

L'assemblage

Introduction

Les assemblages peuvent être :

- Démontables :
 - boulonnage/vissage
 - frettage/calage mécaniques
- Permanents :
 - rivetage
 - soudage
 - collage

Procédé d'assemblage par boulonnage/vissage

Un assemblage fileté permet d'assurer un effort de pression entre pièces en vue de les immobiliser les unes par rapport aux autres, et souvent d'assurer une étanchéité.

Définitions

Vis : pièce constituée d'une tige filetée sur tout ou partie de sa longueur, avec ou sans tête, mais comportant un dispositif d'entraînement ou d'immobilisation.

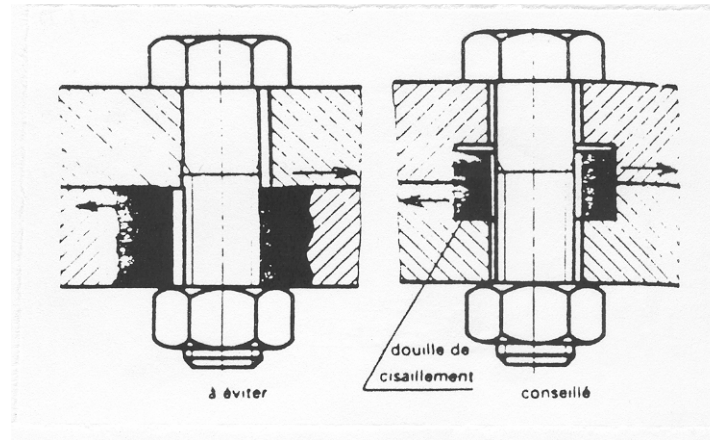
Écrou : pièce taraudée comportant un dispositif d'entraînement, et destinée à être vissée.

Boulon : ensemble constitué d'une vis à tête, et d'un écrou, et destiné à assurer un serrage entre la face d'appui de la tête, et celle de l'écrou.

Goujon : tige comportant un filetage à ses 2 extrémités et destinée à assurer un serrage entre la face d'une pièce dans laquelle l'un des extrémités vient s'implanter à demeure par vissage, et la face d'appui d'un écrou vissé à l'autre extrémité.

Modalités pratiques

Douilles de cisaillement dans les assemblages entraînés

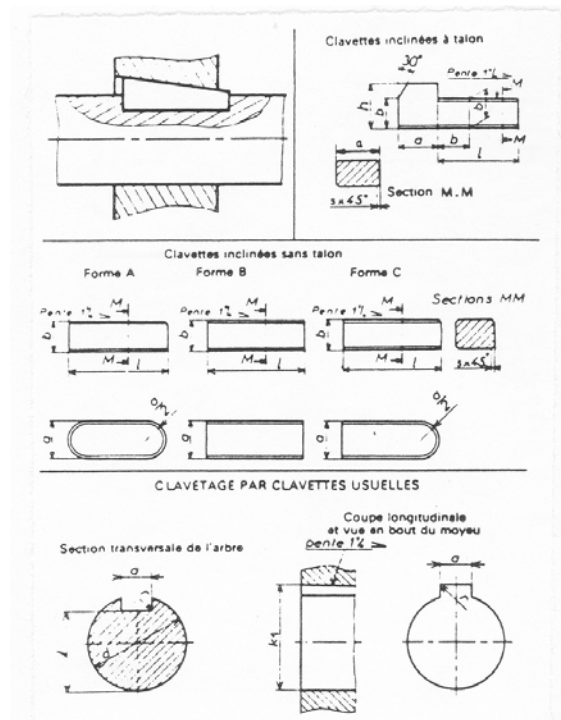


- Tension de pose
- Mesure des efforts dans les boulons :
 - mesure du couple, par clé dynamométrique
 - mesure des allongements (jauges, dilatomètres, etc).

Procédés d'assemblages démontables par cales, clavettes et frettage

Cales et clavettes

Beaucoup d'assemblages par clavettes sont basés sur “l'effet de coin”, permettant une liaison entre 2 pièces à solidariser



Frettage

Principe

On peut obtenir le serrage d'une pièce qui en enveloppe une autre en prévoyant les dimensions internes de la première, légèrement inférieures aux dimensions externes de la seconde.

Modalités de réalisation

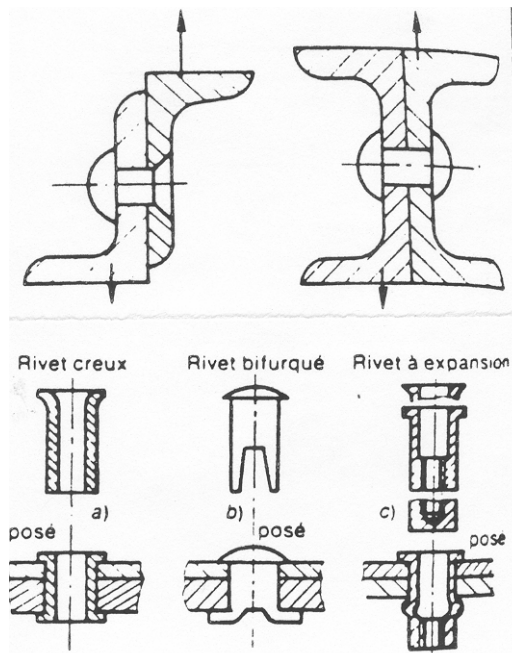
On peut :

- soit chauffer la pièce externe, dont l'alésage grandira avec l'échauffement, mais se contractera lors du refroidissement, en serrant la pièce,
- soit refroidir la pièce interne (neige carbonique par exemple) dont le diamètre grandira lors du réchauffement, pressant ainsi l'alésage de la pièce externe,
- soit forcer mécaniquement (vérins et portée conique) la pièce intérieure dans la pièce extérieure.

Le rivetage

Principe

C'est un procédé d'assemblage non démontable, permettant d'assembler des pièces métalliques d'épaisseurs relativement faibles. Le rivet, placé à chaud, se contracte pendant le refroidissement, et presse ainsi les 2 pièces l'une contre l'autre. Le corps du rivet est donc soumis à une tension de pose, comme un boulon. Certains rivets sont placés à froid avec un équipement spécial.



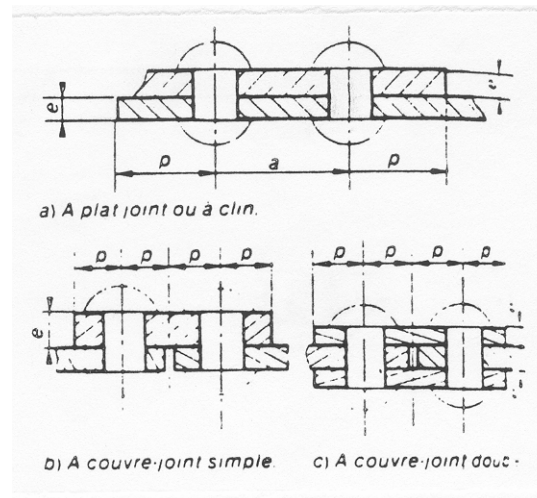
Modalités d'utilisation

Dans le placement à chaud, le rivet est chauffé à blanc (600 °C), les têtes sont alors martelées par un équipement pneumatique.

Le procédé s'emploie encore, par exemple :

- pour assembler des matériaux difficilement soudables,
- pour assembler des tôles fines ou des poutrelles, que la soudure risquerait de déformer.

On peut utiliser des rivures à simple ou double recouvrement.



