

## SOUDAGE DE MÉTAUX DIFFÉRENTS

On a souvent à exécuter des assemblages entre métaux différents, en construction électrique notamment. On devra toujours tenir compte du fait que la résistance à la corrosion de la zone d'assemblage pourra, en milieu liquide, différer de celle des métaux de base. Dans certains cas, l'eau ordinaire peut provoquer une action électrochimique dangereuse. Les alliages de cuivre, sauf les laitons très riches en zinc, plus sensibles à la dézincification, ne donnent lieu à aucun risque de corrosion lorsqu'ils sont en contact les uns avec les autres.

Il faut aussi tenir compte des caractéristiques physiques différentes des métaux : coefficients de dilatation, conductivités, points de fusion, facilité de dilution d'un métal dans l'autre, etc.

Dans ce chapitre, nous nous limitons au cas où un métal cuivreux constitue l'un au moins des métaux de base ou est utilisé comme métal d'apport.

### 10.1 SOUDAGE PAR FUSION

#### 10.1.1 Soudage manuel à l'arc

Le procédé se prête bien au soudage de métaux différents car si on opère par passes étroites, le taux de dilution des métaux de base dans le métal déposé est assez faible, le plus souvent inférieur à 25 % surtout si l'on soude à plat avec une intensité modérée.

Dans de très nombreux cas, il est possible de souder sans interposition d'un métal intermédiaire en choisissant convenablement la composition de l'électrode et de son enrobage.

On peut envisager par exemple le soudage

par fusion à l'arc ou au chalumeau de deux tôles, l'une de cuivre, l'autre de nickel, à bords relevés, disposées bord à bord. Dans un tel cas, il faut s'efforcer de fondre les deux métaux en même temps en tenant compte d'une part de la conductivité thermique élevée du cuivre et, d'autre part, du haut point de fusion du nickel.

Des électrodes de cupro-aluminium servent également à souder les laitons entre eux ou à d'autres métaux cuivreux. On opère de préférence en courant continu et polarité positive.

Une réserve s'impose toutefois. Si l'un des métaux de base est du cuivre en épaisseur de 20 mm ou plus, le soudage sous argon doit être préféré au soudage manuel qui donne, en ce cas, des soudures à gros grains et peu aptes à supporter des conditions de service sévères. De plus, les déformations sont souvent importantes.

#### 10.1.2 Soudage sous gaz inerte (voir chapitre 2)

Utilisant un arc très calme dans une atmosphère qui s'oppose à toute combinaison chimique, le soudage TIG est, par excellence, le procédé qui convient au soudage de métaux différents. Lorsque l'épaisseur de ceux-ci dépasse 7 à 8 mm, c'est le soudage MIG qui est préféré.

Les combinaisons possibles des métaux de base sont très nombreuses. Les principales sont indiquées ci-après.

A ce tableau, il convient d'ajouter que l'on peut souder sous gaz inerte le cuivre à l'aluminium.

Métal n° 1	Métal n° 2			
	Cuivre	Laiton	Cu-Al	Cu-Ni
Acier non allié .....	P	R	P	R
Acier inoxydable .....	P	N	P	P
Cuivre .....	R	P	R	R
Laiton .....	P	R	P	N
Cu-Al .....	R	P	R	P
Cu-Ni .....	R	N	P	R
Ni .....	R	N	P	R

R = soudage recommandé, P = soudage possible, N = soudage déconseillé.

### 10.1.3 Soudage par bombardement électronique (voir chapitre 2)

Une particularité essentielle du procédé est de permettre le soudage de combinaisons de métaux différents avec parfois la possibilité d'interposer une mince feuille d'un troisième métal. Le tableau ci-dessous facilite le choix de ces combinaisons de métaux.

provoquant des déformations plastiques après ramollissement du métal mais sans véritable fusion, tels le soudage par pression à froid, le soudage par friction et le soudage par explosion, se prêtent bien au soudage de métaux différents.

