LE PROCÉDÉ TIG

GTAW

RÉDACTION : PIERRE DAIGLE

Centre de formation professionnelle
de l'Outaouais

COPYRIGHT PIERRE DAIGLE © 2003 soudage@videotron.ca

LE SOUDAGE AU GAZ A L'ARC ÉLECTRIQUE SOUS PROTECTION GAZEUSE AVEC ÉLECTRODE RÉFRACTAIRE EN TUNGSTÈNE

INTRODUCTION

Le soudage au gaz à l'arc de tungstène (GTAW), même s'il est un procédé électrique, est semblable, quant à la technique, au soudage au gaz. L'arc de tungstène (GTAW) produit des soudures de grande qualité sur divers métaux, spécialement l'acier inoxydable et l'aluminium. Aussi, on y recourt là où l'inspection de joints soudés est soumise à un contrôle strict de la qualité.

Par définition, le terme "TIG" est l'abréviation de 'Tungsten Inert Gas" et sert à désigner le procédé de soudage en atmosphère inerte avec électrode de tungstène aussi appelée "G.T.A.W." (gas tungsten arc welding).

Le soudage à l'arc au tungstène est un procédé qui utilise un arc électrique entre une électrode réfractaire de tungstène et la pièce à souder. Un gaz inerte protège la zone de métal en fusion contre l'air ambiant durant le soudage. (Figure 1)

Le métal d'apport peut être ou ne pas être utilisé. Lorsque l'on a besoin de métal complémentaire, on utilise une baguette d'apport qui vient alimenter le bain de fusion remplissant ainsi le joint à souder. La technique de soudage utilisée est la même que pour le procédé de soudage oxyacétylénique. Pendant qu'une main tient la torche pour amener le métal de base en fusion, l'autre tient la baguette et alimente le bain de fusion.

Le principe de soudure "TIG" est simple en soi puisque la torche électrique est conçue pour alimenter un jet de gaz inerte (argon, hélium ou parfois un mélange argon-hélium) qui vient envelopper l'arc électrique à la pointe de l'électrode et créer un bouclier gazeux empêchant l'air ambiant de venir en contact avec l'opération de soudure.

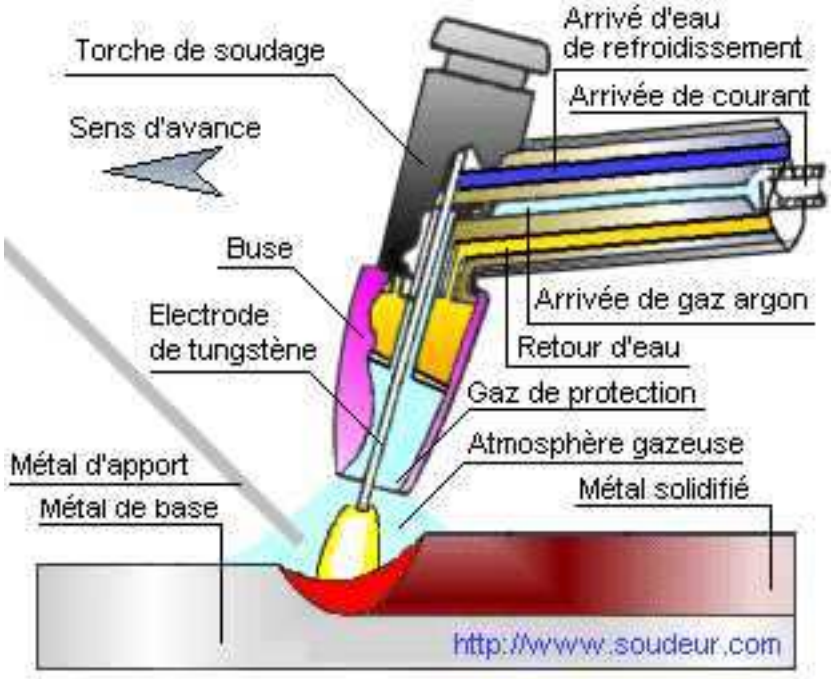


Figure 1: Principe de la soudure "TIG" (Image soudeur.com)

En résumé, on peut ainsi décrire ce procédé: un arc est amorcé entre l'extrémité d'une électrode réfractaire (tungstène) et la pièce à souder et provoque la fusion du métal de base. Une buse, concentrique à l'électrode, canalise un gaz inerte qui isole de l'atmosphère extérieure l'arc et le bain de métal en fusion. Le métal d'apport à d'ordinaire la forme de baguettes pour la torche manuelle ou de fil embobiné lorsqu'on veut un apport automatique.

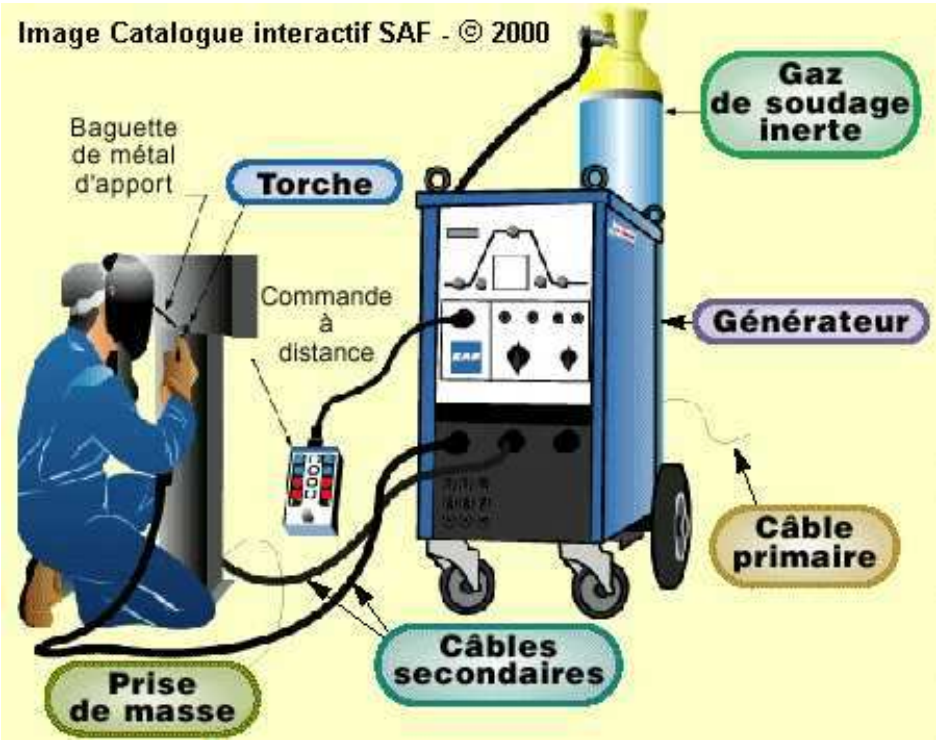


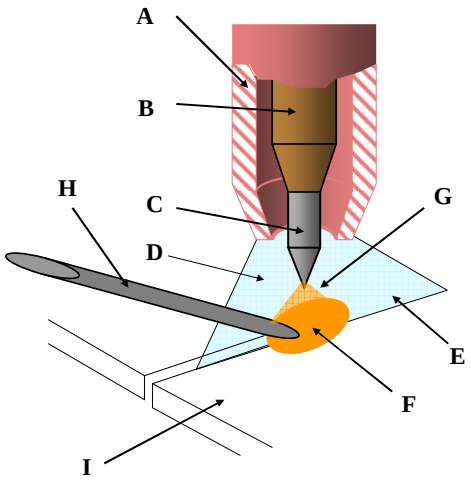
Figure 2
Poste de soudage TIG (image SAF)

APPLICATIONS

Le procédé de soudage à l'arc au tungstène est surtout utilisé pour le soudage des tôles minces mais plus particulièrement pour tous les métaux difficiles à souder. Parmi ces métaux, mentionnons l'aluminium, le magnésium, l'acier inoxydable, le cuivre et ses alliages, et les aciers au carbone de différentes épaisseurs. On emploie le procédé dans la construction aéronautique, pour les ustensiles de cuisine, les bloc-moteurs, les réservoirs, les citernes les carrosseries, les cabines de camions, les téléphériques, dans les industries alimentaires et chimiques pour les échangeurs de chaleur, les pièces décoratives et bien d'autres encore.

Description du procédé

A) Buse
B) Porte-électrode
C) Electrode de tungstène
D) Gaz de protection
E) Cordon de soudure
F) Bain de fusion
G) Arc
H) Baguette d'apport
I) Métal de base



AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Avantages:

La grande qualité des soudures obtenues par le soudage à l'arc électrique avec électrode réfractaire sous protection gazeuse en fait un procédé idéal pour le soudage de presque tous les métaux. Il ne requiert que peu et même parfois aucun nettoyage après la soudure. Le soudage à l'arc électrique avec électrode réfractaire sous protection gazeuse s'exécute facilement dans toutes les positions sans aucune projection de métal. De plus, les soudures se font sans l'emploi du laitier, éliminant ainsi les inclusions de laitier. Le chauffage des pièces s'effectue sur une petite surface, le bain de fusion est étroit et la vitesse de soudage, relativement élevée. En raison du gaz inerte, on peut dire que les émanations de vapeur et de fumée toxique sont éliminées dans la plupart des cas. le dépôt de soudure est très dense et le procédé permet d'exécuter les soudures sans porosité même sur des métaux difficilement soudables, tels les alliages de titane et le zirconium. Enfin, le procédé est idéal aussi pour effectuer des réparations et de petites séries de fabrication de pièces.

Inconvénients:

Procédé de soudage lent, il nécessite souvent les deux mains du soudeur. De plus, il n'est pas vraiment avantageux pour le soudage sur tôles épaisses. Il exige un équipement plus considérable que certains autres procédés comme le SMAW, par exemple.

- Équipement dispendieux.
- Prix élevé de la soudure à cause du gaz de protection et du coût de l'équipement.
- Déformations des pièces soudées.

L’équipement requis pour le procédé TIG, illustré en page précédente, se compose comme suit:

1. Un transformateur à courant alternatif, avec circuit ouvert de pas moins de 70 volts.

2. Un générateur haute fréquence (faisant partie intégrale du transformateur ou non).

3. Une torche munie des câbles et conduites nécessaires pour amener le courant, le gaz protecteur et l’eau servant au refroidissement (s’il y a lieu).

4. Un manomètre et un débitmètre pour le gaz argon. L’équipement pour le procédé TIG peut aussi comprendre:

5. Un panneau de contrôle qui arrête le débit d’eau et de gaz protecteur à un moment fixé d’avance.

6. Des condensateurs servant à diminuer l’effet de rectification, ou même un circuit d’accumulateurs d’automobile.

Un ensemble formé des éléments 1, 2, 5 et peut-être 6 est souvent désigné sous le nom d’un poste de soudage TIG.
Le choix de l’équipement pour le procédé de soudage TIG dépend de la qualité de soudage à faire, de la qualité de la soudure requise, des alliages et des épaisseurs à souder et de l’équipement déjà disponible. Dans bien des cas, les postes de soudage conventionnels à courant alternatif, s’ils sont munis d’un alternateur à haute fréquence et d’un circuit d’accumulateurs (rectification) conviennent au procédé TIG. Si l’excellence de soudure exigée requiert un travail de haute qualité, l’équipement spécialement conçu pour le procédé TIG doit être employé.

Unité de commandes sur la façade de la machine à souder

Pour éviter l’oxydation de l’électrode, il est important de laisser s’écouler l’argon de façon continue après le soudage. Le contrôle manuel de l’ouverture et de la fermeture du débit d’argon peut causer le gaspillage de ce gaz. Un dispositif automatique de contrôle des débits d’argon, du courant à haute fréquence, de l’eau et du courant continu évite le gaspillage de l’argon et empêche la condensation de se former dans la torche et rend celle-ci inerte quand elle n’est pas utilisée.Ce dispositif est présent sur un poste de soudage TIG. (exemple : post flow)

LE POSTE DE SOUDAGE ET SES COMPOSANTES INTERNES

Les machines à souder peuvent être regroupées en deux grandes catégories:

A) Les machines à souder à **caractéristique tombante** ou à voltage tombant (les Américains les appellent “dropping voltage welders or constant current welders”) servent tous les procédés manuels avec électrode enrobée, avec électrode réfractaire sous atmosphère inerte et pour le coupage à l’arc au carbone.

B) Les machines à souder à **caractéristique horizontale** ou à potentiel constant (“constant potential or constant voltage welders”) sont les meilleures pour tous les procédés automatiques mais ne peuvent pas servir au soudage manuel avec électrode enrobée ou réfractaire.

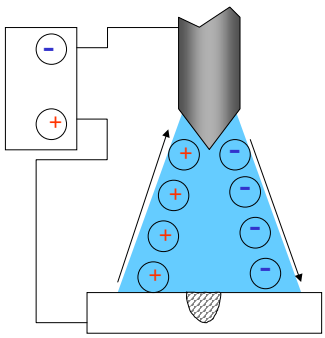
Pour le soudage avec électrode réfractaire sous atmosphère inerte, c’est donc les machines de catégorie **A)** qui sont utilisées.

N.B. Il existe de nouvelles machines combinées qui rencontrent à la fois les caractéristiques des catégories (A) et (B), sont maintenant disponibles sur le marché.

CARACTÉRISTIQUES DU COURANT

En courant continu, on peut utiliser la polarité négative ou positive. On sait que, pour la polarité négative, la prise à la masse est à la borne positive. De cette façon, les électrons circulent de l’électrode vers la pièce à souder en concentrant la chaleur sur le joint.

Courant continu, polarité normale (CCPN)



CCPN

Au courant continu à la polarité normale les électrons frappent la pièce à souder à une grande vitesse, créant ainsi un effet de chaleur intense sur la pièce.

La pièce se fusionne rapidement à cause de la grande quantité de chaleur qu’elle reçoit. Les ions de gaz inerte sont à ce moment dirigés vers l’électrode négative à une vitesse relativement lente. La polarité négative en courant continu ne donne aucun effet de nettoyage pour enlever les oxydes des métaux.

N.B. A la polarité normale, on peut employer une intensité de courant plus élevée avec une électrode de tungstène de même diamètre. Lorsqu'on augmente l'ampérage, on obtient une pénétration plus profonde, on augmente la vitesse de soudage et on forme un profil de cordon étroit mais profond (Figure 5).
Le cordon étroit est donc attribué au petit diamètre de l'électrode utilisée et la profondeur de pénétration est provoquée par la concentration des électrons. De plus, un cordon étroit a pour effet de réduire la quantité de chaleur dans la zone avoisinante de la soudure, diminuant ainsi d'autant les contraintes et les possibilités de fissures sur certains métaux. On peut dire que la polarité normale est surtout utilisée pour les aciers au carbone, l'acier inoxydable et les alliages de cuivre.

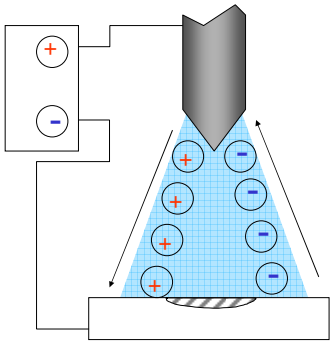
C.C.P.N.

Avec la polarité normale, on peut employer une intensité de courant plus élevée qu'avec la polarité inversée pour un même diamètre d'électrode.
L'augmentation d'intensité permet d'obtenir:

- ***Une pénétration plus profonde;***
- ***Une vitesse de soudage accrue;***
- ***Un profil de cordon étroit mais profond.***

Pour la polarité positive, c'est l'électrode qui est positive et la masse qui estnégative.Les électrons circulent de la pièce vers l'électrode.

Courant continu polarité inversée (CCPI)



CCPI

En polarité inversée, c'est l'électrode qui reçoit une grande quantité de chaleur au lieu de la pièce. La chaleur a tendance à fusionner le bout de l'électrode de tungstène. À cause de ce surplus de chaleur, il faut utiliser un diamètre d'électrode plus grand à polarité inversée qu'à polarité normale. La pénétration est peu profonde.