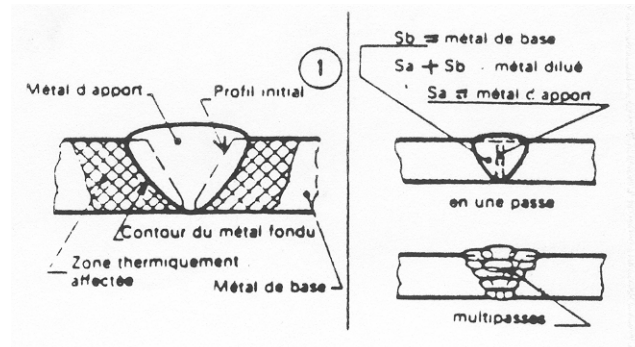
Les procédés de soudage

Principes

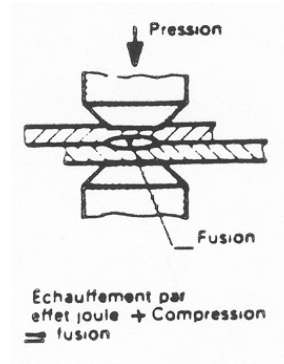
La soudure est un assemblage permanent de 2 pièces métalliques, caractérisé par l'effacement des contours primitifs des bords à assembler.

La soudure peut s'effectuer :

- sans pression extérieure, les bords étant portés à la température de fusion, et nécessitant le plus souvent l'introduction dans le joint d'un complément de métal (métal d'apport) déposé en une ou plusieurs passes.



- avec pression extérieure, à une température qui peut atteindre également la fusion.



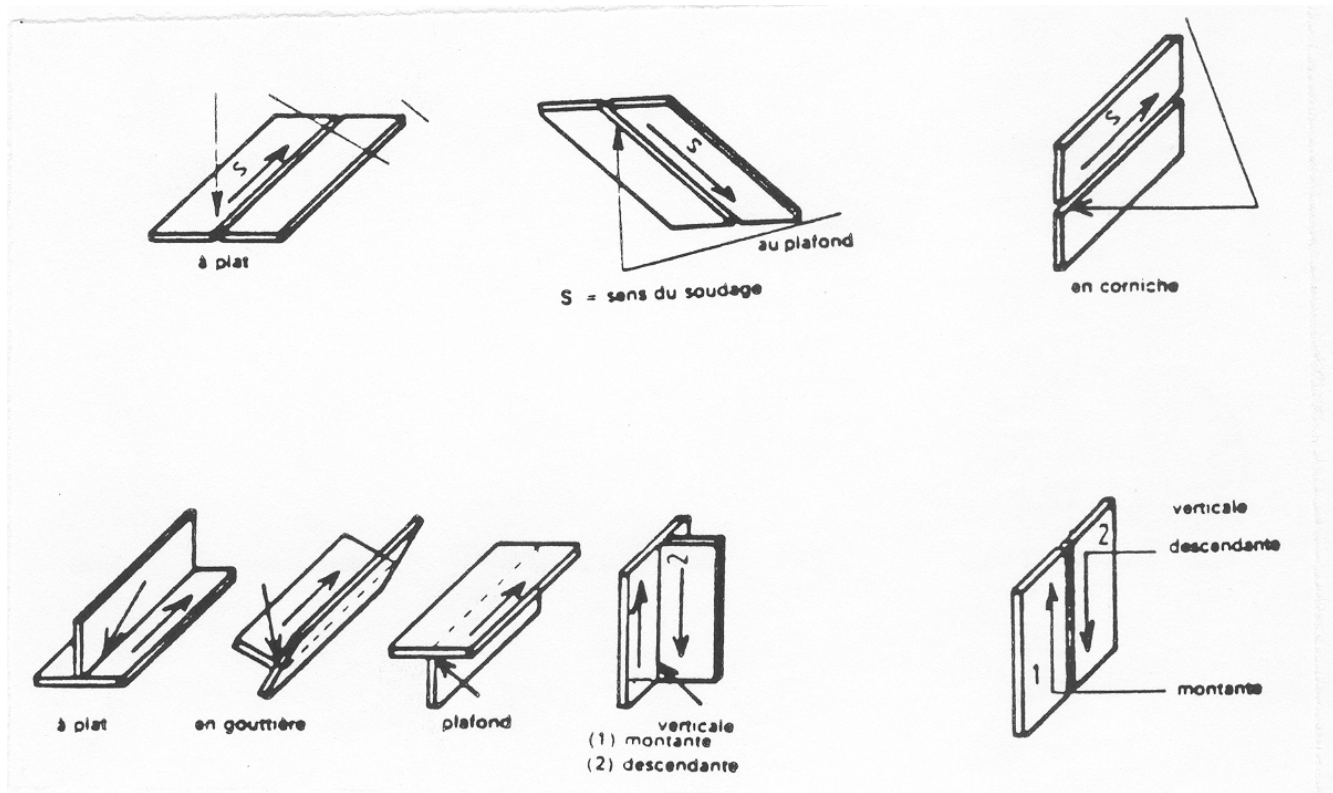
Le métal de base forme les parties à assembler, de même nature ou de natures différentes.

Le métal d'apport, identique ou différent du métal de base, peut intervenir dans l'élaboration du joint.

Le métal du joint, comprenant le métal déposé et les bords fondus qui sont dilués; certains éléments peuvent diffuser dans les parties adjacentes. De plus, au-delà du joint, une zone plus ou moins étendue peut être thermiquement affectée et subir des modifications de structure.

Positions d'exécution de soudures

Les soudures peuvent être effectuées bout à bout ou en angle



Les procédés principaux de soudage

ENERGIE		PROCEDES DE SOUDAGE
- Thermochimique		- Oxyacétylénique
- Electrique	- à l'arc	Manuel, à électrodes enrobées Sous protection gazeuse : - avec électrode réfractaire - avec électrode fusible Sous flux solide Par plasma d'arc Avec fil fourré
	- par résistance	Par points A la molette Par étincelage en bout
- Mécanique		Par friction Par ultra-sons
- Rayonnement focalisé		Par bombardement électronique Par faisceau laser

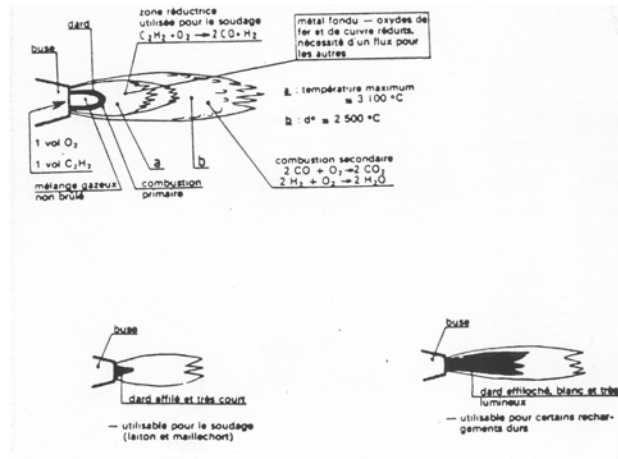
Soudage oxyacétylénique

Principe

Un chalumeau permet de créer la combustion d'un mélange d'oxygène et d'acétylène (C_2H_2) pour fondre les bords des pièces à réunir, ainsi que la baguette de métal d'apport.

La flamme se compose de 2 parties :

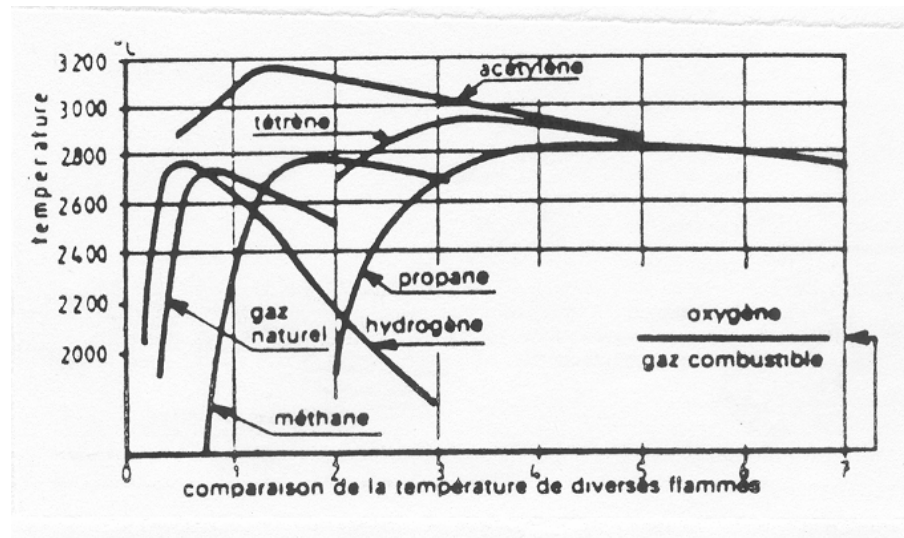
- le dard, à l'extrémité duquel on obtient des températures de 3100 ... 3200°C.
- le panache, où sont atteintes des températures de l'ordre de 2500°C, et comportant des zones réductrices et de combustion secondaire du CO et de l'H₂ formés.