	Ni	Mo	Mn	Fe	Cu	Cr	Au	Ag
Ag	P	N	P	N	P	P	R	R
Au	R	P	N	P	R	N	R	
Cr	P	R	P	P	P	R		
Cu	R	N	R	P	R			
Fe	P	P	P	R				
Mn	P	N	R					
Mo	N	R						
Ni	R							

### 10.1.4 Soudage de métaux différents par résistance

Presque tous les alliages de cuivre peuvent être soudés par résistance les uns aux autres ou sur d'autres métaux.

Un bon exemple est celui des contacts électriques sur rails en acier, qui sont assurés au moyen de deux câbles en cuivre à haute conductivité d'un diamètre de 16 mm. Ces câbles sont raccordés à des cosses en acier par soudage en bout. On obtient ainsi un assemblage très solide dont la résistance électrique est faible. Les cosses d'acier sont ensuite raccordées aux rails conducteurs par soudage autogène.

Les pièces frittées en bronze (1) peuvent être soudées par points sur acier. Des pastilles de contact en argent pour relais sont fixées de cette manière sur des tôles en laiton. Il existe de nombreux exemples d'applications. L'aluminium et le cuivre peuvent même être soudés par résistance ; le joint ainsi réalisé risque cependant d'être peu résistant par suite de la possibilité de formation de composés fragiles.

Lorsqu'on soude par points ou à la molette des métaux différents, il est nécessaire de compenser les différences de conductivités thermiques et de températures de fusion par l'emploi d'électrodes de conductivités différentes. L'électrode la moins conductrice doit se trouver en contact avec le métal le plus conducteur et vice versa.

## 10.2 SOUDAGE DE MÉTAUX DIFFÉRENTS PAR PROCÉDÉS DIVERS

Les procédés de soudage sans fusion comme le soudage par ultrasons ou les procédés

### 10.2.1 Soudage de métaux différents par ultrasons (voir chapitre 2)

Le procédé convient surtout au magnésium et à l'aluminium mais aussi au cuivre et à certains de ses alliages. Les joints sont presque uniquement à recouvrement, celui-ci pouvant être moins important qu'en soudage par résistance car il n'y a aucun inconvénient à souder très près des bords. Un recouvrement de cinq fois l'épaisseur est généralement suffisant.

### 10.2.2 Soudage par pression à froid (voir chapitre 2)

Pourvu que les métaux à assembler cristallisent tous les deux dans le système cubique centré, ils peuvent être soudés l'un à l'autre par pression à froid. L'industrie réalise couramment par ce procédé des soudures mixtes aluminium-cuivre.

S'il s'agit de joints à recouvrement, il est recommandé d'utiliser des matrices dont les surfaces d'appui soient en raison inverse des limites d'élasticité à la compression de chacun des deux métaux afin de répartir également les indentations dans chacune des deux épaisseurs.

Si l'on soude en bout, il est bon, afin d'éviter que les déformations soient très différentes, que les degrés d'écrouissage soient tels que les résistances à la compression ne soient pas trop différentes. On soudera, par exemple, un cuivre recuit à l'aluminium. Cette règle n'est, cependant, pas absolue et l'on soude fort bien le plomb au cuivre.

Dans les applications du procédé, on tiendra compte du fait que certaines soudures bimétalliques (et précisément les soudures aluminium-cuivre) comportent une couche d'un composé intermétallique fragile et que cette fragilité dépend de la température de service. Il est préférable que celle-ci soit basse, moins de 160 C° dans le cas de la soudure Al-Cu, et ne présente pas de variations brusques.

(1) Le frittage est un procédé qui consiste à réunir les particules composant une poudre métallique en les comprimant puis en les soumettant à un chauffage en atmosphère réductrice.

### 10.2.3 Soudage de métaux différents par friction (voir chapitre 2)

Les ressources offertes par ce procédé aux assemblages mixtes sont assez limitées. Il permet de souder le cuivre et les bronzes aux aciers non alliés et à l'aluminium mais, dans ce dernier cas, avec des coefficients de joint plutôt faibles. Le laiton ne se soude par friction à aucun autre métal. Les cupro-nickels peuvent être soudés à l'acier rapide.