N.B. Avec un diamètre d'électrode donnée, il faut utiliser un courant de soudage maximum relativement bas (environ 6 fois plus faible que lorsque l'électrode est négative.
De plus un diamètre d'électrode trop grand n'est pas souhaitable parce qu'il diminue la visibilité du soudeur et augmente l'instabilité de l'arc. En polarité inversée, la pièce demeure relativement froide comparativement à la polarité normale; il en résulte une pénétration peu profonde (Figure précédente).

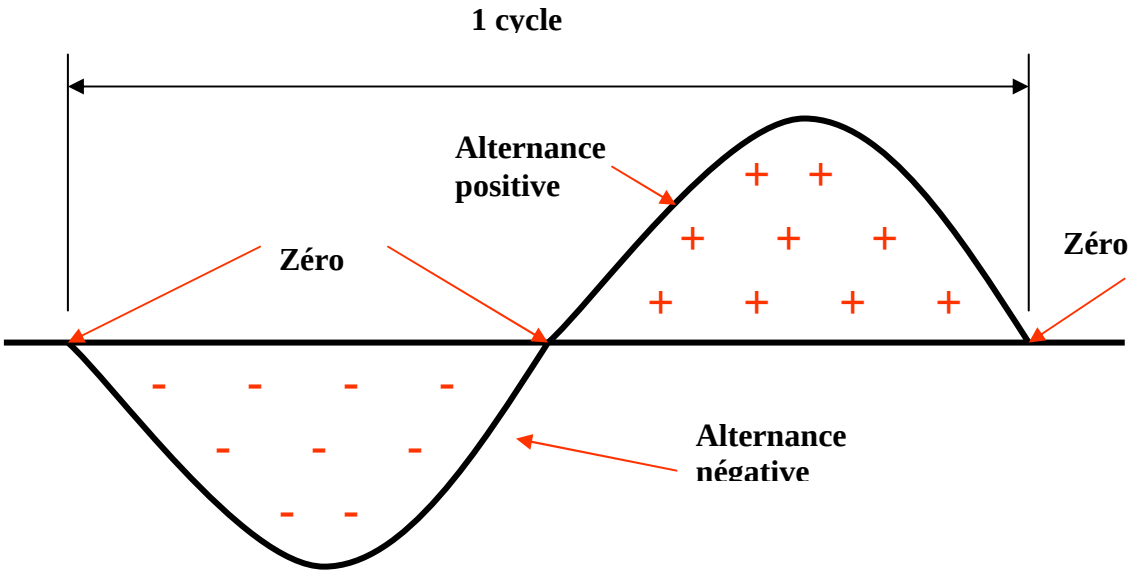
Il est important de retenir:

Cette dernière caractéristique est souhaitable pour les parois minces. Une autre importante caractéristique est l'effet nettoyant en polarité inversée sur certains métaux, tels le magnésium le béryllium et le cuivre. En effet, les ions de gaz inerte viennent frapper la surface de la pièce et leur énergie cinétique brise le film d'oxyde.

Il y a un fort effet de nettoyage du bain de fusion. L'effet de nettoyage est aussi attribuable au mouvement des électrons en quittant la pièce.

Courant alternatif et haute fréquence.

Le soudage en courant alternatif réunit à la fois les deux caractéristiques du courant continu. Pendant l'alternance positive, il y a un fort effet de nettoyage du bain de fusion et, pendant l'alternance négative, la chaleur est plus concentrée dans le bain de fusion, ce qui a pour effet d'augmenter la pénétration.



Fréquence normale du courant alternatif

Lorsque l'on soude au courant alternatif, Il est recommandé d'employer la haute fréquence et des impulsions à hautes fréquences superposées au courant de soudage. Ce procédé a pour effet de faciliter l'amorçage de l'arc, de la stabiliser et de remédier aux interruptions qui peuvent se produire chaque fois que le courant alternatif passe par zéro. Pour un courant standard de 60 Hz, le courant passe au point zéro 120 fois par seconde.

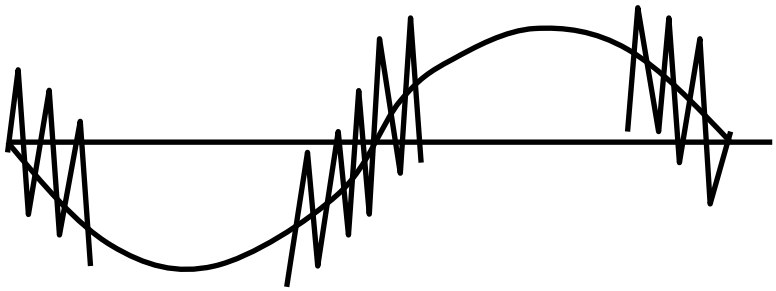
Un courant alternatif à haute fréquence qui comprend trois millions deux cent mille (3 200 000) cycles par seconde est superposé au circuit de soudage et établit une étincelle pilote ayant la propriété d'ioniser l'espace compris entre l'extrémité de l'électrode de tungstène et la pièce à souder.

Cette ionisation a pour but de rendre conducteur de l'électricité l'espace d'air compris entre l'extrémité de l'électrode et la pièce.

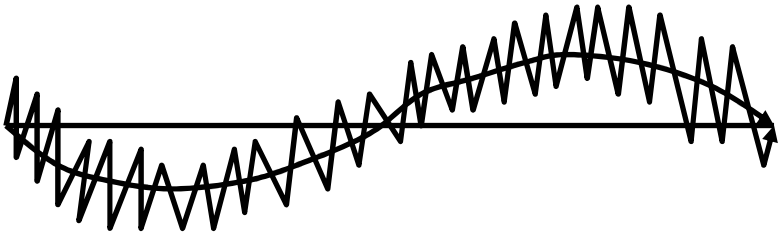
La haute fréquence permet l'amorçage de l'arc par simple rapprochement et sans qu'aucun contact ne soit nécessaire entre l'électrode et la pièce. les générateurs de haute fréquence sont raccordés électriquement ou magnétiquement au circuit de soudage. Ils donnent un courant de haute tension et de faible intensité. Ils peuvent fonctionner en permanence ou bien fournir des impulsions durant les périodes où le courant de soudage passe par zéro, afin de stabiliser l'arc durant le soudage.

N.B. Quand il n'y a pas de haute fréquence, on doit amorcer l'arc sur une plaque de cuivre.

Les postes de soudage avec haute fréquence intégrée possèdent un contrôle de haute fréquence qui varie de O à 100% d'utilisation et, pour l'ajustement des pointes de haute fréquence, cette haute fréquence peut varier entre 0,008 et 0,013 maximum.



Impulsion de hautes fréquences au passage des points zéro

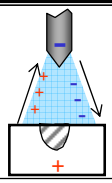
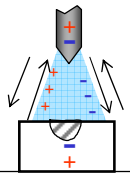
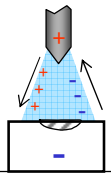


Haute fréquence continue

N.B. On peut aussi utiliser la haute fréquence pour l'amorçage de l'arc seulement. Cette façon de faire se pratique pour le soudage en courant continu afin d'amorcer l'arc sans avoir à toucher la pièce avec l'électrode. C'est un contact à relais qui enlève la haute fréquence une fois l'arc amorcé.

La figure ci-dessous compare la profondeur de pénétration, les effets du courant de soudage sur la largeur et d'un cordon de soudure, l'action netoyante des oxydes et la répartition de la chaleur.

Influence du type de courant et de la polarité

	Courant continu Polarité normale	Courant alternatif	Courant continu Polarité inversée
Caractéristiques de pénétration			
Action nettoyante des oxydes	**Nulle**	**Oui, une fois tous les demi-cycles**	**Oui**
Répartition de la chaleur dans l'arc	**70 % à la pièce 30% à l'électrode**	**50 % à la pièce 50 % à l'électrode**	**30 % à la pièce 70% à l'électrode**
Pénétration	**Étroite et Profonde**	**Moyenne**	**Large et peu profonde**

Avantages du courant alternatif avec haute fréquence

En résumé, le courant alternatif avec haute fréquence superposée possède les avantages suivants:

- L'amorçage de l'arc se fait sans contact de l'électrode à la pièce. Il en résulte moins de contamination de l'électrode et du métal déposé;
- on obtient une meilleure stabilité de l'arc;
- un arc long est possible, ce qui, dans certaines conditions facilite l'exécution, en particulier pour le surfaçage et le rechargement dur;
- la durabilité de l'électrode est augmentée de 100%;
- on peut utiliser une plus grande gamme d'intensité de courant pour un diamètre d'électrode donné;
- il est plus facile pour le soudage en toute position.

NOTIONS DE SANTÉ ET SÉCURITÉ PROCÉDÉ GTAW

Généralités

Dans le procédé de soudage à l'arc au tungstène, on doit observer les règles de sécurité qui s'appliquent à n'importe lequel autre procédé de soudage à l'arc électrique.

Pour tous les procédés de soudage à l'arc, il est nécessaire de se protéger contre les chocs électriques, les brûlures et les incendies. De plus, le soudage de certains métaux ou alliages peut produire des fumées incommodantes, voire dangereuses pour le soudeur.

Dangers de décharges électriques

Tous les pôles et les connexions électriques doivent être traités comme étant sous charge active en tout temps, de sorte que, si l'on veut procéder à un ajustement quelconque sur une des connexions, l'on doive avant tout, débrancher la prise principale.

Aussi, durant le soudage, l'électrode est également sous charge active et par conséquent on doit débrancher avant de changer l'ajustement de l'électrode.

Précautions à prendre avant de souder

Avant de commencer à souder, il faut vérifier s'il n'y a pas de fuites dans le système de refroidissement, car elles pourraient provoquer un choc électrique. Il est bien important d'attacher les bouteilles de gaz inerte aux supports des machines à souder pour éviter qu'elles tombent et se brisent en provoquant de graves accidents.

Protection contre les rayons de l'arc

L'opérateur doit aussi se protéger contre les rayons de l'arc en atmosphère inerte car l'arc est nu. Ce dernier a pour effet de laisser passer plus librement les rayons ultraviolets et infrarouges, augmentant ainsi les risques de coups d'arc sur la peau et aux yeux. C'est pourquoi on a souvent recours à un verre teinté plus foncé sur le masque à souder. La teinte des verres dépend de l'intensité de courant employé lors du soudage. Le tableau ci-dessous indique les numéros de teinte de verre qu'il faut utiliser en fonction de l'intensité de courant.

No. de verre Teinté	Intensité de courant
6	5 à 30 A
8	30 à 75 A
10	75 à 100 A
12	200 à 400 A
14	au-dessus de 400 A

*Il est bon de consulter le fournisseur pour obtenir des verres filtrants qui assurent une bonne vision de l'arc en même temps qu'une bonne protection.

Émanations gazeuses de l'arc

La soudure TIG émet un gaz toxique appelé "ozone". Ce n'est pas un gaz mortel mais il peut indisposer. Par conséquent, il vaut mieux prendre la précaution d'installer une bonne ventilation pour le capter et évacuer ce gaz efficacement.

L'inhalation de l'hélium et de l'argon ne produit aucun effet nocif. Cependant, il faut prévoir le cas où le soudeur travaille dans un endroit exigu puisque la grande quantité de gaz inerte dégagée raréfie l'oxygène nécessaire à la respiration.

Précautions à prendre concernant la haute fréquence

Lorsqu'on travaille à l'aide d'un poste à haute fréquence superposée, on doit éviter de toucher l'électrode ainsi que toute partie non isolée conduisant à cette haute fréquence. Ces contacts provoqueraient sur la peau de petites brûlures douloureuses et longues à guérir. Aussi doit-on éviter de mettre en contact le câble de la torche avec le métal de base déjà chauffé car l'isolant brûle et le courant de la haute fréquence vient percer le caoutchouc. Il en résulte un bris de la torche et une possibilité de choc électrique.

En raison du haut voltage, on doit fermer le dispositif de haute fréquence lorsqu'on veut changer d'électrode ou réparer le poste de soudage.

Rappel important:

La chaleur rayonnante générée par l'arc du TIG est forte. Il faut donc porter des gants de soudeur et couvrir toute peau exposée du corps qui pourrait être brûlée par le rayonnement infrarouge et ultra violet de l'arc durant le soudage. Il est à conseiller aussi de se revêtir avec des vêtements de cuir ou ignifuge

Le nettoyage des pièces

Si l'on dégraisse les pièces à souder au tétrachlorure de carbone ou au trichloréthylène, il faut bien assécher les pièces avant d'exécuter la soudure, sinon l'arc dissociera ces solvants qui formeront alors un gaz très toxique, le phosgène. Afin d'éliminer tout risque, il est conseillé de nettoyer les métaux légers et leurs alliages dans une solution alcaline chaude, de la soude caustique par exemple, puis de les plonger dans l'eau froide pour les neutraliser et, enfin, de les rincer à l'eau.

N.B. Pour le soudage de l'aluminium, on perçoit un dégagement assez volumineux d'ozone; c'est de l'oxygène enrichi, qui irrite les voies respiratoires et qui cause une inflammation si les vapeurs sont trop concentrées.On le reconnaît à son odeur piquante et irritante

IMPORTANCE DES GAZ DE PROTECTION

Une des exigences fondamentales d'une bonne soudure, c'est qu'elle doit avoir les mêmes propriétés que le métal de base. Pour obtenir ce résultat, le bain de fusion doit être entièrement protégé des gaz atmosphériques tels que le nitrogène et l'oxygène durant le procédé de soudage. Si l'arc n'est pas parfaitement protégé, ces gaz et d'autres gaz indésirables sont absorbés par le bain de fusion. Il en résulte donc des soudures faibles et poreuses.

Les gaz de protection

L'argon et l'hélium sont les gaz inertes les plus couramment employés dans le procédé TIG. Cependant, on recommande particulièrement l'argon car il convient à une grande variété de métaux et le débit nécessaire est très inférieur à celui de l'hélium pour un travail donné.

On a besoin entre deux et trois volumes d'hélium comparativement à un seul volume d'argon pour obtenir la même protection.

L'argon est un gaz inerte qui ne s'allume pas, ne nourrit pas la combustion et ne réagit chimiquement à aucun autre élément. Il est sans couleur, sans odeur et est présent à 0.93% dans l'atmosphère.

On l'obtient à partir de la liquéfaction de l'air durant. la production de l'oxygène par la distillation fractionnée de l'air liquide.

Pour être efficace comme gaz de protection, la pureté de l'argon ne doit pas être inférieure à 99.95% mais on peut en trouver sans trop de difficulté à 99.99%. Un tel degré de pureté impose de ne pas laisser se vider complètement un cylindre d'argon avant d'arrêter de s'en servir. Il ne faut jamais non plus laisser ouverte la valve du cylindre lorsque celui-ci est vide; l'air pourrait s'introduire dans le cylindre.

Les cylindres d'argon sont peints de couleur uniforme (couleur unie selon le fabriquant) et remplis à une pression de 2400 livres au pouce carré (14,000 Kpa). Ces cylindres sont similaires en dimensions aux cylindres d'air (oxygène) et ont des filets de vissage à droite.

L'argon est assez lourd, environ une fois et un tiers aussi lourd que l'air. Pour cette raison, il peut pousser de côté les molécules d'air. Il prévient alors l'oxydation de l'électrode de soudage, la fusion du bain de soudure et la zone touchée par la chaleur à côté du bain de fusion.

Il est important de retenir : Le terme inerte signifie que le gaz ne se combine à aucun autre corps. Le gaz inerte empêche le contact entre le métal en fusion et l'air. Un gaz inerte est un gaz qui n'a aucun effet chimique actif sur le métal de soudure en fusion.

Hélium

L'hélium (He) est un gaz sans couleur, inodore et sans goût. Chimiquement, il est presque entièrement inactif, et il ne brûlera ni n'explosera. L'hélium est le deuxième plus léger élément connu après l'hydrogène. Il peut aussi être le gaz le plus froid, liquéfié à -269℃. L'hélium est moins soluble.

L'hélium est fourni dans des bouteilles ordinaires qui contiennent 8 m3 à 18 200 kPa. Il possède un degré élevé de tension et fournit plus de chaleur que l'argon pur avec le même courant et la même longueur d'arc. C'est pourquoi, il est préféré pour le soudage de sections épaisses en acier et pour le métal à haute conductivité thermique, tels l'aluminium et le cuivre.

Par ailleurs, on peut également trouver sur le marché des mélanges d'argon et d'hélium ayant des proportions et des propriétés diverses.