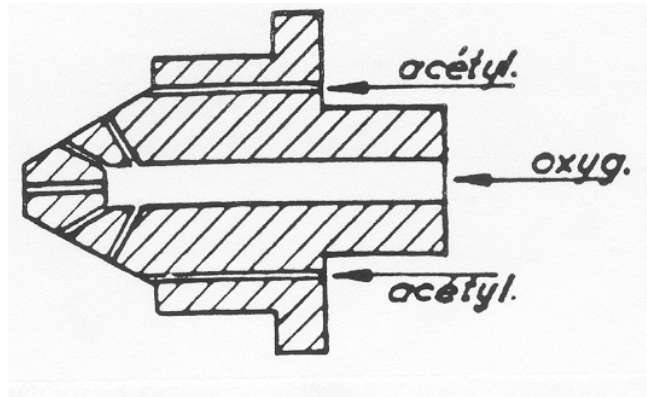
Modalités de mise en oeuvre

Introduction

L'acétylène continue à être utilisé, malgré la disponibilité d'autres gaz tels que le propane, le gaz naturel, l'hydrogène, etc, compte tenu de sa température de flamme plus élevée.



Le chalumeau soudeur à haute pression fait appel à des gaz comprimés en bouteilles, ces derniers passent dans un bec-diffuseur, dans lequel les trous d'amenée d'acétylène ont un faible diamètre. En cas de changement de débit de gaz, pour souder des épaisseurs très différentes, il suffira de changer uniquement le bec.

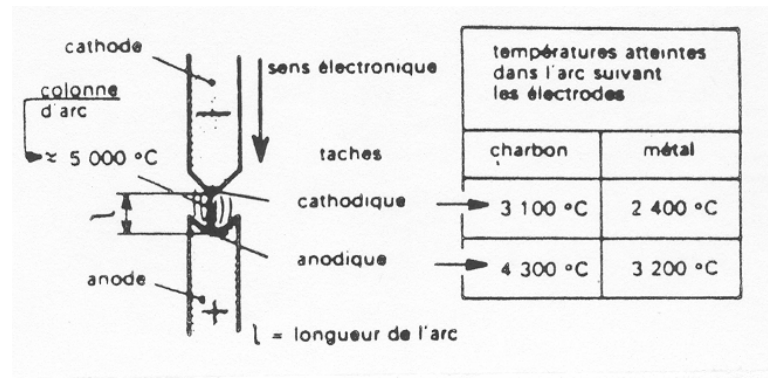


Soudage manuel à l'arc électrique, avec électrodes enrobées

Principe

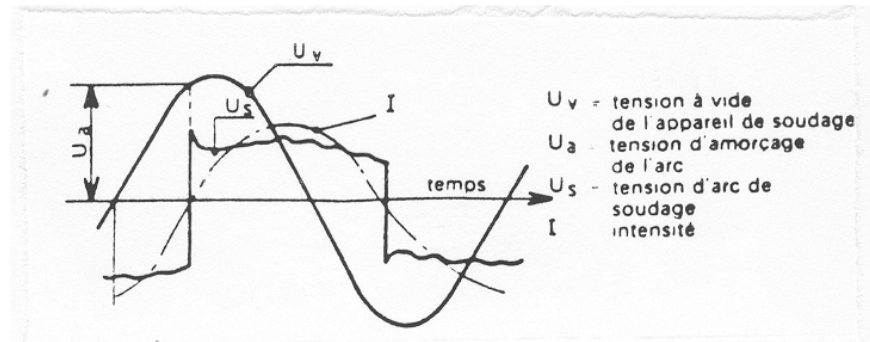
L'arc électrique est une forme de passage du courant à travers une atmosphère gazeuse non ou peu conductrice. L'arc est donc une colonne gazeuse, formée d'air et de gaz (issus du métal et de l'enrobage), devenue conductrice.

L'arc s'établit entre la pièce à souder et l'extrémité de l'électrode reliée à un générateur, dès que l'on applique une différence de potentiel suffisante.





En courant alternatif, les tensions et courants s'inversent.



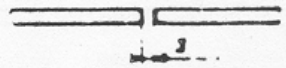
L'arc électrique permet d'atteindre des températures de plus de 3000°C , sous l'action de la chaleur dégagée, l'électrode constituée par le métal d'apport et les bords des pièces à souder, fondent.

La préparation des bords

Elle a surtout pour but de permettre l'accès dans toute l'épaisseur; le type de préparation est fonction des épaisseurs à assembler et des possibilités d'accès au-dessus et en dessous.

Les bords doivent toujours être propres, et exempts de scories, rouille, matière grasse, etc.

On prévoit des chanfreins de diverses formes, telles que le vé, l'X, la tulipe, le Y.

	$2 < e < 4$	$J = e/2$
	Chanfrein en V $4 \leq e < 25$	$1 < J < 2$ $2 < m < 4$
	Chanfrein en Tulipe $25 \leq e < 50$	$2 < J < 4$ $2 < m < 4$
	Chanfrein en x $9 < e < 30$	$2 < J < 3$ $2 < m < 4$

Soudage électrique sous atmosphère gazeuse

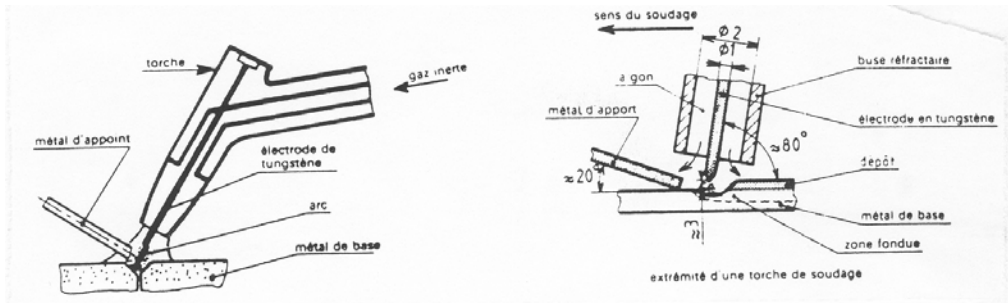
Principe

Une torche supporte l'électrode et dirige un jet de gaz inerte (Argon Ar, Helium He, ...) ou actif (CO_2) sur le bain en fusion, le protégeant ainsi de l'oxydation et de la nitruration.

Modalités de réalisation

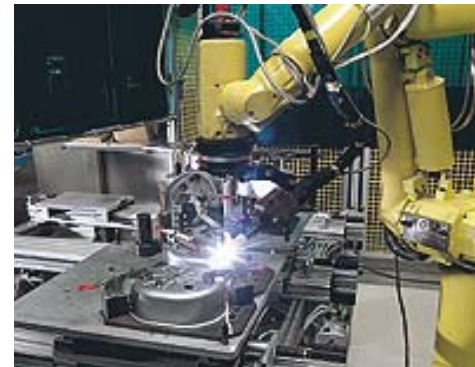
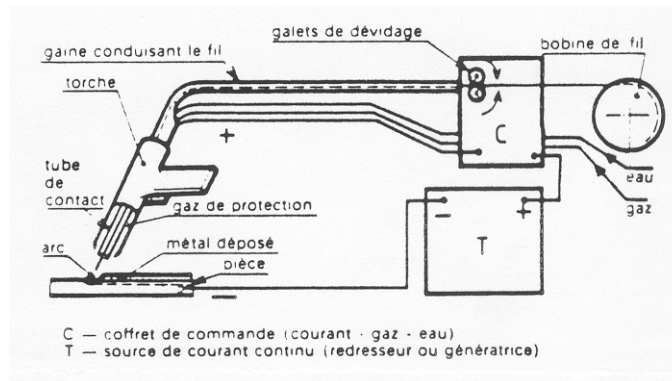
Soudage sous gaz inerte, avec électrode de tungstène

La torche dirige un jet de gaz inerte sur le bain, elle est refroidie par l'air et le gaz en circulation. Pour des courants supérieurs à ± 150 ampères, elle est refroidie par circulation d'eau. C'est le procédé **TIG** (Tungstène Inert Gas).