### 10.2.4 Soudage par explosion

Ce procédé, qui n'a connu un développement industriel que tout récemment, consiste à utiliser la puissance énorme d'un explosif pour assembler deux métaux. Sa principale application est la fabrication de placages bimétalliques et de sandwiches trimétalliques de grande surface.

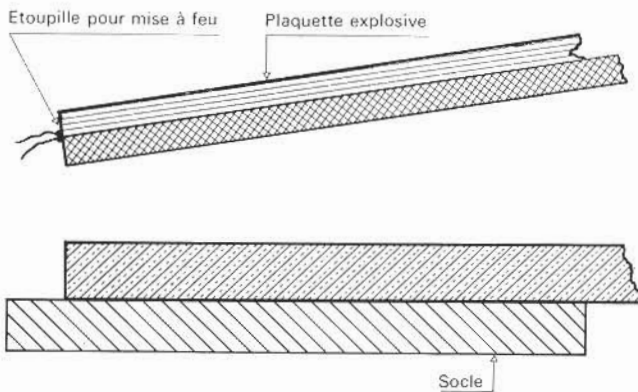


Figure 29

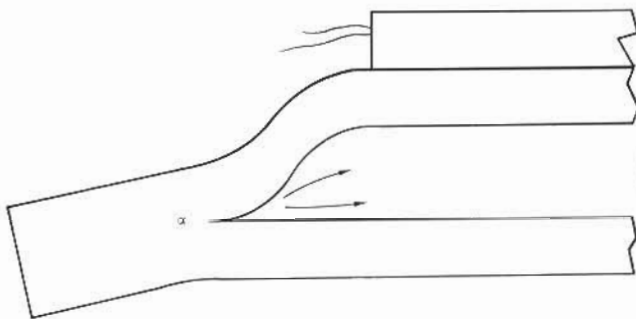


Figure 30

Le métal de base et le placage sont disposés comme l'indique la figure 29. Une feuille d'explosif, munie d'un détonateur, recouvre le placage. Après la mise à feu, le phénomène se déroule comme le montre la figure 30. Les tôles sont écrasées l'une sur l'autre sous une pression telle que les métaux sont à l'état plastique. Dans l'angle  $\alpha$  où se fait la liaison, toutes les impuretés superficielles sont expulsées, ce qui assure une soudure parfaite. Parfois une feuille de métal intermédiaire est interposée entre le métal de base et le placage.

Des placages cuivre-aluminium, cuivre-acier ou cuivre-nickel sont obtenus couramment par explosion. Il en est fait usage pour souder des métaux différents par la méthode des pièces intermédiaires exposée en 3.0.

### 10.3 SOUDAGE DE MÉTAUX DIFFÉRENTS AVEC SOUS-COUCHE

Lorsqu'il existe une incompatibilité métallurgique entre deux métaux, il est souvent possible d'utiliser un troisième métal susceptible d'être soudé à l'un et l'autre de ces deux premiers métaux. La technique habituellement employée en pareil cas est le « beurrage » qui consiste à déposer sur l'un des bords du joint une sous-couche du métal intermédiaire. Ce rechargement facilite le soudage définitif qui s'effectue entre la sous-couche et le bord du deuxième métal de base au moyen d'un procédé usuel de soudage (à l'arc avec électrode enrobée ou sous gaz inerte).

#### 10.3.1 Soudage de cuivre sur acier

Le soudage direct par les procédés TIG et MIG, qui suppose un préchauffage du cuivre à 600°C, donne des soudures de résistance mécanique assez faible, de sorte que le beurrage s'impose coté cuivre si, en service, le joint est fortement sollicité. La sous-couche sera constituée soit de nickel pur, soit de cupro-nickel, soit même d'un alliage nickel-chrome. Le remplissage du joint se fait au moyen d'une électrode en acier (figure 31). On remarquera que pour que la dilution du cuivre dans la sous-couche ne soit pas excessive et ne compromette pas la liaison avec l'acier, cette sous-couche doit être faite en deux passes, la deuxième débordant nettement sur les arêtes de la pièce en cuivre.

