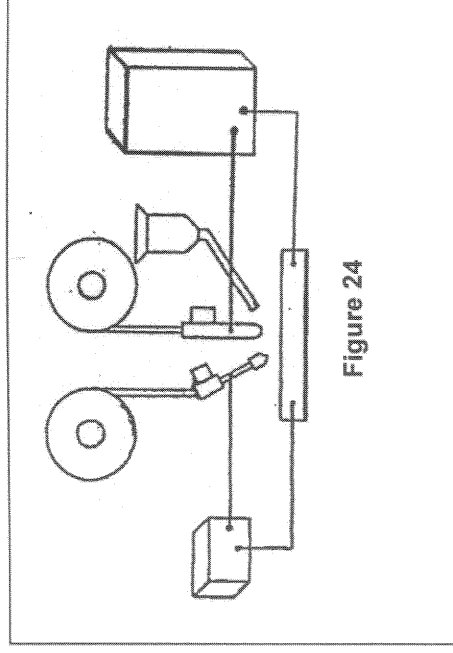


Figure 24

9.3. LE RECHARGEMENT PAR FEUILLARD

Dans ce procédé, le fil électrode classique est remplacé par un feuillard dévidant en continu.

Les faibles densités de courant mises en jeu et la propagation rapide de l'arc sur toute la section du feuillard entre l'extrémité de ce dernier et la pièce, évite un chauffage localisé et limite la pénétration. Par contre il engendre des déformations assez forte, ce qui limite son usage aux tôles d'épaisseur supérieure à 16 mm.

Malgré les fortes intensités requises, on utilise toujours le courant continu souvent avec la polarité directe (moins au feuillard) qui donne un moins bel aspect que la polarité inverse mais qui limite le risque d'inclusion dans les zones de refusion de deux lits consécutif.

Les feuillards utilisés ont généralement une largeur de 60 mm. Mais il existe des feuillards de 120 mm, plus rarement utilisés à cause de l'intensité à mettre en œuvre (1500 Ampère) et de la difficulté à maintenir un mouvement rigoureusement parallèle à la surface à revêtir.

Pour les revêtements des fonds forgés on utilise parfois des feuillards de 30 mm de large.

Les feuillards sont soit en acier de même nature que le métal de base pour des opérations de réparation, soit de nature différente, par exemple en acier inoxydable austénitique bas carbone pour faire des revêtements inoxydables à l'intérieur de capacité (chimie, nucléaire)

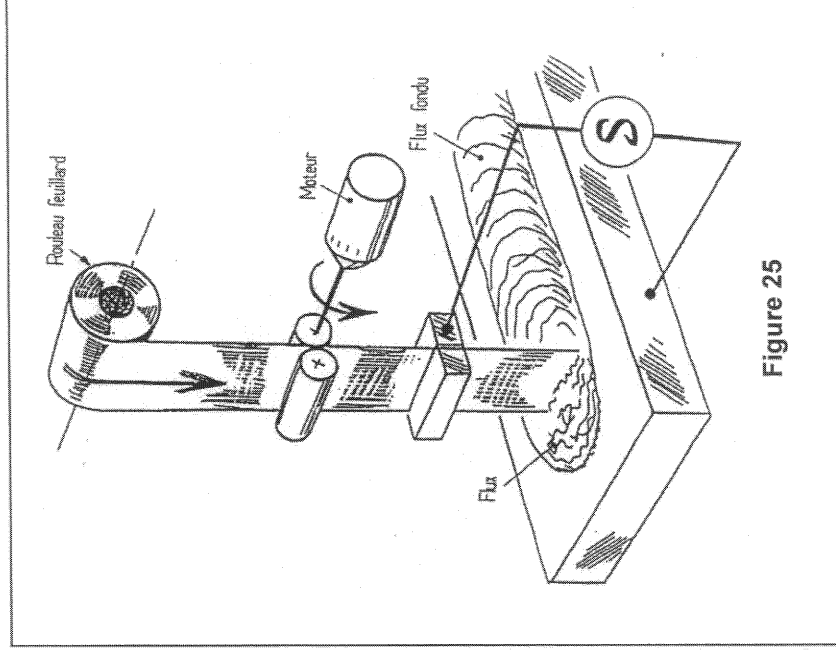


Figure 25

10. RECAPITULATIF DE PERFORMANCES

Investissements	30 à 120 KF
Matériaux soudables	Tous les aciers, Nickel
Epaisseurs courantes	A partir de 5 mm. Ce procédé permet d'obtenir des pénétrations de 10 mm
Caractéristique du générateur	Jusqu'à 450 A caractéristique plate (en courant continu) Après caractéristique plongeante
Types de courant	Courant continu, polarité suivant type de flux Courant alternatif pour les fortes intensités
Tension à vide minimale U_0	Courant continu : 50 à 70 V Courant alternatif : 70 à 80 V
Tension de soudage U_2	22 à 40 V $U = 14 + 0,04.I$ $U = 20 + 0,04.I$
Intensité de soudage I_2	Courant continu : 200 à 600 A jusqu'à 1500 A pour les revêtements Courant alternatif : 450 à 1500 A
Stick out	5 à 8 fois le diamètre du fil
Ø les plus usités	1,6 – 2,4 – 3,2 – 4 – 5 – 6,3
Rendement (%)	98
Facteur de marche opérationnel (%)	70
Vitesse linéaire de soudage (cm/mn)	Usuellement 2,5 à 12, maximum 300
Taux de dépôt (kg / h)	Usuellement 2,5 à 12, maximum 18
Gaz	Sans objet
Avantages	Taux de dépôt élevé Bel aspect du cordon Excellente caractéristique mécanique (flux basique)
Inconvénients	Soudage à plat uniquement Suivi de joint difficile Travail en automatique uniquement
Hygiène et sécurité	Peu de risque, pas de fumée, pas de rayonnement
Applications	Charpente, mécano soudage, offshore, gros tube, Appareils à pression, Revêtement sur des grandes surfaces