Soudage sous gaz inerte avec électrode fusible (procédé MIG (Metal Inert Gas)).

Ce procédé est comparable au précédent (TIG), mais l'électrode est formée par le métal d'apport (fil amené automatiquement).



On n'utilise que le courant continu, l'électrode-fusible étant l'anode, le bombardement électronique y concentre beaucoup d'énergie, ce qui accroît la vitesse de fusion.

La régulation du courant de soudage est assurée par action sur la vitesse du fil.

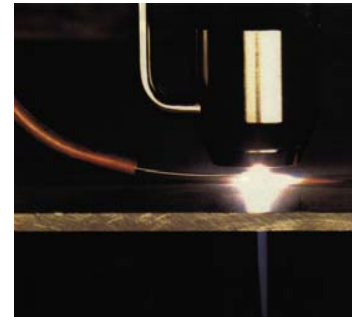
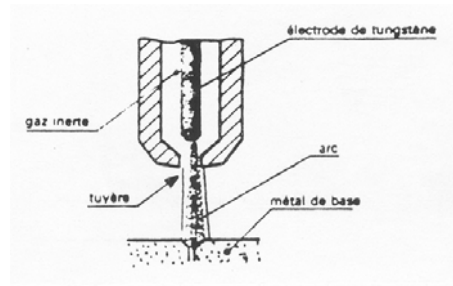




Le soudage à l'arc au plasma

Principe

Il s'agit d'un soudage du genre TIG dans lequel l'arc est confiné dans une tuyère. L'étranglement de l'arc permet d'obtenir des températures très élevées de 8000 à 30000°C, avec une bonne stabilité de l'arc, à faible intensité.



L'arc provoque dans le gaz, la naissance d'ions et d'électrons libres, le tout formant un plasma à haute température. Cette grande concentration d'énergie permet d'assurer de bonnes pénétrations avec une préparation simplifiée du joint.

Modalités d'application

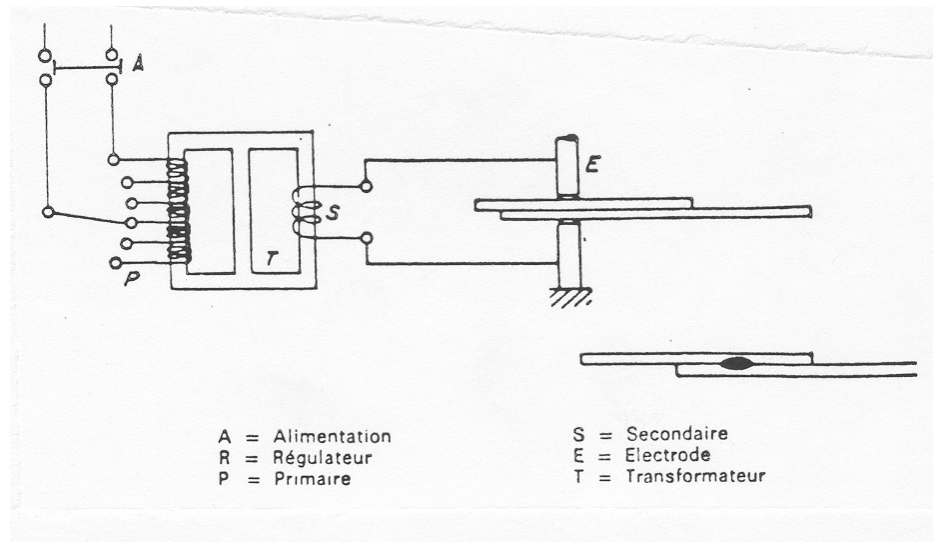
Le soudage à plasma est utilisé principalement pour les tôles fines (0,01 mm à 1,5 mm).

Le soudage électrique par résistance

Le soudage par point

Ce procédé de soudage est ainsi dénommé du fait que la soudure se présente sous forme de points successifs.

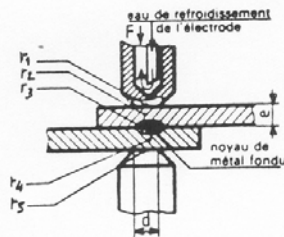
Un effort de compression exercé par 2 électrodes en cuivre, refroidies généralement par circulation d'eau, met en contact 2 zones à assembler, et les maintient appliquées l'une contre l'autre.



Modalités de réalisation

Le cycle de réalisation d'un "point" comporte :

- l'accostage : application de l'effort sur les électrodes
- le soudage : passage du courant et fusion locale
- le maintien de l'effort de compression, courant coupé
- fin de cycle : le métal étant suffisamment refroidi, les électrodes s'écartent et reprennent leur position plus loin, pour exécuter un nouveau point.



r_1 r_5 : résistances de contact
 r_2 r_4 : résistances ohmiques
 $f(\text{matériau} - \text{température})$
 r_3 : résistance de contact