Assez souvent, on obtient les meilleures conditions de soudage en combinant ces deux gaz de protection dans des proportions variées.

Voici des exemples de mélanges de gaz de protection employés communément pour le soudage au gaz à l'arc de tungstène:

- 50% d'argon et 50% d'hélium pour des épaisseurs moyennes.
- 25% d'argon et 75% d'hélium pour les épaisseurs lourdes d'éléments de grande conductibilité thermique tels que l'aluminium et le cuivre.

Le recours à ces mélanges et à d'autres mélanges permet des vitesses rapides de soudage. En même temps, ces mélanges éliminent des problèmes tels qu'une pénétration superficielle, un mauvais nettoyage et une grande consommation de gaz.

GAZ INERTE RECOMMANDE EN FONCTION DES DIFFÉRENTS MÉTAUX

N.B.: À moins de spécifications contraires, le soudage se pratique en courant continu à polarité normale. (électrode négative)

Alliages d'aluminium	Argon avec CA haute fréquence continue est préférée; donne un arc stable et un bon effet de nettoyage. Argon et hélium avec CA donnent un arc moins stable, une plus grande vitesse, une meilleure pénétration. Hélium avec CCPN: donne un arc stable et une grande vitesse de soudage sur du matériel chimiquement propre.
Aluminium bronze	L'argon diminue la pénétration sur le métal de base lors d'un surfaçage. C'est à cela qu'est destiné cet alliage.
Laiton	L'argon donne un arc stable et peu de fumée se dégage.
Alliages à base de cobalt	L'argon donne un arc bien stable et de contrôle facile
Cuivre pur	On préfère l'hélium; donne une grande valeur pour contrecarrer la conductibilité thermique du cuivre. Un mélange de 75% d'hélium et de 25% d'argon donne un arc stable, une moins grande chaleur de l'arc que l'hélium seul; on le recommande pour le métal de 1,6 mm et moins d'épaisseur.
Inconel (alliage Ni73% Cr17% Fe 10%)	L'argon donne une bonne stabilité de l'arc. l'hélium est recommandé pour de grandes vitesses en soudage automatique.
Acier doux	Pour le soudage manuel, on recommande l'argon. Le succès dépend de l'habileté du soudeur. On préfère l'hélium pour de grandes vitesses en soudage automatique; donne une meilleure pénétration que l'argon.

GAZ INERTE RECOMMANDE EN FONCTION DES DIFFÉRENTS MÉTAUX (suite)

Cuivre Nickel	L'argon donne un arc bien stable et de contrôle facile. Employer aussi avec le soudage de cuivre-nickel à l'acier
Alliage de magnésium	On recommande l'argon avec CA haute fréquence continue. Cela donne une bonne stabilité de l'arc et une bonne action de nettoyage.
Molybdène **Titane**	L'argon et l'hélium pur sont recommandés. Le soudage doit s'effectuer dans un endroit exempt de courant d'air pour obtenir une bonne ductilité de la soudure.
Alliages de Nickel	L'argon donne un arc stable. L'hélium est recommandé pour le soudage automatique à grande vitesse.
Bronze silicium	L'argon diminue les tensions internes dans le métal de base et dans la soudure, parce qu'il y a moins de pénétration avec ce gaz comparativement à l'hélium.
Acier inoxydable	On recommande l'argon pur. Donne une meilleure pénétration avec de l'hélium mais l'argon est suffisant.
Alliage de titane	L'argon donne un arc stable. L'hélium est recommandé pour le soudage à grande vitesse

CARACTÉRISTIQUES DE L'ARGON

- Il produit un bas voltage de l'arc. Il en résulte moins de chaleur à l'arc, ce qui fait que l'argon est employé exclusivement pour le soudage manuel des métaux dont l'épaisseur est de 1,6 mm et moins.
- Il produit une bonne action de nettoyage. Il devient un gaz idéal pour les métaux qui possèdent une couche d'oxyde en surface, tels l'aluminium ou les alliages ferreux contenant un fort pourcentage d'aluminium.
- Il facilite l'amorçage de l'arc, ce qui est très important pour le soudage des métaux minces.
- Il possède un arc stable. Cette stabilité est supérieure à celle de l'hélium.
- Il demande un petit volume de gaz. Parce qu'il est plus lourd que l'air, l'argon donne une bonne protection de la soudure avec un petit débit de gaz et, de ce fait, il est moins affecté par les courant d'air que l'hélium.
- Il est utilisé en soudage vertical et au plafond. Quelquefois, l'argon est préféré à l'hélium à cause d'un meilleur contrôle du bain de fusion, mais il donne moins de protection que l'hélium à cause de l'effet de la pesanteur.
- Il est déconseillé en soudage automatique. L'argon peut provoquer des porosités et des caniveaux à une vitesse de soudage supérieure à 25 mm par minute. Ces défauts sont plus ou moins amplifiés selon la sorte de métal et son épaisseur. L'utilisation d'un mélange de gaz d'argon et d'hélium peut les corriger.
- Il est déconseillé pour le soudage du métal épais. Pour les métaux plus épais que 5 mm, on recommande un mélange d'argon et d'hélium.
- Il est préféré pour le soudage des métaux différents et il est normalement supérieur à l'hélium.

CARACTÉRISTIQUES DE L'HÉLIUM

- Il produit un haut voltage de l'arc. De ce fait, l'arc est plus chaud et il est favorable au soudage des métaux dont l'épaisseur est supérieure à 5 nu et dont le coefficient de conductibilité calorifique est élevé.
- Il affecte une petite zone de chaleur. Avec la chaleur élevée de l'arc, on obtient une plus grande vitesse de soudage et la zone affectée par la chaleur est réduite au strict minimum. Il y a moins de déformations et les propriétés mécaniques sont souvent plus élevées.
- Il demande un grand volume de gaz. L'hélium est plus léger que l'air. Le débit de gaz doit être deux à trois fois supérieur à celui de l'argon. A cause de sa légèreté, l'hélium est plus sensible aux courants d'air mais il donne une meilleure protection en position de soudage à la verticale.
- Il est recommandé en soudage automatique.

LES PRINCIPALES ÉLECTRODES RÉFRACTAIRES

Dans le procédé de soudage à l'arc au tungstène, l'électrode n'est pas fusionnée comme dans le procédé à l'arc manuel. C'est pourquoi elle doit posséder un point de fusion élevé afin de conduire le courant et de maintenir l'arc sans qu'elle ne se fusionne elle-même. Le tungstène est le seul métal utilisé à cause de son point de fusion atteignant 3370℃.

Il existe trois principaux types d'électrodes de tungstène:

- Le tungstène pur (minimum 99,7%)
- Le tungstène thorié 1% et 2% (thorium)
- le tungstène au zirconium (zircone)

Les électrodes de tungstène pur sont utilisées en courant alternatif pour obtenir de meilleur résultat surtout pour l'aluminium. Le tableau ci-dessous indique le courant de soudage recommandé pour d'électrode de tungstène pur avec l'argon comme gaz protecteur.

Diamètre d'électrode de tungstène pur en mm	**Courant de soudage recommandé en courant alternatif (ampères)**
0,5	O-7
1,01	10-40
1,6	30-70
2,4	70-100
3,2	100-150
4	150-225
4,8	200-300
6,4	275-400

***À retenir** : Les électrodes de **tungstène pur** sont identifiées à un bout par une marque **verte**. Placez le bout marqué dans la douille, afin de reconnaître le type d'électrode que vous utilisez

Les électrodes de tungstène thorié 1% et 2%.

Ce type d'électrodes est particulièrement utilisé pour le soudage des aciers faiblement alliés. (Acier doux).

Généralement le tungstène thorié demande un plus bas ampérage que le tungstène pur et il devrait être utilisé avec le courant continu à la polarité normale.
(CC-)
Les électrodes de tungstène thorié sont disponibles en deux catégories: 1% thorié et 2% thorié et leurs courants sont recommandés au tableau ci-dessous. L'argon est le gaz protecteur.

Diamètre de l'électrode de tungstène thorié (mm)	**Courant de soudage CC polarité normale (ampères)**
0,5	O-25
1	12-100
1,6	20-190
2,4	35-325
3,2	50-475
4	65-600

L'addition de thorium augmente le niveau d'émission d'électrons de l'électrode. Il en résulte:

- un amorçage plus facile;
- une plus grande stabilité de l'arc;
- un courant de soudage admissible plus élevé;
- une tendance réduite au collage lors de l'amorçage par frottement en courant continu.

*N.B. Par ce qu'on utilise un ampérage plus bas que le tungstène pur, l'électrode thorié ne se déforme pas aussi rapidement par la chaleur que le tungstène pur. Aussi l'électrode thorié ne contamine pas autant la soudure si l'électrode, par accident, vient en contact avec la pièce pendant le soudage.
Les électrodes de tungstène au zirconium.

À retenir : Les électrode de **tungstène thorié** sont identifiées par une marque **jaune pour le 1%** et une marque **rouge pour le 2%.**

<u>Les électrodes de tungstène au zirconium :</u>

Les électrodes de tungstène au zirconium ont le point de fusion le plus élevé et sont le plus fréquemment utilisées pour le soudage de l'aluminium.

Ces électrodes contiennent approximativement 1% de zircone (Zr). L'addition de zircone augmente la faculté de l'électrode de résister à la contamination et de fixer la forme de la pointe.

Les électrodes contenant du zircone sont excellentes à l'usage sur du CA, elles donnent de meilleurs résultats.

Le tableau ci-dessous indique le courant de soudage qui doit être utilisé pour les différents diamètres d'électrodes au zirconium avec l'argon comme gaz protecteur.

Diamètre d'électrode de tungstène zirconium (mm)	Courant alternatif de soudage (ampères)
0,5	0-7
1	0- 30
1,6	20-115
2,4	100-185
3,2	150-225
4	190-300
4,8	200-340
6,4	300-445

Important :
L'addition de zirconium augment le niveau d'émission électronique de l'électrode. Pour un diamètre donné, le courant de soudage maximum indiqué par les fournisseurs doit être respecté. La pointe fond si l'électrode est surchauffée par un courant trop élevé, ce qui produira un arc instable. Il est recommandé d'utiliser le courant de soudage admissible par l'électrode le plus élevé possible pour des travaux donnés. La pénétration est meilleure, la vitesse de soudage est plus grande et la soudure possède un plus beau fini. L'arc devient instable si le courant est trop faible, car l'émission électronique ne s'étend pas sur toute la surface de l'extrémité de l'électrode.

Boîte d'électrodes réfractaires en tungstène

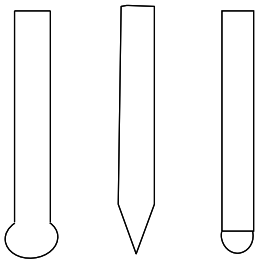
***À retenir** : Les électrode de **tungstène au zirconium** sont identifiées par une marque **brune** à un bout.

Tableau complet des types d'électrode réfractaire avec leur polarité ainsi que du code de couleur. W=WOLFRAM

Alliage de l'électrode	**Utilisation**	**Classification AWS**	**Code de couleur**	**UTILISATION**
Tungsten pur (W)	CA et CC	EWP	VERT	aluminium
W-1%oxyde de thorium	CC	EWTh-1	JAUNE	acier
W-2%oxyde de thorium	CC	EWTh-2	ROUGE	acier
W-0,25%oxyde de zirconium	CA	EWZr-1	BRUN	aluminium
W-2%oxyde de Cérium	CA et CC	EWCe-2	ORANGE	acier
W-1%oxyde de lanthane	CC	EWLa-1	NOIR	acier
94,5%W, le reste d'après les spécifications du fabricant	Spécifié par le fabricant	EWG	GRIS	aluminium & acier

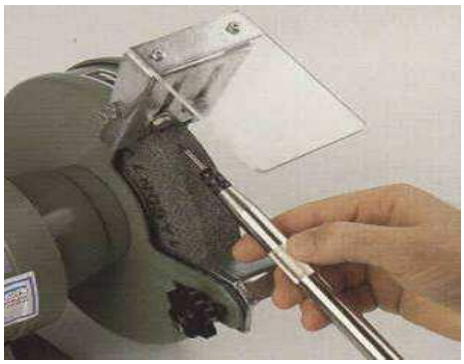
L’AFFÛTAGE DES ÉLECTRODES

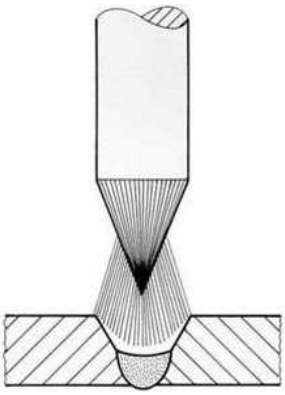
Lorsqu’on soude au courant alternatif, il est nécessaire de fabriquer au bout de l’électrode une petite boule. (voir figure ci-dessous). Pour ce faire, il suffit d’amorcer l’électrode pour un moment sur une pièce de cuivre avec le courant continu à polarité inversée. Avec un tungstène au zirconium, la boule se fait automatiquement en courant alternatif avec haute fréquence continue.



CCPI CCPN CA

Pour souder au courant continu en CCPN ou CCPI, il suffit de meuler l’électrode comme l’indiquent les figures ci haut. L’électrode en CCPI n’a pas besoins d’être préparé car à cette polarité la chaleur est concentré à environ 70% sur l’électrode qui aura tendance à fondre. Prévoyez baisser vos paramètre avant de faire une hémisphère à l’extrémité du tungstène. D’ailleurs la polarité inversée est très rarement utilisée.





Sens d’affûtage longitudinal. De cette façon, l'arc produit sera plus stable et aura moins tendance à remonter le long du cône d’arc.

LE NETTOYAGE DES ÉLECTRODES DE TUNGSTENE

Il est assez facile pour un soudeur de reconnaître une électrode oxydée ou contaminée. Une électrode en bon état possède un aspect brillant et propre. Dans le cas contraire, elle a un fini plutôt mat et sans éclat en son bout. On doit la meuler ou casser le bout contaminé pour la nettoyer.

Parmi les causes qui contaminent l'électrode, il y a, bien sûr le contact de celle-ci avec le bain de fusion ou avec le métal d'apport. Aussi après extinction de l'arc, l'électrode peut s'oxyder si elle n'est pas protégée par l'argon.

***Important : Il est nécessaire, pour conserver l'électrode en bon état de laisser sortir l'argon jusqu'à ce que l'électrode soit refroidie.**

Avertissement:

L'amenée du courant principal doit toujours être coupée avant d'ajuster ou de changer l'électrode dans la torche.

DISPOSITIF À HAUTE FRÉQUENCE

Pour aider à faire jaillir l'arc et à le stabiliser, on utilise un dispositif à haute fréquence par lequel on superpose au courant fourni par le transformateur un courant à haute fréquence ou à haute tension. Ce dispositif est généralement du type générateur à étincelle pilote, d'une capacité assez élevée pour faire jaillir un arc.

En détail:

Le stabilisateur d'arc à haute fréquence transforme ou fait passer le courant de 115 V à 3 500 V. Cela cause une très haute fréquence de presque deux millions de cycles par seconde. La haute fréquence et la haute tension servent alors au circuit de soudage. Elles créent l'étincelle ou l'arc qui saute entre l'électrode de tungstène et le travail. Une haute tension à fréquence si haute a assez d'effet sur le gaz de protection, pour le réduire dans sa forme conductrice électrique de gaz ionisé. Le gaz ionisé devient le conducteur par où la plus basse tension et la plus basse fréquence de CA peuvent passer.

La source électrique pour le soudage à l'arc de protection au gaz est alors de l'énergie directe à CC, ou à CA avec un stabilisateur d'arc à haute fréquence. Ce qui est employé dépend du métal à souder et du type d'arc désiré.

LES SYSTÈMES DE REFROIDISSEMENT

Parce que le procédé de soudage à l'arc au tungstène dégage beaucoup de chaleur, les torches doivent être refroidies. Cette façon de procéder donne au soudeur un meilleur confort et une meilleure sécurité.

Lorsqu'on a besoin, pour un travail donné, d'une faible intensité de courant, c'est le gaz qui circule dans le boyau où se trouve le câble du courant de soudage qui aide à refroidir la torche. Ce genre de refroidissement est suffisant car un bas ampérage produit une faible quantité de chaleur.