On peut souder ainsi le cuivre à l'acier inoxydable après avoir pratiqué un beurrage de Ni ou de Ni-Cr.

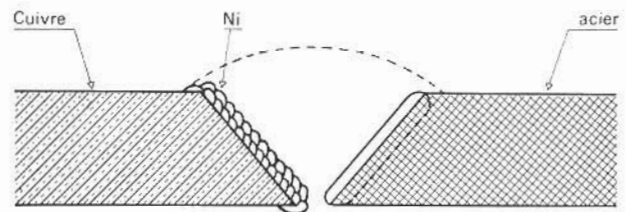


Figure 31

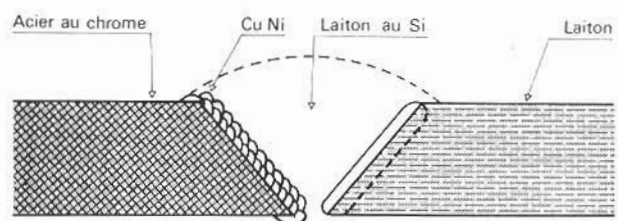


Figure 32

### 10.3.2 Soudage d'un laiton sur acier au carbone

Dans ce cas, c'est sur l'acier que doit se pratiquer le beurrage, la sous-couche étant, de préférence en cupro-nickel. La soudure est ensuite remplie d'un laiton spécial au silicium, selon la technique du soudobrasage (figure 32).

### 10.3.3 Soudage d'un bronze à l'étain sur acier

Comme précédemment, la sous-couche en cupro-nickel sera déposée sur l'acier. Le bronze contenant nécessairement une certaine quantité de phosphore, le nickel ne conviendrait pas. Le remplissage du chanfrein peut se faire soit en cuivre pur, soit en cupro-aluminium.

### 10.3.4 Soudage d'un cupro-silicium sur acier

Une bonne méthode consiste à beurrer le cupro-silicium au moyen d'un cupro-aluminium et de souder à l'arc avec une électrode de cupro-aluminium. On pourrait aussi beurrer l'acier avec un cupro-nickel et souder avec un cuivre au silicium à faible teneur (3 % environ).

## 10.4 SOUDAGE DE MÉTAUX DIFFÉRENTS AU MOYEN DE PIÈCES INTERMÉDIAIRES

L'interposition d'une pièce bimétallique ou trimétallique entre deux métaux à assembler, ceux-ci étant soudés par un procédé classique à la partie de la pièce intermédiaire qui est de même nature que lui, est une solution sûre et souvent économique du soudage de métaux différents.

Les pièces de transition sont découpées dans des plats ou des cylindres composites

obtenus par soudage par friction, par bombardement électronique, par explosion. On utilise également des placages obtenus par laminage mais en tenant compte, dans ce cas, de la résistance assez faible du joint dans le sens de l'épaisseur.

Les figures 33 et 34 sont deux exemples du procédé. La première représente l'assemblage d'une tôle épaisse de cuivre avec une tôle d'acier ou d'aluminium. Chacune d'elles est soudée de façon homogène sur une face d'un bimétal découpé dans un placage réalisé par explosion et disposé de chant.

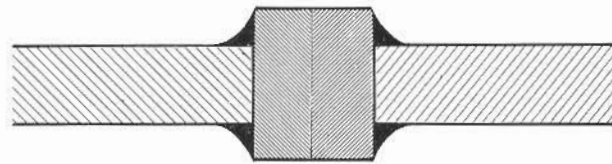


Figure 33

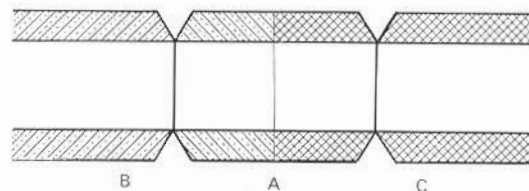


Figure 34

La seconde figure est composée d'un tube mixte cuivre-acier A obtenu par soudage par friction et disposé en vue de son soudage avec un tube de cuivre B et un tube d'acier C.