$$R = (r_1 + r_5) + (r_2 + r_4) + r_3$$

F = effort de compression

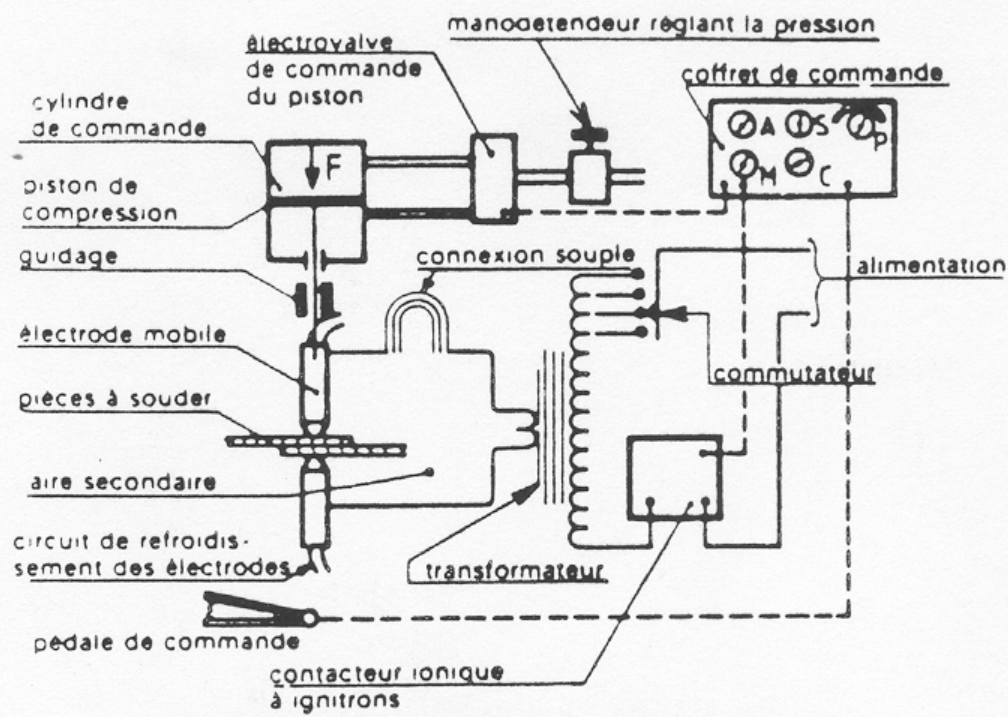
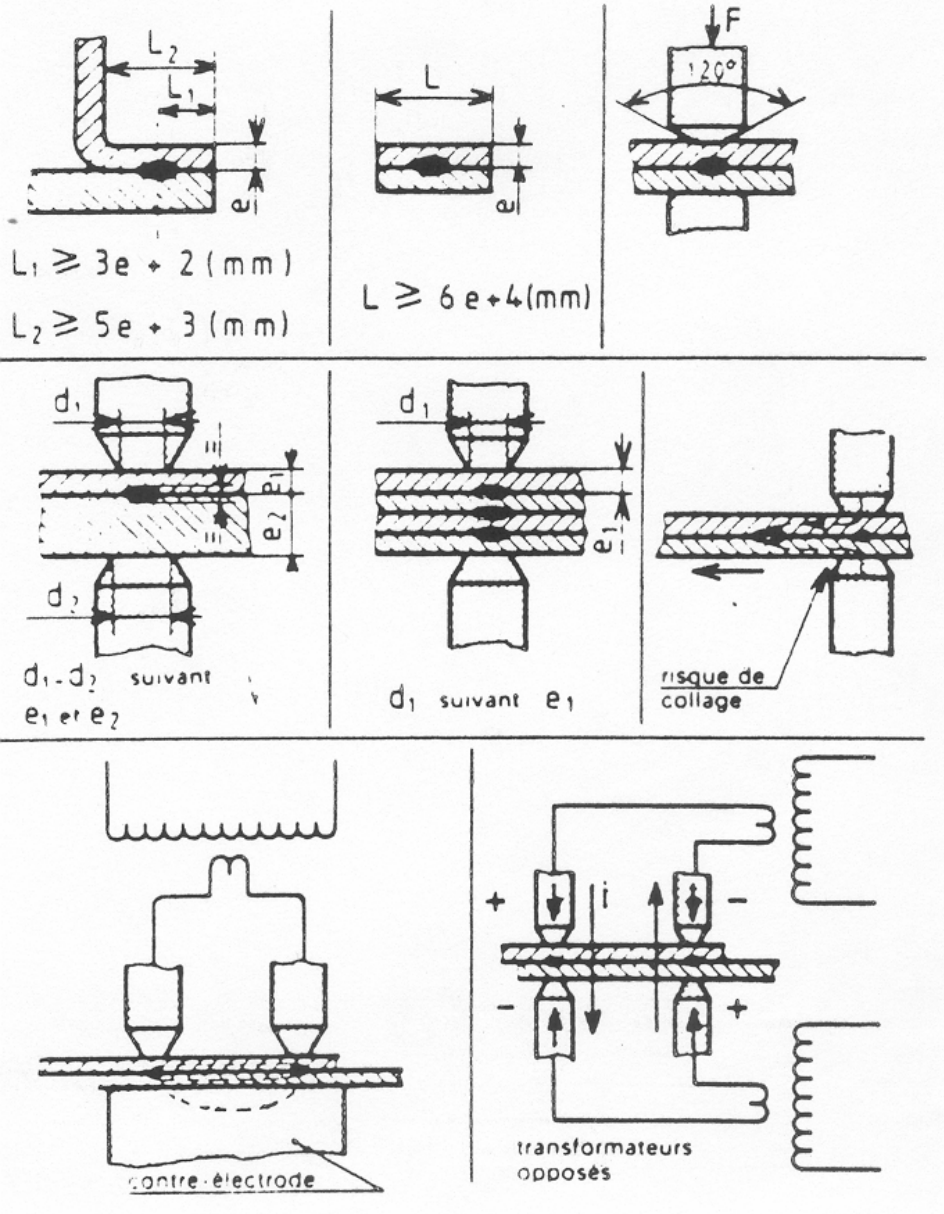


schéma de principe d'une machine à souder par résistance, par points.

A - accostage, S = soudage, M - maintien
 C - cadence, P - puissance

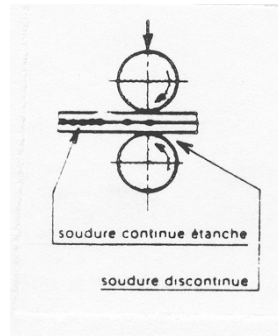




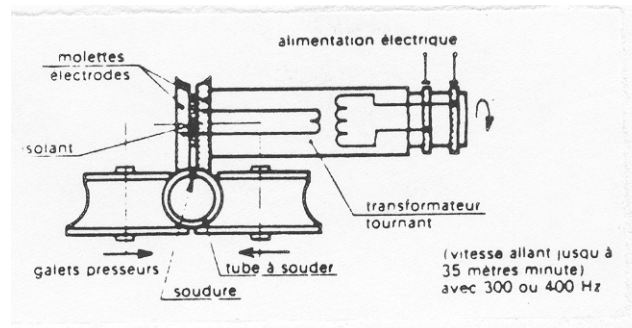


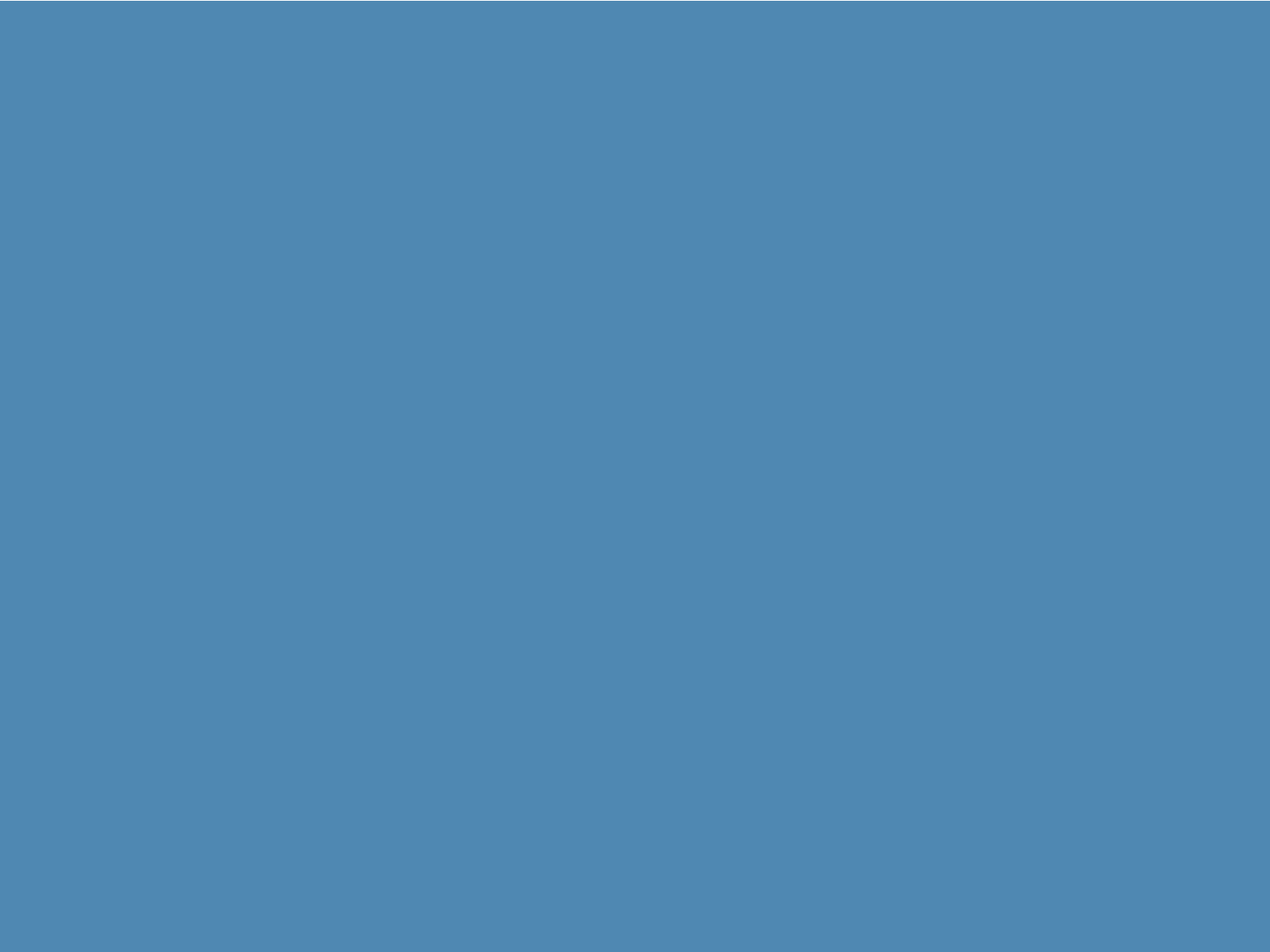
Le soudage à la molette

Les électrodes précédentes sont remplacées par 2 molettes qui, selon leur vitesse de rotation, associée à la fréquence des impulsions de soudage, permettent d'obtenir des points se pénétrant partiellement ou des points espacés.