Mais pour un courant élevé, soit environ 150 à 500 Ampères, la torche et le câble de soudage sont refroidis par un liquide. Si le débit du liquide arrête ou diminue, la torche et le câble surchauffent et brûlent. Aussi est-il important de posséder une protection adéquate contre la chaleur. L'équipement doit être léger et malléable.

On utilise de l'eau qui provient éventuellement d'un robinet, passe dans la torche et est rejetée à l'égout. On peut aussi avoir un réservoir portatif dans lequel l'eau est recyclée.

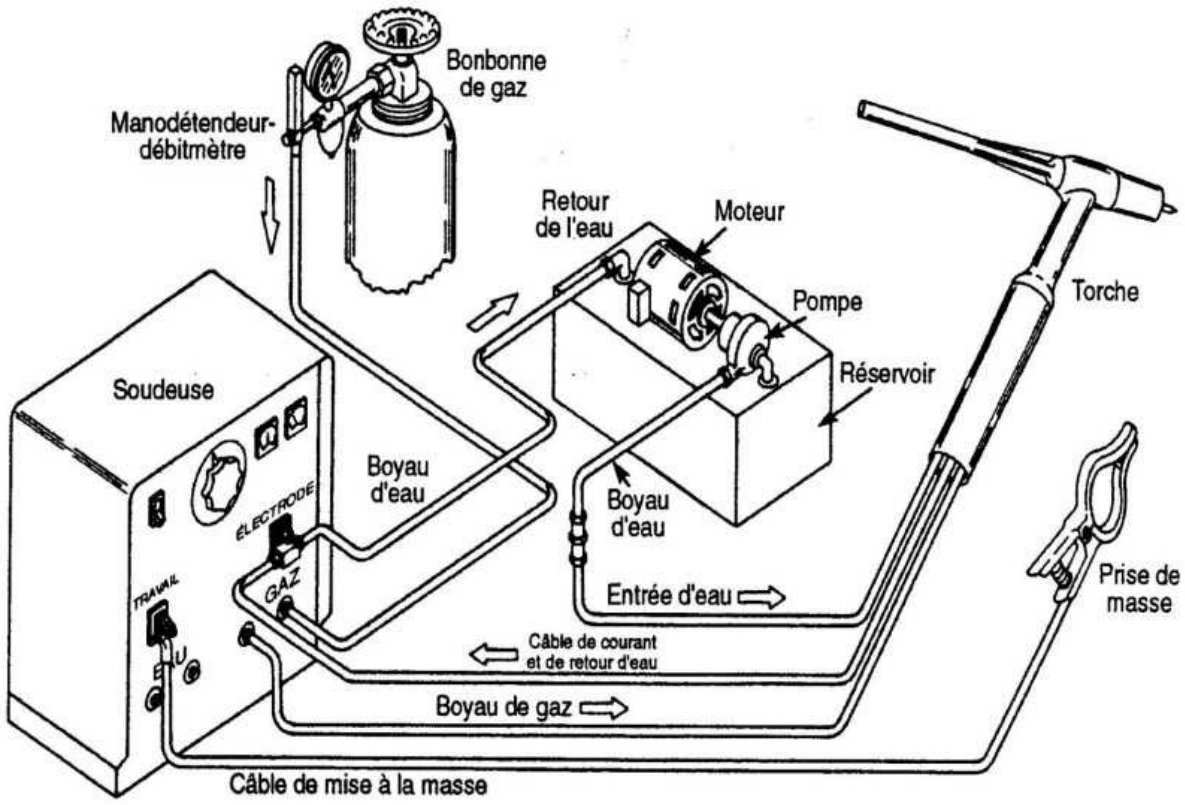
Toute eau pure, dont la température est maintenue relativement fraîche, peut servir au refroidissement de la torche. L'élément refroidissant doit être amené sous une pression variant entre 25 et 50 livres par pouce carré. Il est préférable de filtrer l'eau pour la débarrasser de tous corps étrangers. Si l'eau du service municipal est utilisée, on doit la faire passer à travers une soupape qui sert à réduire la pression et à maintenir celle-ci dans les limites requises.

Important à retenir :
Le système de refroidissement doit être propre, sinon l'eau circule difficilement dans les conduits qui s'obstruent; ce qui provoque la surchauffe pouvant endommager l'équipement. Un filtre est placé à l'entrée du liquide pour prévenir la rouille ou la saleté de pénétrer dans les boyaux.

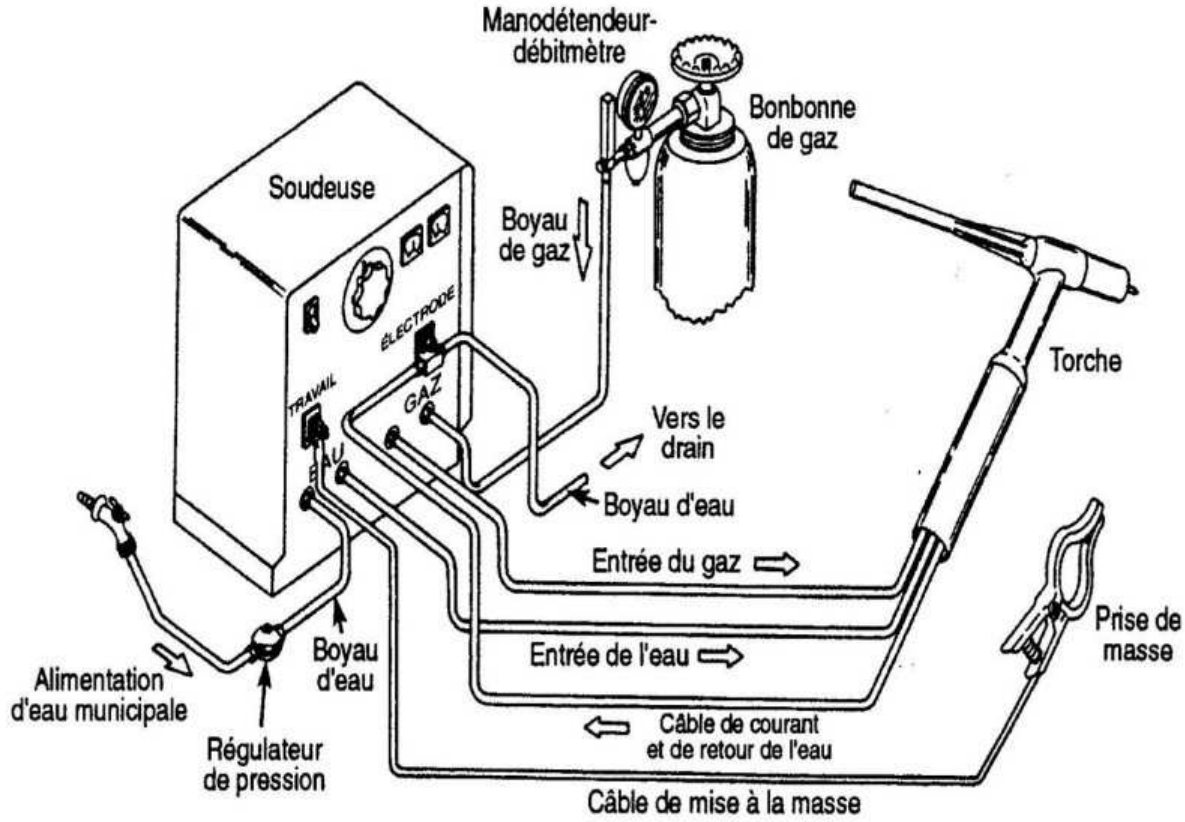
On sait que l'eau peut provenir directement du robinet et retourner par un drain. Cependant, elle peut aussi être introduite dans un réservoir muni d'une pompe et d'un manomètre servant à contrôler la pression et la circulation en circuit fermé. Dans ce dernier cas, il devient nécessaire d'introduire dans l'eau, à intervalles réguliers, un conditionneur d'eau pour empêcher qu'elle ne se pollue et de ce fait, salisse et obstrue les boyaux ainsi que la torche.

Système de refroidissement en circuit fermé

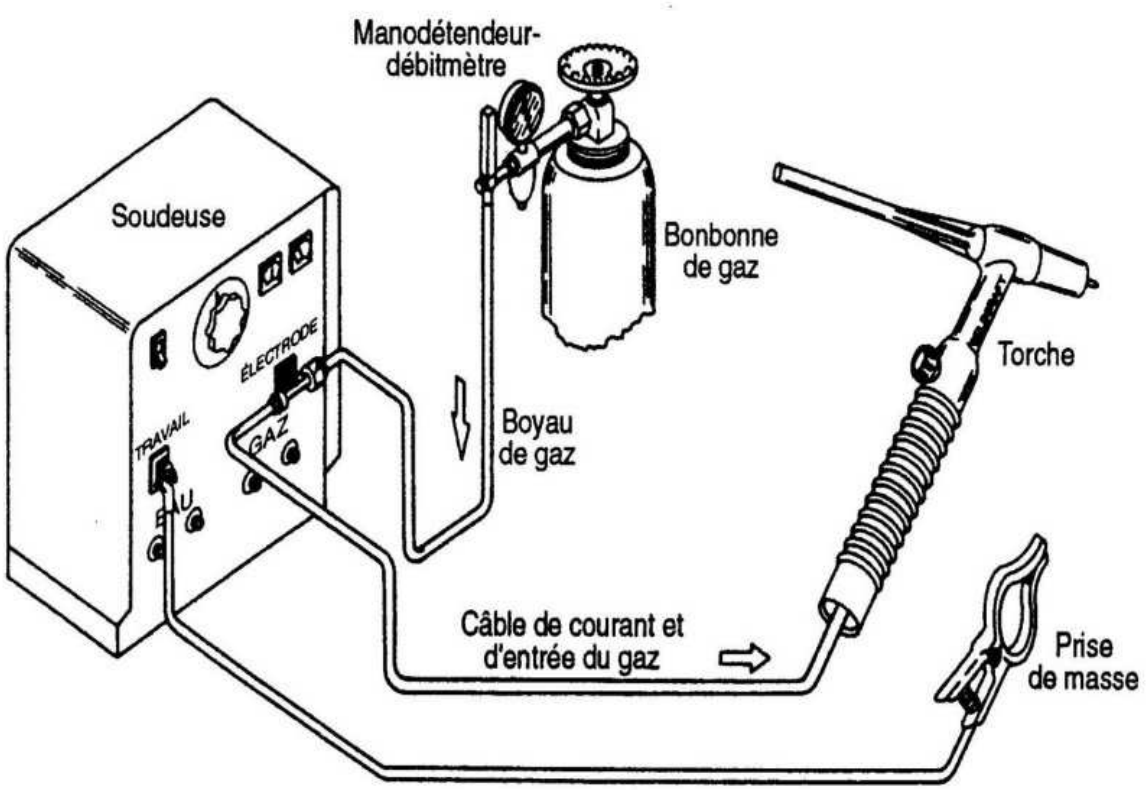
Ils donnent l'avantage de réduire le nombre et la longueur des lignes d'amenée de l'eau et rendent l'équipement plus facile à transporter. On peut employer de l'antigel dans ces systèmes, quand le soudage doit être fait dans des endroits où la température est en dessous du point de congélation. Par temps humide, l'eau froide se condense en circulant dans la torche quand celle-ci est au repos et il est alors impossible de souder. Une unité de contrôle automatique arrête l'écoulement de l'eau quand la torche est au repos et prévient la condensation de l'eau.



Système de refroidissement en circuit fermé.



Système de refroidissement entrées d'eau et sortie dans un drain



Système de refroidissement au gaz en dessous des courants de soudage à 150 Ampères et moins.

Résumé d'un arrangement GTAW refroidi à l'eau et à l'air (gaz)

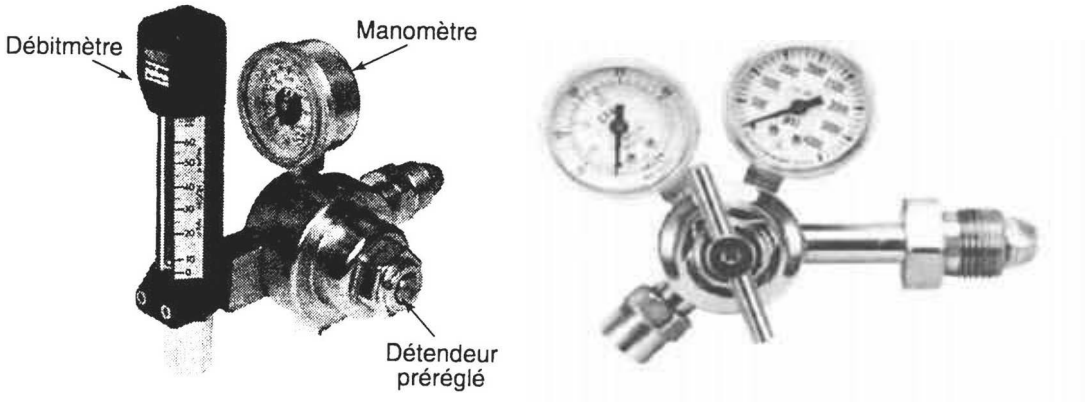
Une torche typique refroidie à l'eau porte une électrode de tungstène qui ne se consume pas. L'électrode est entourée d'un courant d'argon ou d'hélium. Le gaz de protection et l'eau circulant à travers le chalumeau gardent l'électrode froide. L'eau de refroidissement se mesure en litres par minute (1/min). Elle emprunte le même conduit que le câble électrique, puisque c'est là d'où provient le plus de chaleur. L'eau et le courant de gaz inerte sont commandés par des valves de solénoïde. Ces valves sont activées par l'électrode en touchant la surface de travail, ou par une commande au pied (remote control).

DÉTENDEUR DÉBITMÈTRE

Le contrôle précis du débit est essentiel dans le procédé TIG.

L'échappement du gaz à partir du cylindre est réglé par un détendeur qui réduit la pression du cylindre à 30 livres au pouce carré (210 Kpa) convenant à la soudure TIG et le débit du gaz qui alimente la torche est contrôlé par un débitmètre (valve) dont la hauteur de la bille flottante à l'intérieur du tube de verre gradué indique la quantité de gaz qui passe en pied cube par heure (pi^3/heure).

La pression du gaz dans le cylindre ne doit jamais descendre en bas de 30 livres au pouce carré. Autrement, le comportement du débitmètre devient erratique.

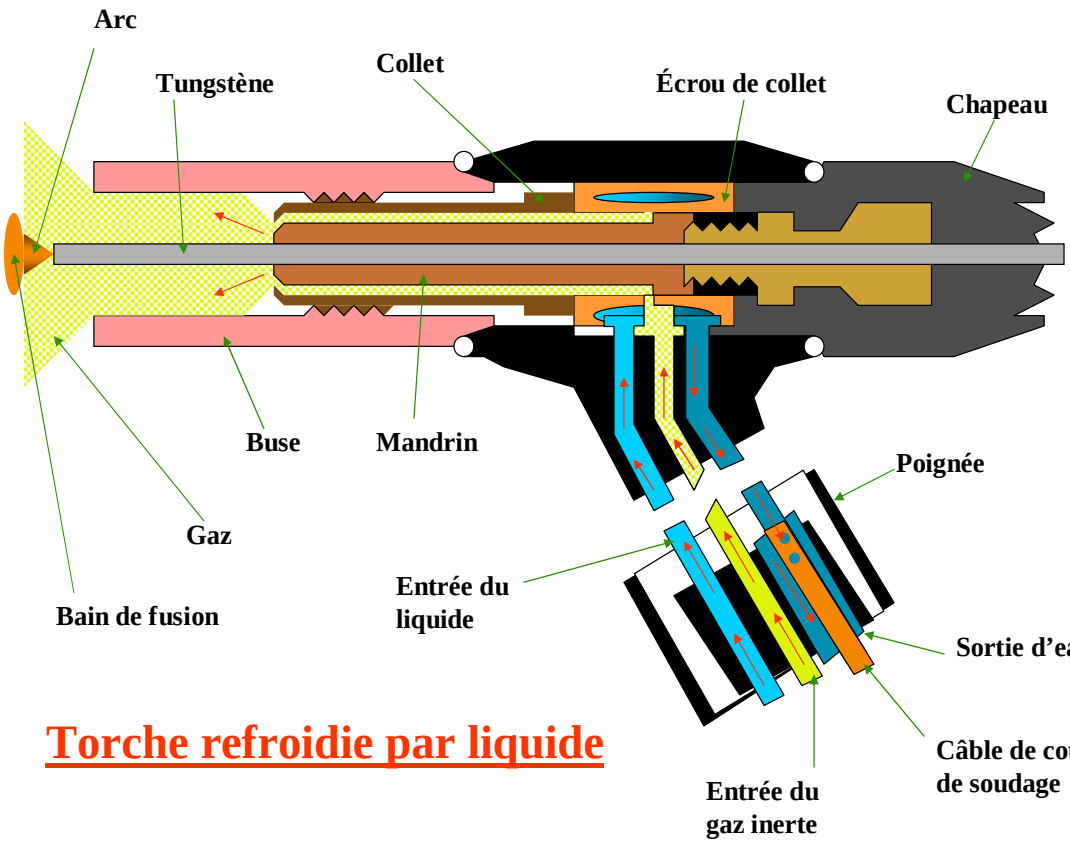


Débitmètre à bille et débitmètre à cadran

LES TORCHES TIG

Les torches

La torche a pour fonction de maintenir l'électrode de tungstène, de canaliser le gaz protecteur et d'assurer une continuité du courant pendant le soudage. Il existe sur le marché plusieurs types de torches pour soudage à l'arc électrique avec électrode réfractaire sous protection gazeuse. Mais on en compte deux catégories: les torches refroidies par liquide et les torches refroidies par gaz (air).