Des épaisseurs de quelques dixièmes de mm à 5 ... 6 mm peuvent être soudées à la molette, tant pour des aciers doux, que des inoxydables et l'aluminium.





Le soudage par étincelage

Une tension électrique est appliquée aux pièces, placées bout à bout et ce, avant mise en contact. Le plus léger contact va provoquer la formation de petites étincelles formant des bossages et fosses minuscules, et par conséquent, de nouveaux points de contact.

Ce phénomène continu amène progressivement la fusion du métal sur les 2 faces à souder. Le rapprochement des 2 pièces, et le maintien d'une forte pression provoquent la soudure.

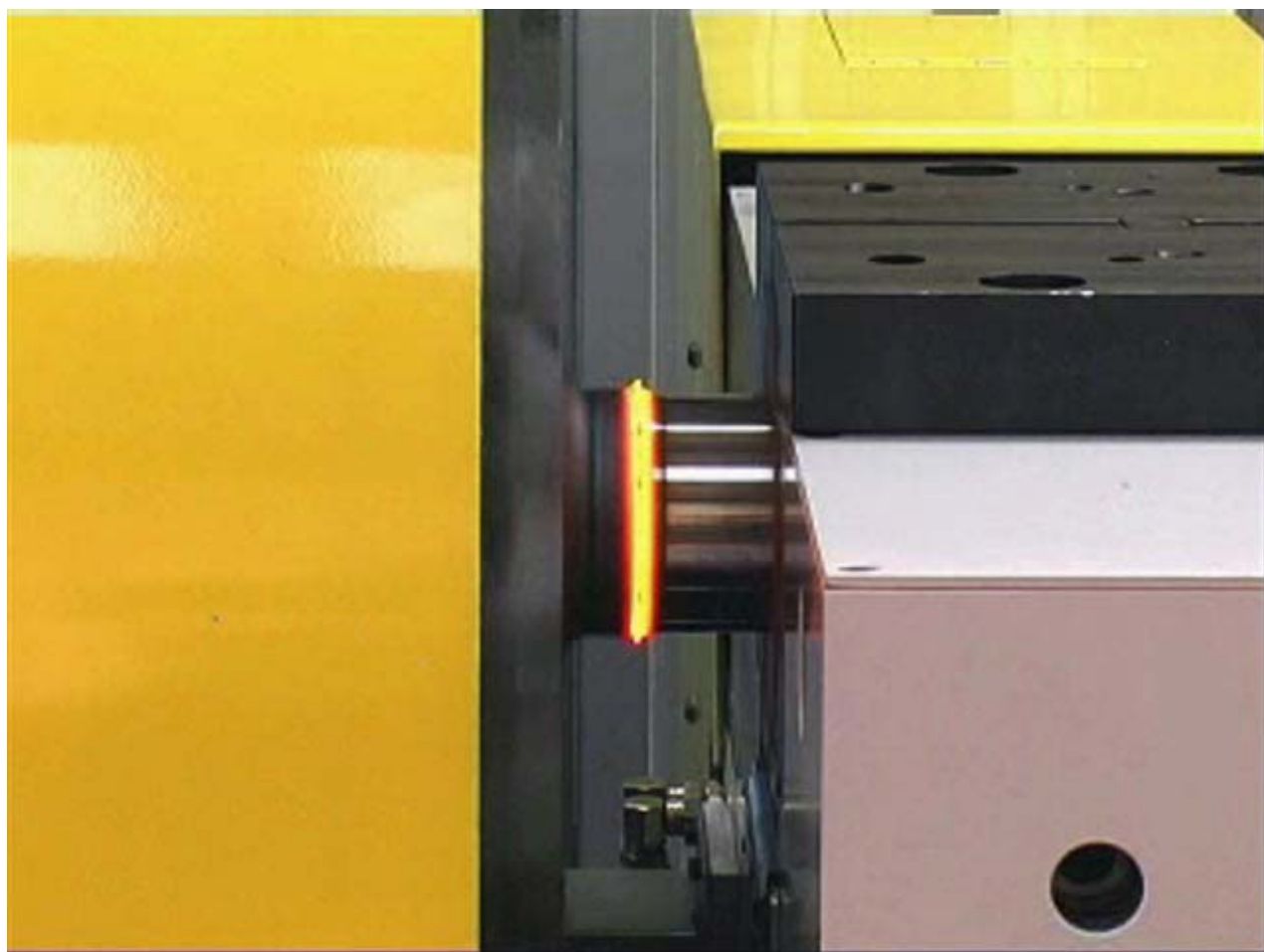
Le soudage par friction

L'effet thermique nécessaire à la fusion des métaux à souder est obtenu par le frottement conjointement à l'application d'efforts de compression.

Application

On peut souder par friction, bout à bout, des axes tournant en sens opposé, et soumis à un effort de compression d'ensemble.

A noter que l'on peut souder par friction des métaux de natures différentes.



Le soudage aux ultra-sons

Une installation permet de transformer un courant alternatif à haute fréquence en énergie vibratoire. L'énergie vibratoire est introduite dans les métaux, au voisinage de la zone de soudage.

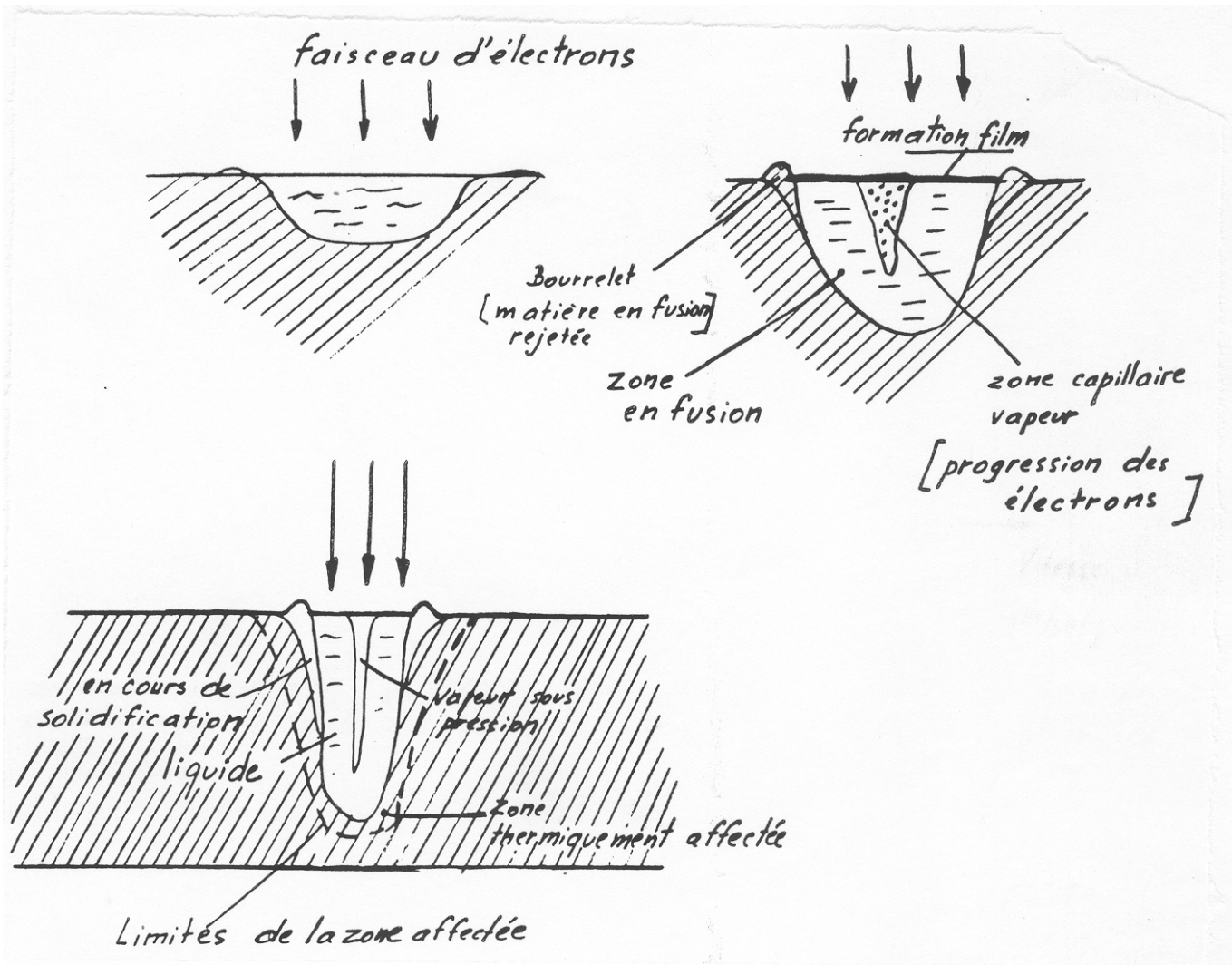
On peut, de la sorte, introduire des vibrations dans un matériau de soudage ou de brasage liquéfié, ceci provoque de la cavitation (formation de bulles gazeuses locales, par suite des variations de pression au passage de l'onde ultrasonore).

La technique ultrasonore est utilisée dans le soudage des non-ferreux.

Le soudage par faisceau d'électrons ou bombardement électronique (*Electro Beam Welding* - EBW)

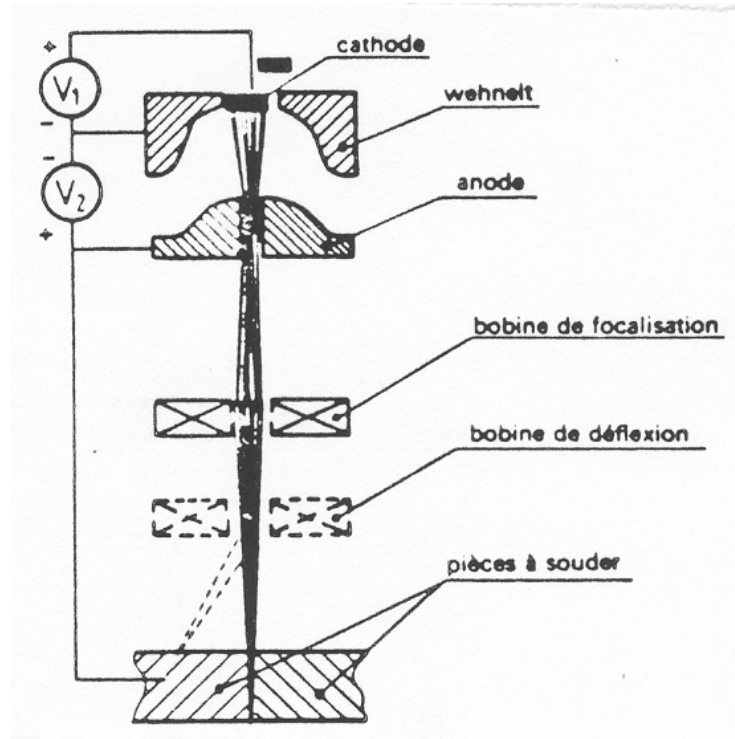
Il consiste à provoquer la fusion de 2 matériaux conducteurs de l'électricité (matériaux identiques ou non), par un bombardement électronique des bords à assembler. L'impact des électrons provoque :

- la liquéfaction des matériaux bombardés, et ce, très localement,
- la vaporisation interne partielle de ces matériaux, compte tenu des températures élevées rencontrées localement,
- l'apparition sur le bain d'un film pâteux, que la continuité du bombardement fera fondre.



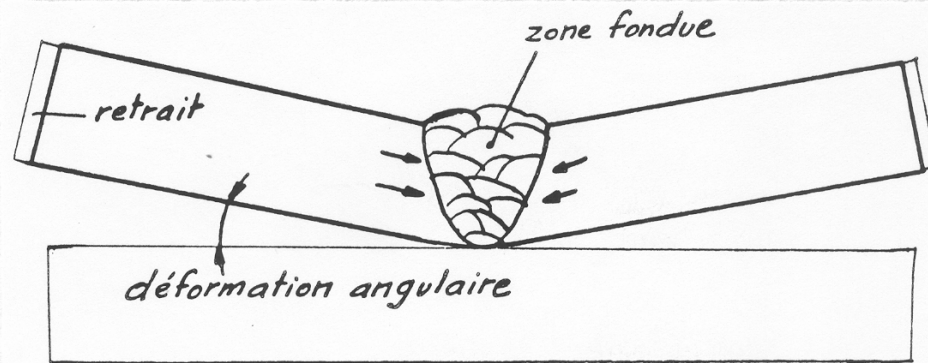
La densité de puissance élevée du soudage par faisceau d'électrons permet de souder des épaisseurs de 60 ... 70 mm d'acier, voire de +/- 300 mm, mais ceci en corniche, afin d'éviter la compression interne excessive du bain par la zone vaporisée.

Procédé de soudage	Densité de puissance (kW/cm ²)
Chalumeau	0,9
oxyacétylénique	10
Arc électrique	100
Arc plasma	2000...3000
E.B.W.	2000...5000
LASER CO ₂	

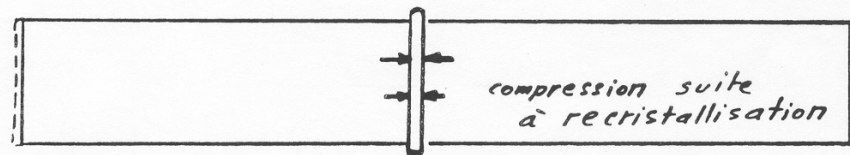


Un canon à électrons, tube cathodique sous vide dont l'anode accélératrice est à un potentiel élevé (par exemple 150 kV) vis-à-vis de la cathode émettrice. Le faisceau électronique émis est focalisé par une "lentille" électromagnétique, le "pinçage" du faisceau est réglable par le courant parcourant la bobine.

Un caisson sous vide dans lequel les pièces à souder sont placées et positionnées par des outillages de précisions

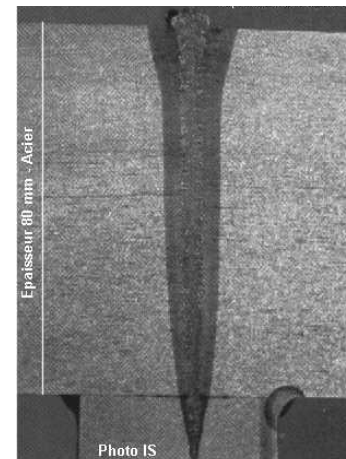
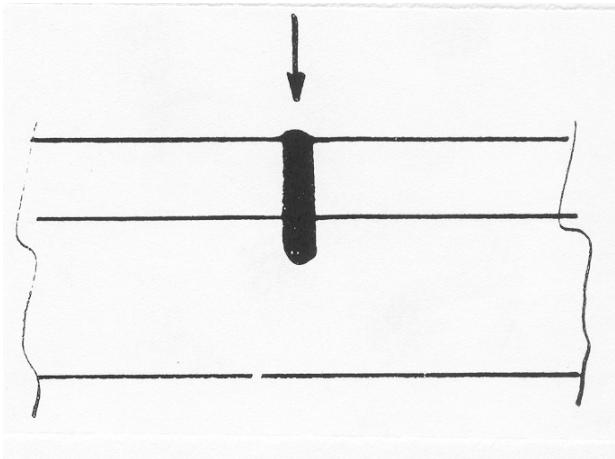