Torche refroidie par liquide

Les torches refroidies à l'eau servent généralement au travail plus lourd, où il faut des ampérages de plus de 150 A. Les chalumeaux refroidis à l'air, servent habituellement pour des opérations qui demandent moins de 150 A.

Généralement, on utilise les torches refroidies à l'eau lorsqu'on a besoin de beaucoup d'intensité de courant, soit 150 ampères avec un facteur marche de 100%. Cependant, si l'on a à effectuer une petite soudure nécessitant 200 ampères pendant quelques secondes, il n'est pas nécessaire d'utiliser une torche refroidie avec du liquide.

Pour un courant maximum de 350 ampères, c'est la buse de céramique qui est utilisée mais, au-dessus de cet ampérage, on préfère la buse métallique.

Les torches refroidies par gaz peuvent généralement accepter un courant de soudage jusqu'à 150 ampères avec un facteur de marche de 100%. Mais, avec un facteur de marche de 60%, il est possible de les utiliser jusqu'à 200 ampères.

Le système de refroidissement de ces torches est rendu possible par le poste de soudage qui est muni d'un contrôle permettant au gaz de s'écouler pendant un certain temps après le soudage; cela s'appelle le temps d'écoulement.

Le contrôle s'ajuste soit par une minuterie ou par le diamètre de l'électrode.

Torches refroidies par le gaz

Les buses peuvent être opaques ou transparentes. Ces dernières facilitent au soudeur la vision de l'arc et du bain de fusion. Les buses sont choisies d'après le courant de soudage que l'on doit employer.

Le tableau ci-dessous indique le diamètre de buse à choisir pour un courant de soudage donné.

Courant de soudage (A)	Diamètre de la buse (mm)
70 ou moins	6 ou 9
70 à 150	6 ou 11
150 à 250	11 ou 13
250 à 300	13 ou 15
300 à 500	15 ou 18

Certaines buses sont parfois munies d'une lentille à gaz (diffuseur) dont la fonction est d'éviter la turbulence du gaz protecteur à la sortie de la buse. De cette façon, on peut laisser sortir l'électrode jusqu'à 25 mm pour assurer une bonne protection du bain de fusion dans le soudage des angles intérieurs ou dans les chanfreins profonds.

Diffuseur de gaz

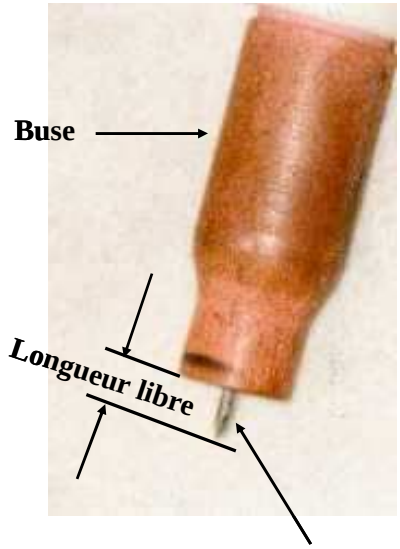
Certaines torches sont munies d'un interrupteur servant à actionner une électro-valve. Cette dernière doit être ouverte avant d'amorcer l'arc et maintenue ainsi pendant quelques secondes après que l'arc est éteint (jusqu'à ce que l'électrode soit refroidie) pour prévenir la contamination de l'électrode de tungstène.

Toutes les torches possèdent à l'intérieur un collet ou une pince porte-électrode conçu(e) pour une manipulation facile et rapide et servant à retenir fermement l'électrode de tungstène.

TECHNIQUES D'EXÉCUTION

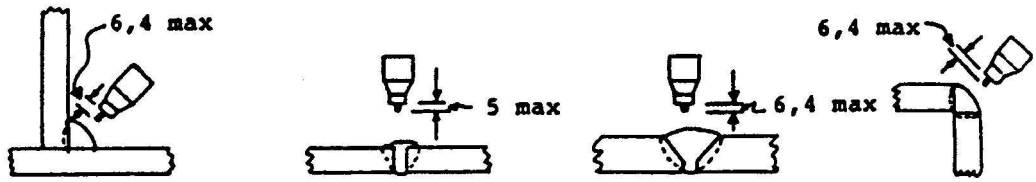
Extension de l'électrode de tungstène

L'extension de l'électrode est la distance comprise entre l'extrémité dé la buse et celle de l'électrode. Voir figure ci-dessous.



Électrode de tungstène

En règle générale, on peut dire que l'extension de l'électrode est environ égale au diamètre de l'électrode de tungstène. Toutefois, il faut aussi tenir compte du type de joint utilisé. Ainsi une soudure exécutée sur un joint bord à bord sur bords droits demande une extension plus courte que celle qui est exécutée dans une préparation de joint en Vé, lequel peut être plus ou moins profond. La figure suivante représente l'extension ou longueur libre de quelques joints à souder.



Angle intérieur **Joint bout à bout** **Bout à bout en V** **Angle extérieure**

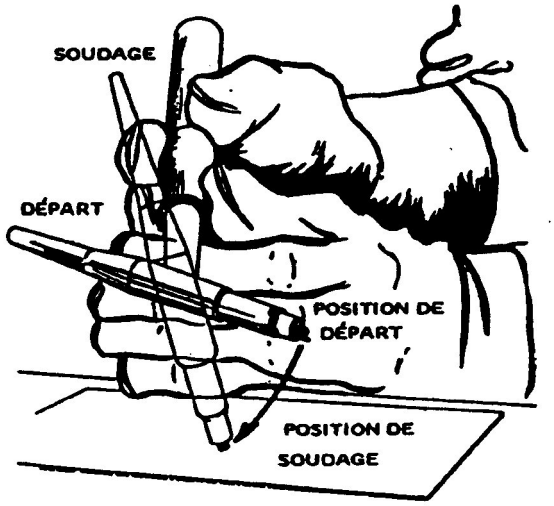
Vérification du poste avant l'amorçage

Le procédé de soudage à l'arc au tungstène est celui qui exige le plus de précautions pour le montage du poste et le choix de la procédure à utiliser pour un travail donné. En effet, un manque d'attention se traduit souvent par un bris de matériel. Aussi est-il nécessaire de vérifier chacun des points suivants avant l'amorçage de l'arc.

- Vérifier si on a le bon type et la bonne capacité de la torche pour le travail à effectuer.
- Vérifier l'apparence et la position de l'électrode de tungstène dans la torche. L'électrode doit posséder le bon diamètre en fonction du courant et du type de torche utilisée. L'électrode dont l'extrémité est sale indique que le gaz protecteur a été coupé avant le refroidissement de l'électrode; qu'il y a eu contamination de l'électrode par l'entrée de gaz impur dans le circuit; que l'électrode est venue en contact avec la baguette d'apport ou avec le métal de base. Si l'électrode n'est pas trop sale, on peut la nettoyer avec une toile d'émeri. Pour le soudage de l'aluminium, l'électrode doit posséder une boule à l'extrémité et, pour l'acier inoxydable, elle doit être aiguisée à environ 600.
- Vérifier si la torche possède le bon type de buse et le bon diamètre intérieur. S'assurer que la buse est propre et exempte d'éclaboussures.
- Vérifier l'étanchéité et la circulation du gaz protecteur dans le circuit avec l'aide de savon liquide. Les raccordements doivent être serrés correctement.
- Vérifier tous les raccordements de mise à la terre. Apporter une attention particulière à la position de la mise à la terre en fonction de la sorte de joint et de la direction du soudage.
- Ouvrir la valve du cylindre et ajuster le débit du gaz protecteur en fonction du travail à exécuter.
- Avant d'ouvrir la valve du liquide refroidissant, s'assurer que la pression n'est pas trop forte pour la capacité de la torche établie par le fournisseur. Vérifier s'il n'y a pas obstruction quelconque dans le circuit.
- Ajuster l'intensité de courant en fonction de la préparation du joint et du diamètre de l'électrode de tungstène. Il faut aussi tenir compte de la position de soudage car les positions verticale et au plafond exigent moins d'intensité de courant.
- Porter tous les vêtements protecteurs contre les brûlures de l'arc (aucun vêtement de teinte pâle) ainsi que la bonne teinte de verre dans le masque. Enfin, vérifier si tout a été fait pour travailler en toute sécurité.

Amorçage de l ‘arc

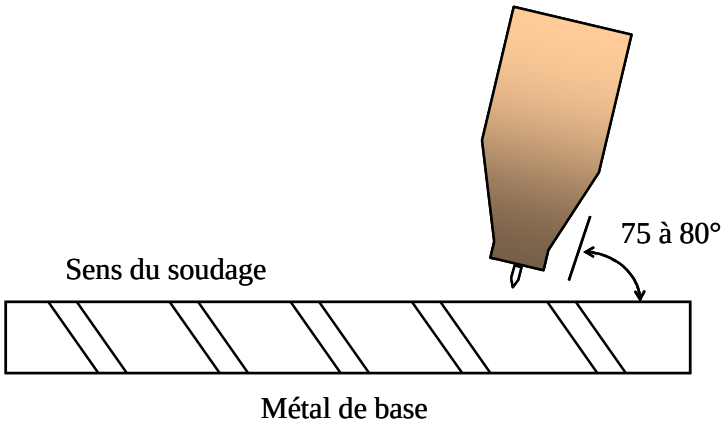
1. Placez vos mains dans la position illustrée à la figure ci-dessous. Faites tourner le manche de la torche de manière à approcher l’électrode du métal de base.
2. Dans le cas du courant alternatif, l’arc s’amorce quand l’électrode est à environ 1/8" au-dessus du métal de base.
3. Dans le cas du courant continu,si la haute fréquence n,est pas installée sur le poste, il faut toucher le métal de base ou une plaque de cuivre spécialement destinée à cet usage. Nous appelons cet technique « scratch tig ». Une fois l’arc amorcé, on éloigne légèrement l’électrode de manière à tenir un arc de 1/8" de longueur.
4. L’étape suivante consiste à imprimer à la torche un léger mouvement de rotation afin de former un bain de fusion.



Amorçage de l’arc

Exécution d'une ligne de fusion sans métal d'apport

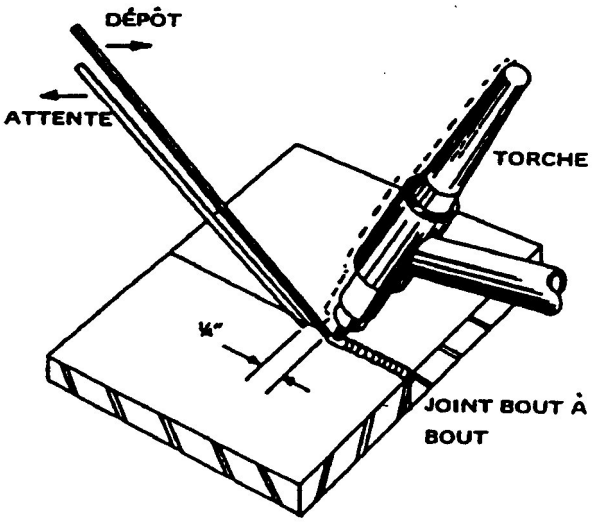
1. Amorcez l'arc et formez un bain de fusion.
2. Déplacez la torche en ligne droite, à une vitesse lente et régulière, dès que le bain de fusion devient brillant et fluide.
3. L'angle d'inclinaison de la torche doit être d'environ 75 à 800 comme le montre la figure ci-dessous.
4. La technique est la même que pour exécuter une ligne de fusion avec un chalumeau oxyacétylénique. Les mêmes erreurs produisent les mêmes défauts: la pièce risque d'être traversée si la vitesse est trop faible, etc.



Exécution d'une ligne de fusion sans métal d'apport

Dépôt d'un cordon de soudure avec métal d'apport

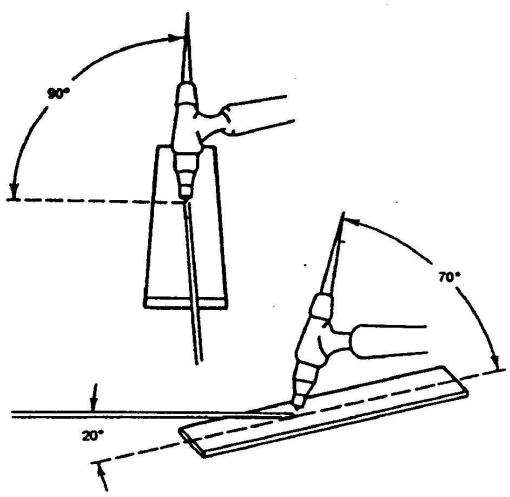
1. Amorcez l'arc et formez un bain de fusion.
2. Une fois le bain de fusion formé, dirigez la torche sur l'arrière du bain et appliquez le métal d'apport.



Soudage d'un joint bout à bout

Procédé pour des cordons en chaîne (dépôt de cordons de soudures)

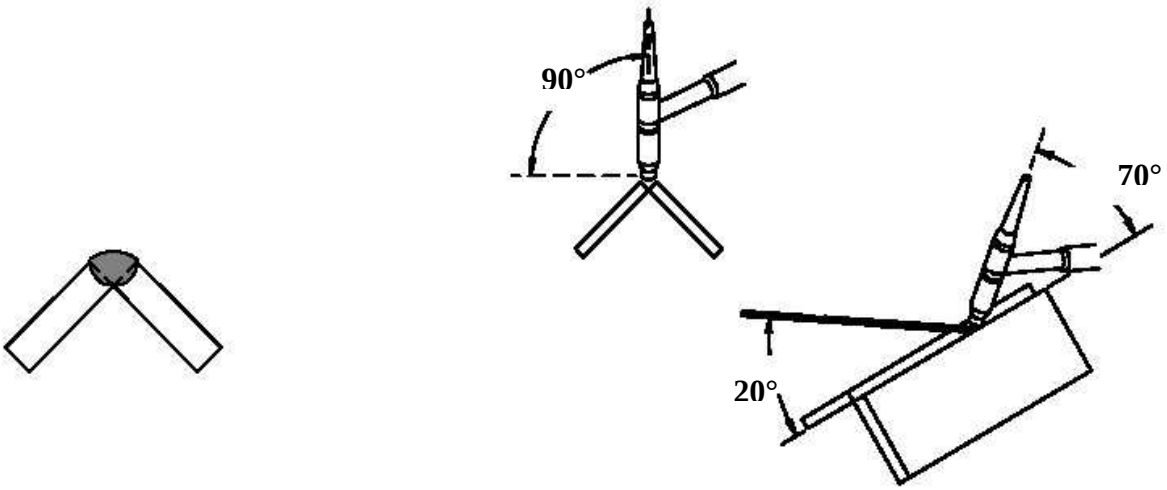
1. Assurez-vous que votre zone de travail est propre.
2. Après avoir amorcé l'arc, élevez la torche de 70° à 75° de la surface de la plaque.
3. Formez un bain de fusion de deux ou trois fois le diamètre de l'électrode.
4. Commencez à alimenter à la baguette d'apport. Il faudra tenir celle-ci à un angle d'environ 20° de la surface de la plaque. Ass urez-vous de maintenir la longueur de l'arc à au moins un diamètre d'électrode au-dessus de la surface de la plaque.
5. Déplacez le bain de fusion à une vitesse qui le gardera à peu près de même grandeur à mesure que vous progressez à la surface de la plaque. Sur de petites pièces à tester, vous aurez peut-être à augmenter votre vitesse de course à mesure que progresse le cordon. Il est important de remplir le cratère au bout de chaque cordon, de diminuer l'angle de la torche et d'ajouter de l'apport.