soudure à l'arc



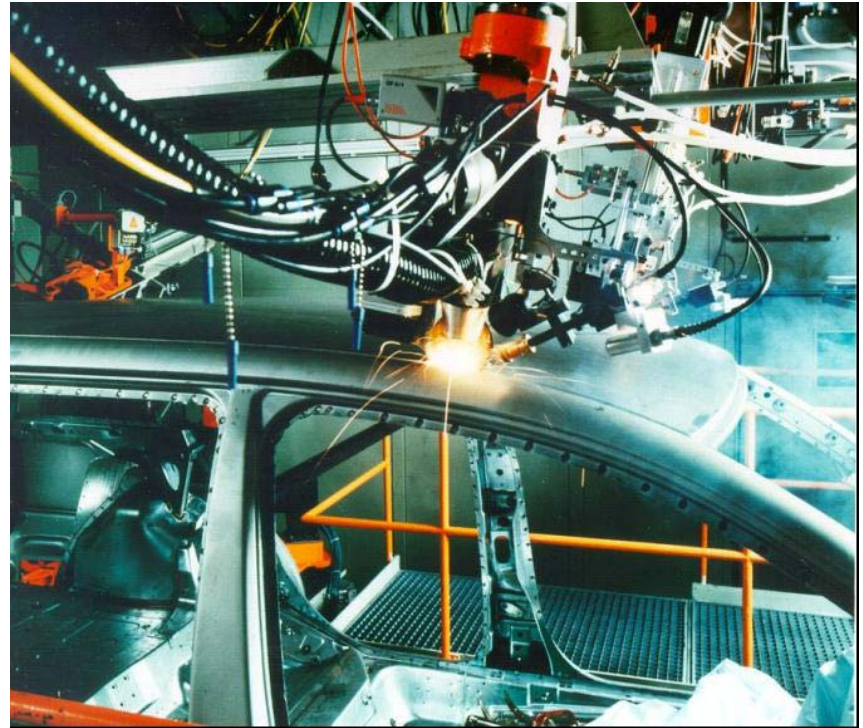
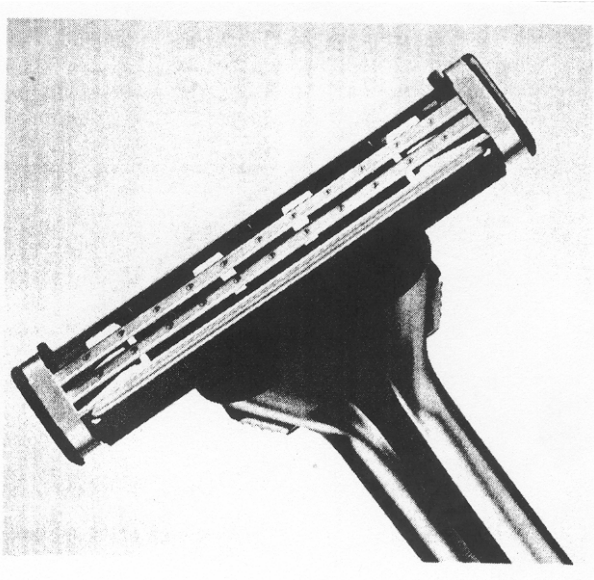
soudure par faisceau d'électrons

Procédé	Nombre de passes	Retrait (mm)
TIG	9	2-3
MIG	3	1 ...
Arc Plasma	1	0,5
EBW	1	0,12



CARACTERISTIQUES D'EMPLOI	SOUDURE PAR RESISTANCE (points-molette)	TIG-MIG	BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE EBW
Préparation du joint	Simple nettoyage	$e \geq 1,8$ mm ---> Bords en U ou J	$0,05 < e \leq 150$ mm ---> directe en bout
Protection du bain	Aucune, sauf pression électrodes	gaz inerte	Enceinte sous vide
Métaux soudables	Al - Acier inox - inox doux	Al - aciers : inox, doux, faiblement alliés	Al-aciers, (inox, martensitiques), alliages réfractaires, métaux différents
Métaux d'apport	Aucun	Fil d'apport	Aucun, parfois clinquant pour propriétés spéciales
Epaisseurs soudables	e max 25 mm acier et 12 mm alu	e max 125 mm Al Fonction : préparation - nombre de passes	e max 150 mm Al, 60 mm acier, 1 seule passe
Coût	Investissement élevé, coût proportionnel faible	Investissement faible, coût proportionnel élevé (gaz + métal d'apport)	Investissement élevé, coût proportionnel faible (peu de préparation, peu de déformation)
Limitations	Profondeur bras machine	Fonction des outillages seulement	Dimension enceinte sous vide

Soudage par rayonnement laser

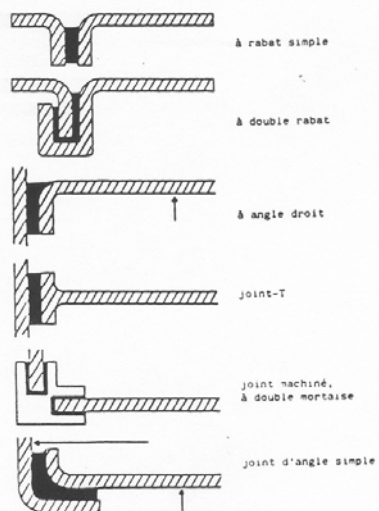
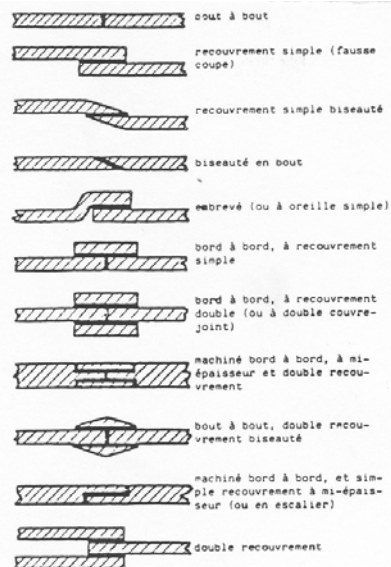


L'assemblage par collage

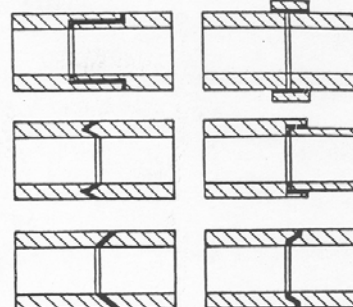
Principes

Le joint collé constitue essentiellement un procédé d'assemblage permettant :

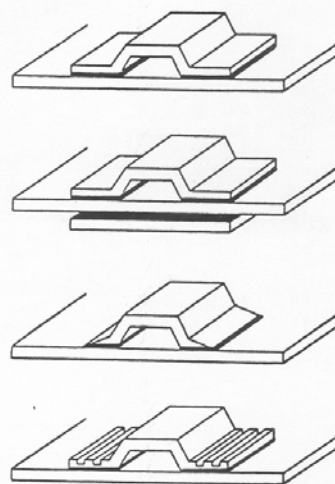
- d'alléger les structures (pas de boulons, etc),
- d'éviter les modifications structurales internes des matériaux à réunir,
- de former un joint continu, résolvant des problèmes d'étanchéité, et parfois de corrosion,
- de répartir uniformément les contraintes



Assemblages de toles



↑ Assemblage de tubes



Renforcements de toles par collage

L'assemblage automatisé

- assemblage rigide
- assemblage flexible

L'assemblage automatisé de pièces nécessite de la part de l'installation robotisée :

- un positionnement précis des pièces à solidariser, et, notamment, une grande répétabilité de position dans l'espace tri-dimensionnel (précision de position : 0,02 ... 0,05 mm)
- la capacité de :
 - reconnaissance de pièces
 - détection d'obstacles dans les déplacements
 - la prise de décisions rapides dans les situations réelles rencontrées.

Des cellules flexibles d'assemblage robotisé fonctionnent dans l'industrie pour :

- l'assemblage de petits équipements électromécaniques : relais, contacteurs, etc.
- l'insertion automatique de composants électroniques et circuits intégrés sur circuits imprimés, les petits appareils électroménagers,
- les emballages de pièces et sous-ensembles, etc.