Angles corrects de la torche et de la baguette d'apport pour des cordons en chaîne selon le procédé à l'arc de tungstène (GTAW)

Procédé pour des joints en coin (angle extérieur)

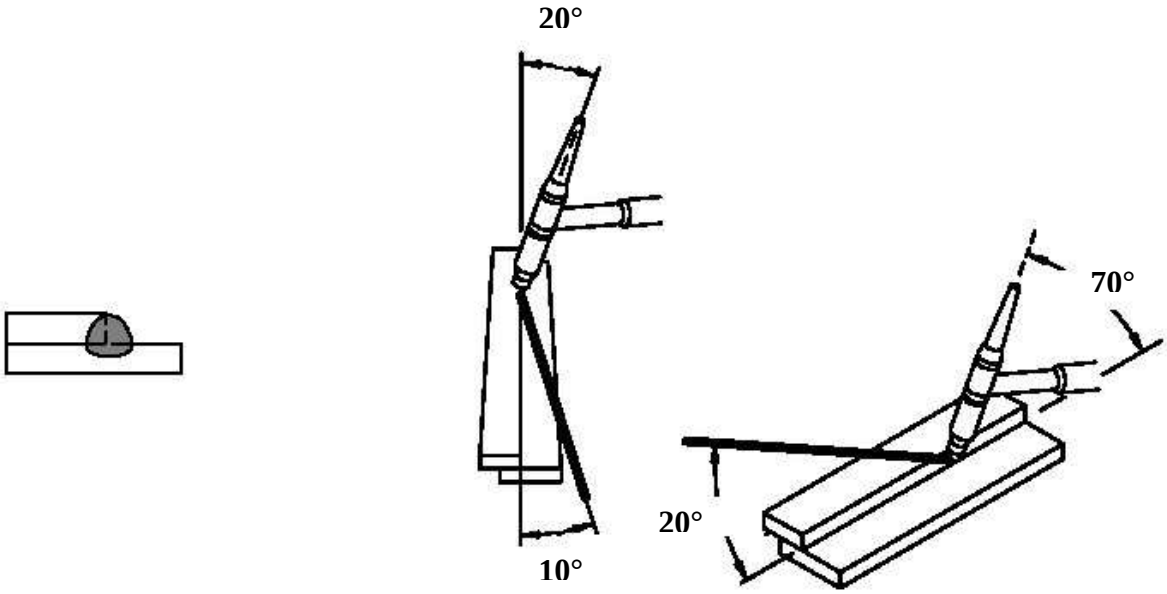
1. Disposez les deux pièces de métal pour former un angle d'environ 90°. Pointez les soudures ensemble, en vous assurant que les pièces sont carrées et que le joint est égal.
2. Les deux bords du joint devront fusionner également. Gardez le bain de fusion sur la ligne de centre du joint.
3. Ajoutez suffisamment de métal d'apport pour donner au cordon fini une forme convexe. Un cordon à plat ou concave aura une épaisseur de gorge moindre que l'épaisseur du métal original. Sur une pièce de jauge mince où l'assemblage est serré, la baguette d'apport n'est pas nécessaire.



Angle de torche et bons angles de l'apport pour des joints en coin selon le procédé à l'arc (GTAW)

Procédé pour des joints à recouvrement (escalier)

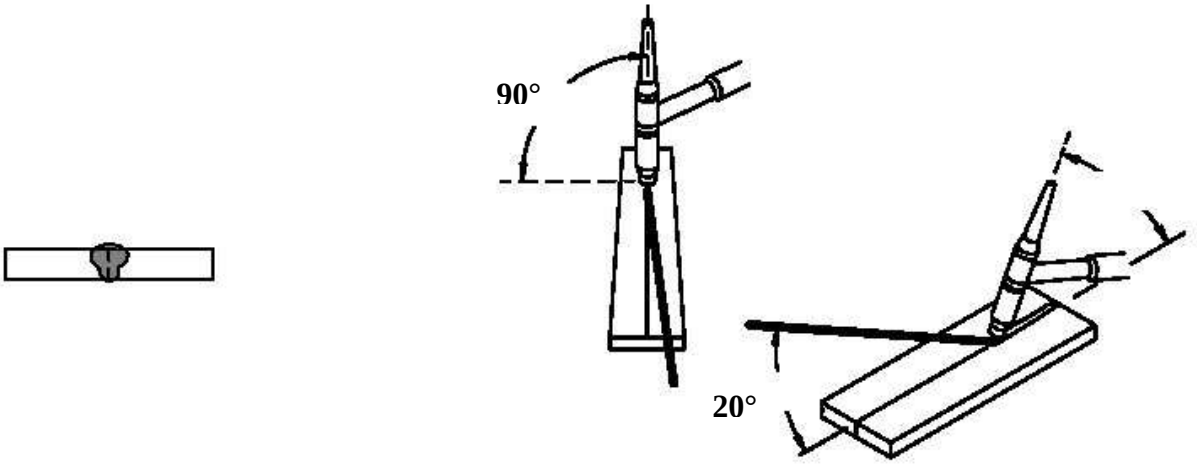
1. Arrangez le joint la pièce les deux pièces ensemble pour qu'elles s'ajustent étroitement et que soit carré. La pièce supérieure devra être à peu près au centre de la pièce inférieure.
2. Après avoir amorcé l'arc, formez un bain de fusion qui fusionnera une quantité égale des deux plaques, supérieure et inférieure. Prenez soin de maîtriser l'angle de la torche; la plaque supérieure aura tendance à fusionner plus vite que le centre de la plaque inférieure. Si le courant est trop élevé ou que la vitesse de course soit trop lente, la pièce supérieure aura tendance à fusionner entièrement. Le résultat dans chaque cas sera une coupe en dessous. Vous surmontez ce problème en déposant la baguette d'apport à côté du bord à mesure qu'il cherche à fusionner.
3. Assurez-vous que le cordon est égal et que le cratère est rempli à la fin du soudage.



Angle de torche approprié et bons angles de l'apport pour un joint à recouvrement selon le procédé à l'arc (GTAW)

Procédé pour des joints en bout

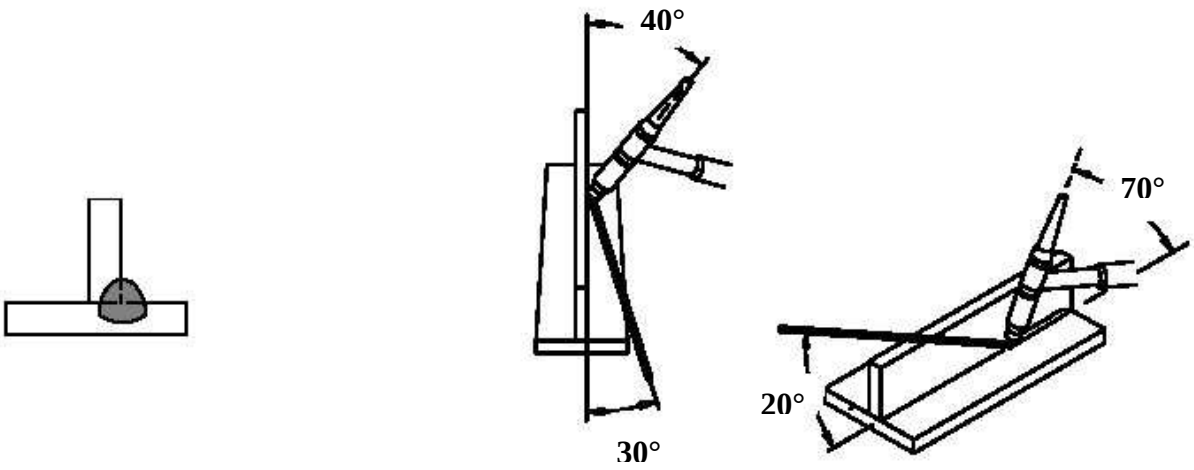
1. Arrangez les plaques pour le joint en bout de sorte qu'elles soient à plat, égales et bien assujetties ensemble.
2. Employez la même torche et les mêmes angles de baguette d'apport pour le joint en bout que pour des cordons en chaîne.
3. Gardez le bain de fusion centré au milieu du joint afin que les deux bords des plaques fusionnent également. Lors de vos premières tentatives votre principal souci devra être non pas la pénétration mais une belle apparence.
4. En achevant le cordon, diminuez l'angle de la torche. Remplir le cratère. Il faudra, à ce point, ajouter du métal d'apport.



Bons angles de torches et d'apport pour un joint en bout selon le procédé à l'arc (GTAW)

Procédé pour des joints en T

1. Arrangez les pièces du travail pour qu'elles forment un joint carré serré. Le joint en T est semblable au joint à recouvrement, parce que le bord d'une plaque doit être soudé au centre de la plaque inférieure.
2. L'angle de la torche est très important dans les joints en T comme dans les joints à recouvrement. Vous devez vous assurer que la plaque supérieure ne fonde pas et que la soudure ne pénètre pas la plaque inférieure.
3. Vous pouvez allonger légèrement l'électrode afin qu'elle soit plus visible que d'habitude. En l'allongeant, cela vous permettra de maintenir un arc plus court.
4. Ajoutez la baguette d'apport au bord avant du bain de fusion, afin d'en maîtriser la dimension ainsi que la direction
5. Cette soudure est la plus difficile de toutes les soudures à l'arc de tungstène (GTAW). Elle exige la précision du chalumeau et des mouvements de la baguette d'apport.



Angles de torches et d'apport appropriés pour un joint selon le procédé à l'arc (GTAW).

Fermeture du poste de soudage

Lorsque la dernière soudure est effectuée, le soudeur doit pouvoir fermer le poste de soudage en toute quiétude afin de garder le matériel en bon état. Voici les opérations à suivre pour fermer le poste:

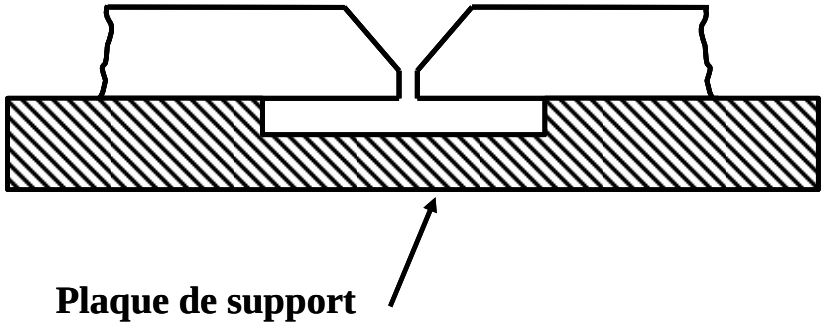
- La torche doit être placée dans une position sûre de façon qu'elle ne puisse tomber;
- Fermer le robinet de la bouteille de gaz protecteur fermement;
- Ouvrir par le contact la valve du gaz protecteur pour laisser sortir celui-ci et empêcher ainsi l'entrée d'air dans le boyau. Avec la valve maintenue ouverte, on procède à l'étape suivante;
- Fermer lentement la valve de l'ajustement du débit de gaz. Ceci entraîne la sortie de gaz entre le cylindre et la machine. Lorsque la balle du débitmètre descend au fond du tube, on peut fermer le contact de la valve du gaz protecteur située sur la poignée de la torche ou au pied lorsqu'il s'agit d'un contrôle au pied;
- Ouvrir par la suite le contact de commande pour la circulation du liquide refroidissant. Ceci a pour effet de faire sortir le liquide des conduits de la torche;
- Il ne reste plus alors qu'à fermer l'interrupteur du poste de soudage et ranger le matériel pour une prochaine utilisation.

LA PURGE (Protection envers d'une soudure)

On utilise une purge lorsqu'on veut une protection de gaz supplémentaire sur un joint, en particulier lorsqu'il s'agit de protéger le cordon de pénétration à l'envers des plaques à souder. Ainsi, par exemple, pour le soudage d'un joint bord à bord sur les aciers au carbone ou alliés, on utilise une plaque de cuivre rainurée en dessous du joint.

Plaque de support avec purge pour un joint bords à bords droits.

Pour le soudage des aciers au carbone, on sait que le gaz qui provient de la torche a pour fonction de protéger le bain de fusion en surface. Mais, en dessous, des plaques de métal chauffées au rouge et même jusqu'à fusion, s'oxydent dans une atmosphère d'air à cause de l'oxygène, ce qui rend difficile l'obtention d'un cordon de pénétration régulier. Afin de remédier à ce problème, on introduit dans la partie rainurée de la plaque de support un gaz protecteur provenant d'une source différente de celle de la torche. De cette façon, on purge le joint d'air à sa partie inférieure. Cette purge peut aussi s'effectuer pour le soudage de l'aluminium, du magnésium, de l'acier inoxydable.



Plaque de support

La rainure sur la plaque de support (où le gaz inerte circulera), doit avoir une profondeur minimale de 5mm et être située juste en dessous du joint à souder. De plus, il est nécessaire de préchauffer la plaque de support en cuivre jusqu'à 300° afin que celle-ci n'agisse pas comme plaque de refroidissement en absorbant toute la chaleur dégagée par l'arc électrique, ce qui rend alors le soudage difficile sur les aciers au carbone.

Par contre, la plaque de support en cuivre n est pas préchauffée pour le soudage des aciers inoxydables. Le cuivre a pour effet d'absorber la chaleur des plaques à souder et de diminuer ainsi les possibilités de gauchissement des tôles en acier inoxydable.

Les purges peuvent être employées pour presque tous les joints sur plaques et pour la première passe sur tuyau. les figures à la page suivante montrent quelques façons d'effectuer les purges sur différents joints.

DÉFAUTS DES SOUDURES ET DIFFICULTÉS DE SOUDAGE

DÉFAUTS	CAUSES	REMÈDES
POROSITÉ	1. Emprisonnement dans la soudure de gaz impur, tels (Hydrogène, 0xygène, air, vapeur d'eau)	1. Souffler avec de l'air comprimé la ligne du gaz protecteur avant de commencer. S'assurer de la pureté du gaz protecteur.
	2. Possibilité que ce soit un boyau ayant servi auparavant pour l'acétylène.	2. Prendre un boyau neuf. L'acétylène s'imprègne dans le boyau.
	3. On a interchangé le boyau du gaz et celui de l'eau.	3. Utiliser des couleurs différentes pour ne pas confondre
	4. Une mince couche d'huile à la surface du métal celui de l'eau de base	4. Nettoyer avec un produit chimique Ne pas souder avant le séchage du métal.
	5. Le courant de soudage est trop faible ou la vitesse de soudage, trop grande	5. Augmenter l'intensité du courant ou avancer plus lentement ou préchauffer la zone de soudage.

DÉFAUTS	CAUSES	REMÈDES
CORDON NOIRÂTRE (MÉTAUX LÉGERS)	1. Débit du gaz protecteur insuffisant	1. Vérifier le débit
	2. Métal de base est sale	2. Nettoyer mécaniquement ou chimiquement.
	3. le métal d'apport est sale.	3. Nettoyer.
	4. Un courant d'air souffle le gaz protecteur hors zone.	4. Souder à l'abri des courants d'air.
	5. La buse est trop éloignée du bain de fusion	5. Rapprocher à la bonne distance de la pièce pour une meilleure protection.

DÉFAUTS	CAUSES	REMÈDES
CORDON IRRÉGULIER	1. Arc irrégulier	1. Voir plus bas
	2. Courant de soudage trop faible	2. Augmenter l'ampérage.
	3. Mauvais angle de la torche.	3. Employer le bon angle
	4. Mauvaise technique de l'opérateur soudeur	4. Rectifier sa technique
CORDON TROP LARGE	1. Vitesse d'avance trop lente	1. Augmenter la vitesse d'avance
	2. Arc trop long	2. Rapprocher la torche
	3. Mauvais angle de la torche	3. Corriger l'angle
	4. Courant de soudage trop élevé	4. Diminuer le courant
CORDON TROP ÉTROIT	1. Vitesse d'avance trop rapide	1. Diminuer la vitesse d'avance
	2. Courant trop faible	2. Augmenter l'intensité
CANIVEAUX	1. Mauvais angle de la torche.	1. Corriger l'angle.
	2. Courant trop élevé	2. Diminuer l'intensité de courant
	3. Longueur de l'arc incorrecte.	3. Employer la bonne longueur d'arc.
	4. Manque de métal d'apport.	4. Ajouter du métal d'apport.
FISSURES	Métal d'apport différent de celui du métal de base.	1. Choisir la baguette de même composition
	2. Cordon trop petit	2. Élargir.
	3. Trop de retrait	3. Changer la procédure

DÉFAUTS	CAUSES	REMÈDES
PÉNÉTRATION INSUFFISANTE	1. Chanfrein inexistant ou trop étroit	1. Modifier l'écartement entre les pièces ou modifier le chanfrein
	2. Arc trop long.	2. Diminuer la distance.
	3. Vitesse d'avance trop rapide.	3. Ralentir.
	4. Dépôt de la baguette trop rapide.	4. Employer la bonne longueur de l'arc
MAUVAISE FUSION DES BORDS DU MÉTAL DE BASE	1. Courant de soudage trop faible	1. Augmenter l'intensité de courant.
	2. Vitesse de soudage trop grande.	2. Réduire la vitesse d'avance et préchauffer les pièces massives.
ARC IRRÉGULIER	1. Le métal de base est sale.	1. Nettoyer par procédé chimique ou mécanique.
	2. L'électrode de tungstène est contaminée	2. Enlever la partie contaminée.
	3. Diamètre de l'électrode trop grand	3. Utiliser le bon diamètre correspondant au courant.
	4. L'arc est trop long	4. Rapprocher la torche de la pièce. Pour les soudures d'angle intérieur on peut sortir l'électrode de 3 à 6 mm de la buse.
	5 Fluctuation du voltage dans l'usine	5. Augmenter le courant dans les heures de pointe.
	6. La haute fréquence ne fonctionne pas bien.	6. Vérification de l'unité de haute fréquence.
	7. Matériel magnétique près de l'arc.	7. Éloigner le matériel magnétique.
IMPOSSIBILITÉ D'AMORCER L'ARC	1. Distance entre les pointes de l'unité de haute fréquence trop grande.	1. Rapprocher les pointes à la bonne distance (.007")
	2. Circuit du soudage est ouvert.	2. Vérifier et réparer.
	3. La prise de masse n'est pas mise.	3. Brancher la prise de masse.

DÉFAUTS	CAUSES	REMÈDES
CONSOMMATION EXCESSIVE DE L' ÉLECTRODE	1. Intensité de courant trop élevé.	1. Diminuer l'intensité.
	2. La polarité est inversée.	2. Changer la polarité.
	3. Échauffement anormal.	3. Vérifier les contacts de la pince porte électrode et celui qui se trouve entre cette dernière et la torche.
CONTAMINATION DE L'ÉLECTRODE	1. Le soudeur touche le bain de fusion avec l'électrode ou avec le métal d'apport.	1. Chercher une position de soudage plus favorable et par la suite, éliminer la partie contaminée.
	2. Mauvais angle de l'électrode.	2. Corriger.
	3. Manque de gaz protecteur.	3. Augmenter le débit du gaz ou augmenter le temps du «post flow».
DIFFICULTÉ D'AJOUTER DU MÉTAL D'APPORT	1. Mauvais angle de l'électrode.	1. Corriger l'angle.
	2. Mauvais diamètre de la baguette versus le courant de soudage.	2. Augmenter ou diminuer le diamètre.
EXTRÉMITÉ DE L'ÉLECTRODE BLEUTÉE	1. Le débit du gaz de protection est insuffisant	1. Vérifier le débit du gaz. Vérifier s'il n'y a pas de fuite. Vérifier l'ajustement du bouton de post écoulement du gaz protecteur.
	2. Refroidissement insuffisant	2. Vérifier la pression de l'eau ou du gaz, s'il n'y a pas obstruction de conduits.
	3. Le courant est trop fort pour la capacité de la torche	3. Abaisser l'intensité de courant ou changer la torche pour une capacité plus élevée.

DÉFAUTS	CAUSES	REMÈDES
MAUVAISE VISIBILITÉ DE L'ARC ET DU BAIN DE FUSION	1. Mauvaise position de travail.	1. Se placer dans un endroit plus favorable et confortable.
	2. Mauvais angle de la torche.	2. Corriger l'angle
	3. Le verre claire ou teinté de soudage est trop faible ou trop élevé ou sale	3. Changer pour la teinte approprié ou nettoyer le verre.
SURCHAUFFE DU POSTE DE SOUDAGE	1. Une demande excessive de courant par rapport à sa capacité.	1. Réduire le courant ou placer deux poste en parallèle.
	2. Le ventilateur ne fonctionne pas ou fonctionne mal.	2. Faire les réparations qui s'imposent
	3. Les câbles électriques sont mal serrés.	3. Serrer fermement.
	4. L'unité de haute fréquence est mal mise à la terre.	4. Vérifier et corriger la situation.

N.B. La plupart des défauts énumérés précédemment peuvent être enrayés par :

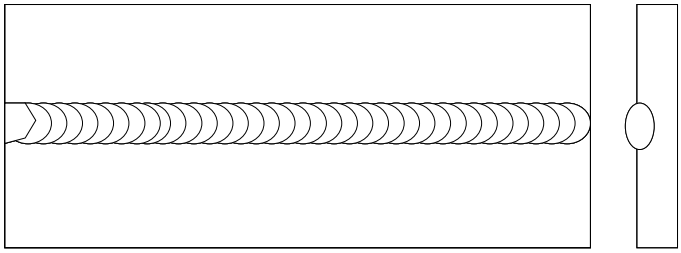
- L'utilisation d'un équipement en bon état.
- Le maintien de cet équipement en bonne condition.
- Le montage du poste et de l'équipement pour le soudage à l'arc avec électrode réfractaire sous protection gazeuse avec l'équipement appropriée.
- L'utilisation de bonne procédure de soudage.

Contrôle des soudures

Le premier contrôle est l'examen visuel; il donne des indications sur la qualité de la soudure. On observe sur une bonne soudure la régularité, la surépaisseur nécessaire et l'absence de caniveaux ou amincissements sur les côtés. Cet examen n'est pas suffisant pour apprécier les qualités de résistance d'une soudure. S'il a été passé avec succès, il faut alors passer aux essais destructifs ou on destructifs.

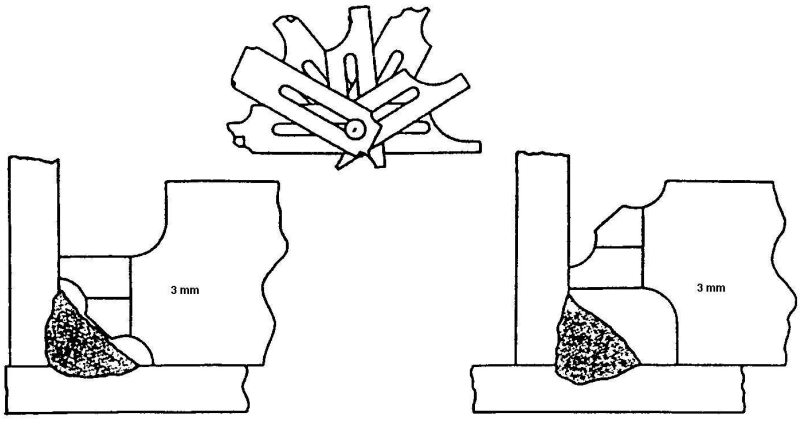
Soudure saine

Une soudure saine doit posséder un profil légèrement convexe. La surface du cordon doit être douce, régulière, et les stries doivent être également rapprochées les unes des autres. Les côtés du cordon doivent être bien fusionnés à la surface du métal de base.



Soudure saine

Les inspections visuelles de soudures en cordon se font très souvent avec un calibre à rayon de congé. Ces calibres sont conçus pour mesurer la bonne dimension et le profil des soudures en cordon.



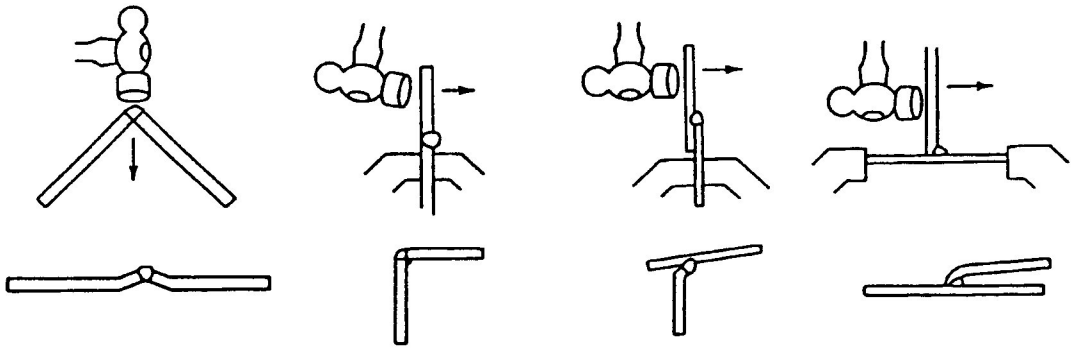
Jauge de soudure. Le profil du cordon détermine le calibre à employer.

ESSAIS DE RUPTURE DE MATIÈRES LÉGÈRES

Essais destructifs

La soudure essayée destructivement est pliée, tordue ou étirée. Ces essais sont effectués à l'atelier et ne demandent aucun équipement spécial. La méthode la plus simple consiste à fixer la pièce sur une enclume, au moyen de pinces ou d'un étau. La pièce doit être maintenu aussi près que possible de la soudure. Elle est ensuite martelée à l'emplacement du joint qui ne doit pas céder avant le métal de base.

Important : Il est important de bien immobiliser la pièce sur l'enclume, car elle pourrait glisser et blesser quelqu'un.



Tests de courbe sur des soudures de coin, en bout, à recouvrement et en T.

Essais non destructifs

Il est évident que l'on ne peut pas détruire tous les joints soudés sous prétexte de les contrôler.
Les essais suivants contrôlent la qualité de la soudure sans la détruire.

Radiographie ou gammagraphie. Une radiographie met en évidente les défauts internes de la soudure de la même façon qu'elle permet de diagnostiquer une fracture chez une personne. C'est le procédé utilisé pour contrôler les joints des pipe-lines et des chaudières.

Par précaution : L'équipement à rayons X et à rayons gamma est très dangereux. Ne vous exposez pas aux épreuves par radiation. La radiation absorbée par le corps peut mener au mal de la radiation et même causer le cancer et la mort.

Contrôle magnétique.
On a le choix entre deux techniques:

1. On répand un peu de fer en poudre sur la soudure et on applique un champ magnétique; les grains de fer se rassemblent le long des fissures éventuelles.

2. On peint la soudure préalablement nettoyée avec un mélange de paraffine et de limaille de fer. Les particules métalliques auront tendance à se placer le long d'une fissure éventuelle, sous l'action d'un champ magnétique créé par le passage d'un courant électrique.

Inspection microscopique

Une méthode plus complexe d'essai des matières de jauge légère est l'inspection microscopique. Elle se fait en coupant une section de la soudure, en montant celle-ci sur un bloc de plastique et en la polissant finement. On attaque ensuite la section polie à l'acide et on la place sous un microscope pour l'inspection.

PROCÉDÉ POUR LE SOUDAGE DE L'ACIER DOUX

1. Observez toutes les mesures de sécurité afin de vous protéger contre les rayons ultraviolets, les fumées, les brûlures et les chocs électriques. Rappelez-vous que l'aluminium ne change pas de couleur lorsqu'il est trop chaud au toucher.

2. La zone de travail et tout l'équipement doivent être exempts de toute poussière ou d'huile. Avant le soudage, enlevez avec une brosse métallique ou de la laine d'acier les oxydes de toutes les pièces de travail.

3. Choisissez la bonne électrode de tungstène pour le travail à faire.

4. Gardez propre et bien formée la pointe de l'électrode.

5. L'extension de l'électrode variera. Jusqu'à 13 mm d'extension, elle peut être emportée par le gaz sortant de sa coupe ou de la buse. On commence généralement avec une électrode dont l'extension est égale au diamètre intérieur de l'ouverture de la coupe. Si l'extension de l'électrode est trop longue, vous risquez davantage de toucher le bain de fusion, la baguette d'apport ou les côtés d'un joint étanche.

6. Préparez les pièces plus épaisses que 2,4 mm en les meulant ou en les biseautant en V avant le soudage.

7. Lorsque vous faites la passe de soudure de la racine dans un joint en V, gardez très courte la longueur de l'arc, surtout si le joint est dans la position au plafond. L'arc court préviendra l'affaissement de la soudure.

8. En amorçant l'arc, déposez le bord de la coupe sur la surface de la plaque dans un angle d'environ 30°. Cela empêche l'électrode de trop s'approcher de la surface de la plaque. Baissez lentement la pointe de l'électrode vers la plaque en levant le manche de la torche. Après l'amorçage de l'arc, vous pouvez lever la torche à la bonne hauteur et au bon angle.

PROCÉDÉ POUR LE SOUDAGE DE L'ACIER DOUX (suite)

9. La longueur d'arc est habituellement égale au diamètre de l'électrode quand vous utilisez une électrode à extrémité sphérique à CA. Quand vous employez une source à CC et une électrode pointue, la longueur d'arc est considérablement moins grande que le diamètre de l'électrode.

Les figures **A** et **B** indiquent les angles de la buse et de la baguette pour un joint à recouvrement en position à plat. Dans la vue de profil, la baguette d'apport qui n'est pas représentée se trouve dans le même plan incliné de 10° à 15° par rapport à la verticale.

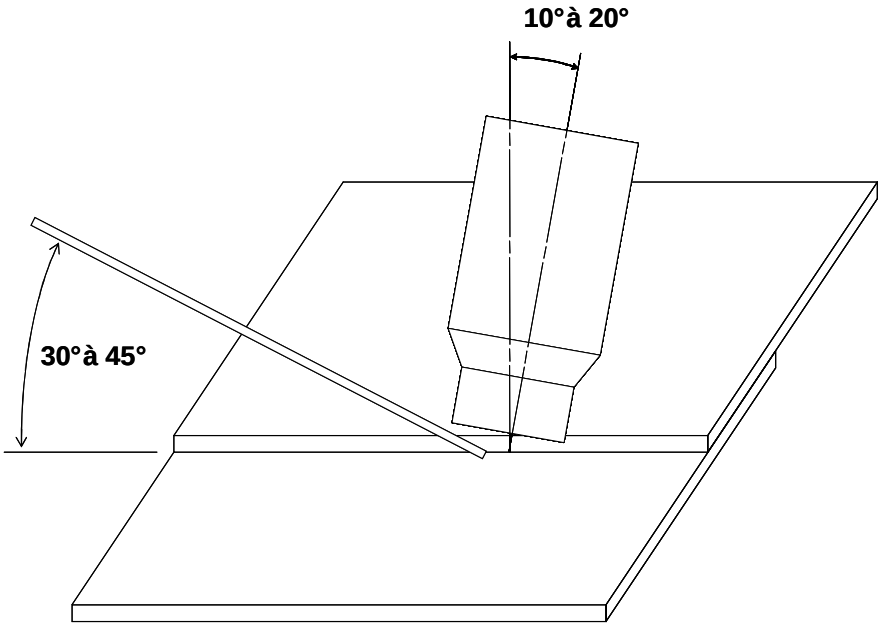


Figure A : Élévation : Joint à recouvrement (superposé ou en escalier)

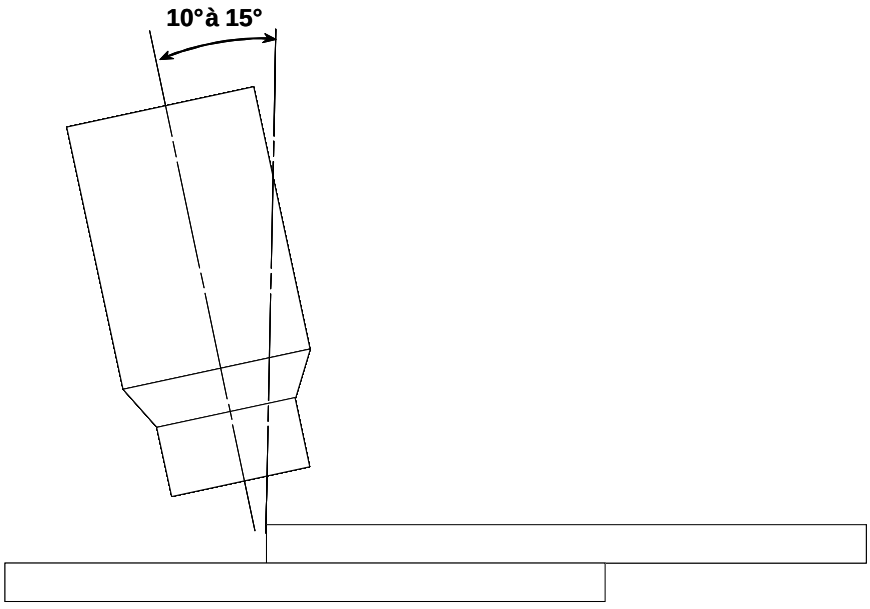


Figure B : Profil décrivant les angles pour un assemblage à recouvrement

ANGLE DE LA TORCHE ET DE LA BAGUETTE

Pour obtenir une soudure saine, il faut connaître aussi les angles de la torche et de la baguette pour chacun des joints, dans une position donnée. Dans la figure **C**, on indique les angles de la torche et de la baguette pour un cordon de soudure que l'on pratique dans la position à plat sur un joint bout à bout. Il faut aussi remarquer que la torche et la baguette d'apport se situent dans un même plan vertical, c'est-à-dire que la buse fait face à la baguette, et qu'elles sont placées dans un même plan.

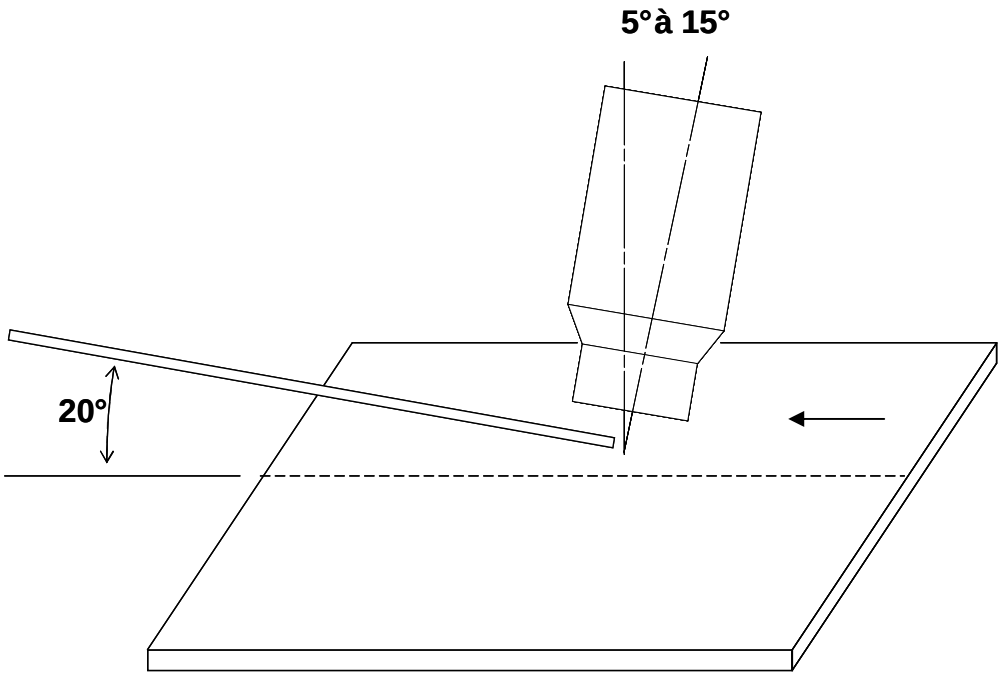
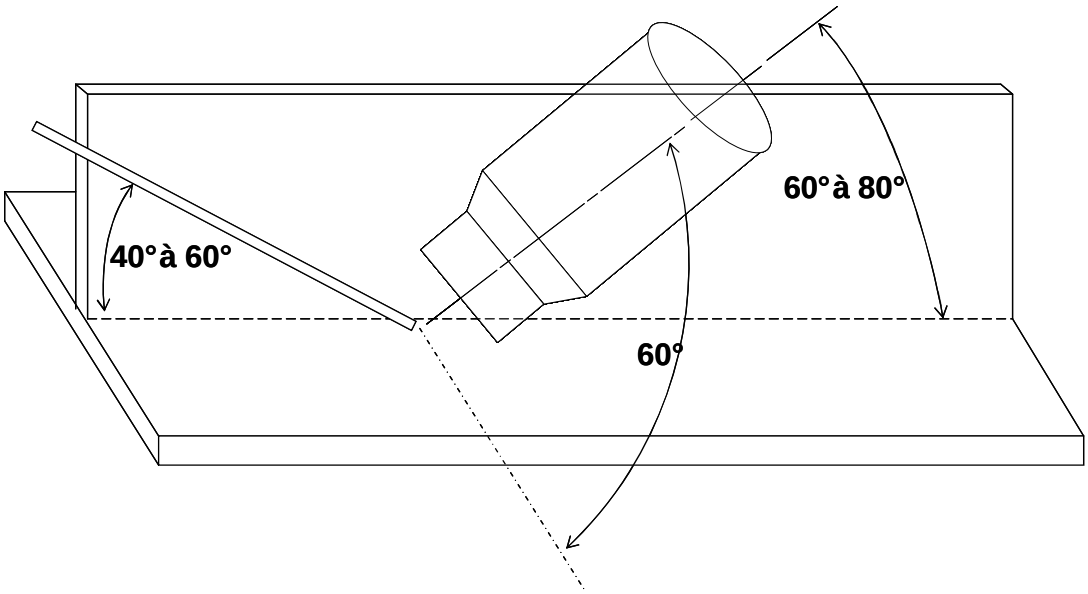


Figure C : Cordon de soudure Position à plat joint bout à bout

Dans la figure D, on peut voir la position de la buse et de la baguette pour une soudure d'angle intérieur en position horizontale.

Figure D



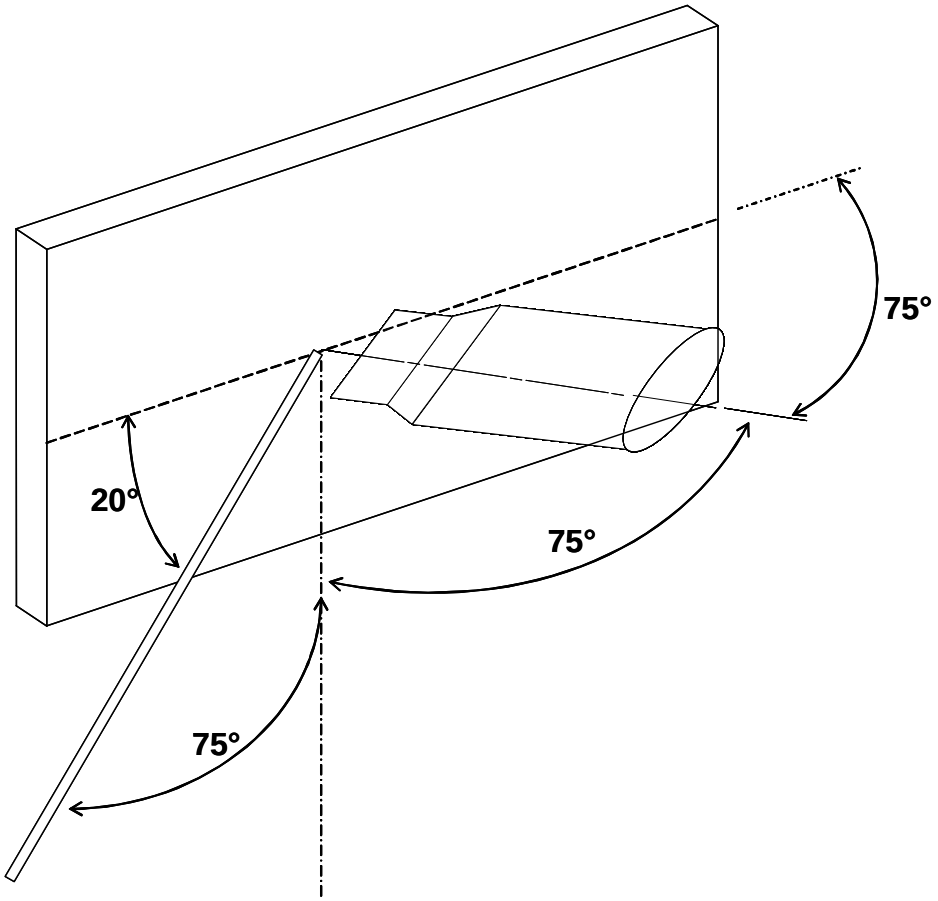


Figure E : Joint bout à bout position horizontale

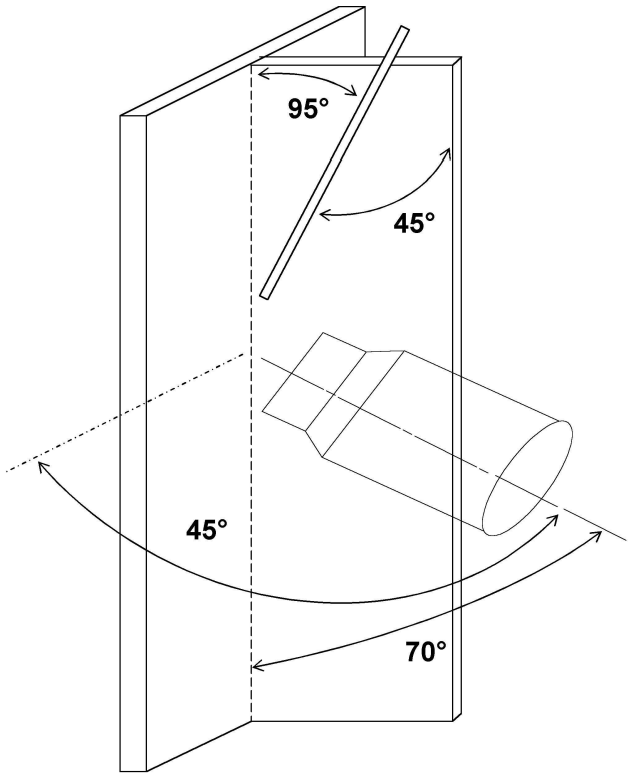
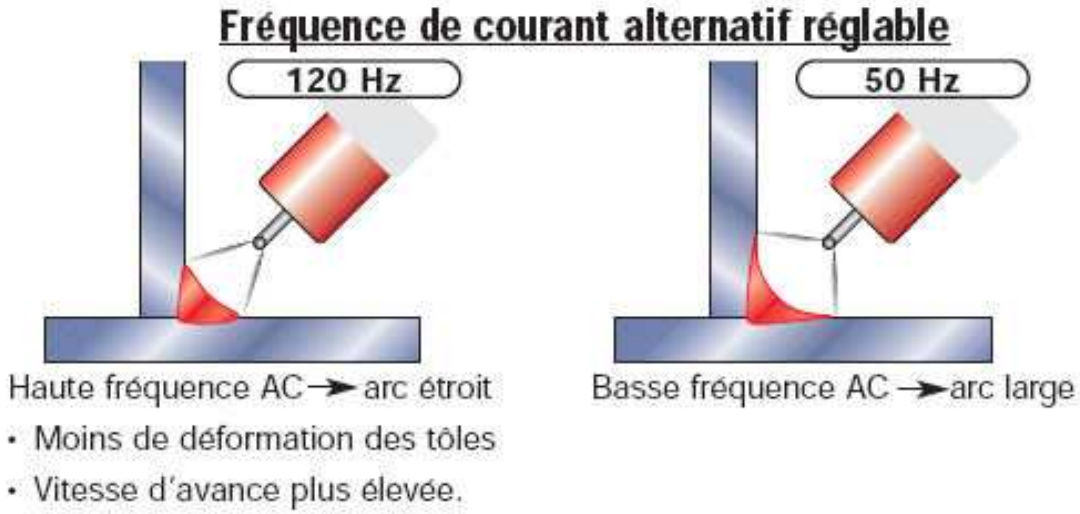
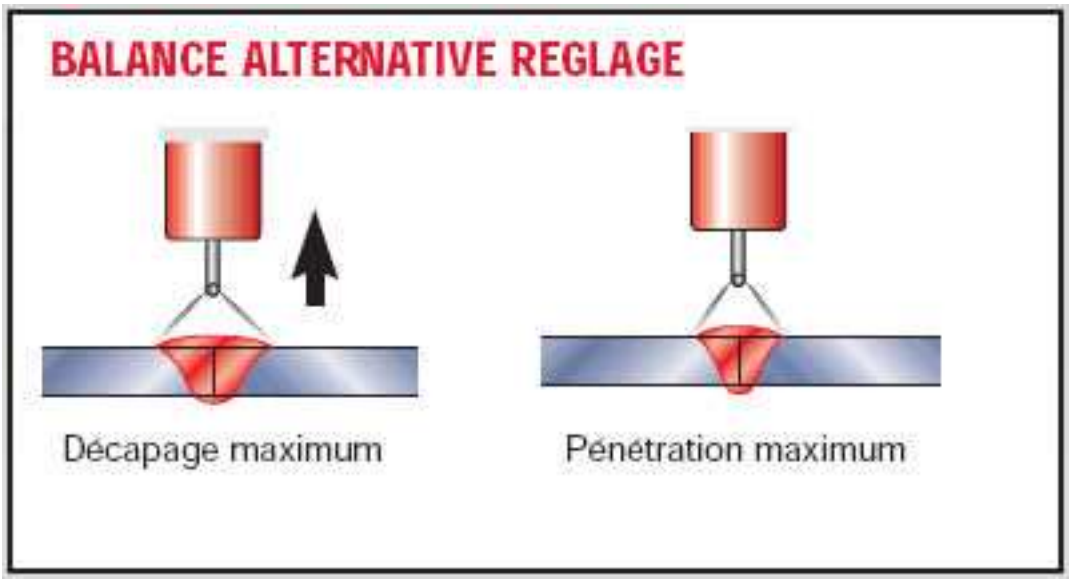


Figure F : Soudure d'angle intérieur en position verticale

PARAMÈTRES DE SOUDAGE POUR LES ACIERS AU CARBONE

Épaisseur du métal de base en mm	Intensité de courant (ampères)	Sorte de courant	Diamètre du tungstène
1.6	60 à 120	CCPN	1.6
2.4	80 à 140	CCPN	2.4
3.2	90 à 140	CCPN	2.4 ou 3.2
5	100 à 150	CCPN	2.4 ou 3.2
6.4	120 à 180	CCPN	2.4 ou 3.2
9.6	160 à 200	CCPN	3.2 à 5
12.7	200 à 260	CCPN	5 à 6.4
Épaisseur du métal de base en mm	**Diamètre de la buse en mm**	**Diamètre de baguette d'apport**	**Débit argon (l/m)**
1.6	6.4	1.6	4.7 à 6
2.4	8	1.6-2.4	6 à 7
3.2	9.6	2.4-3.2	6 à 7
5	9.6-12.7	3.3	6 à 8
6.4	12.7	3.2	7 à 8
9.6	12.7	5	8 à 9.5
12.7	12.7	6.4	9.5 à 12





© Pierre Daigle Novembre 2003

COPYRIGHT PIERRE DAIGLE © 2003 soudage@videotron.ca