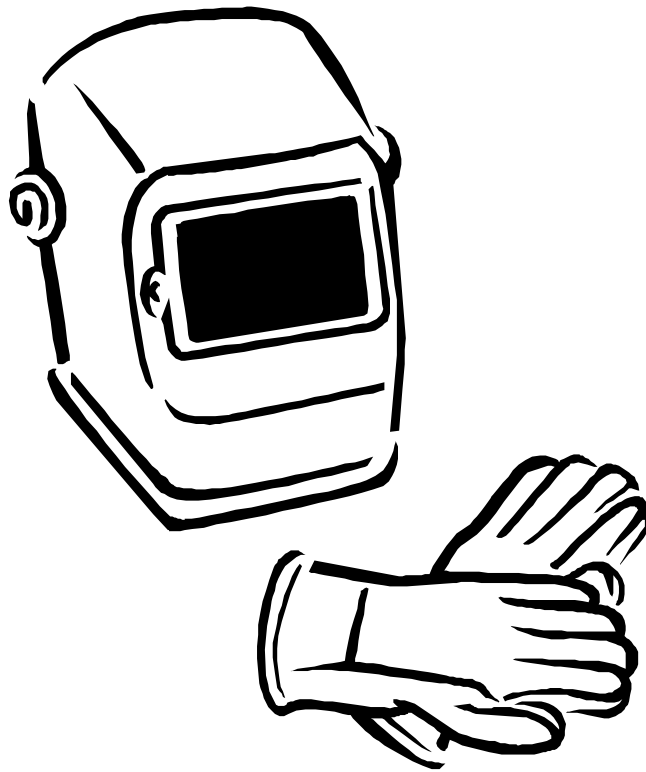


LE SOUDAGE DES FONTES

S M A W
O A W



PAR : Pierre Daigle, enseignant
et Denis Plante, ingénieur en soudage

Site WEB

<http://www.soudotec.com/>

Introduction :

La fonte est un métal difficilement soudable et de nature fragile .C'est pourquoi il est très important de lire le présent document pour mieux connaître les facteurs et risques à prendre pour en tirer un meilleur résultat. On peut souder la fonte pour différentes raisons :

- La réparation des défauts de moulage.
- Les modifications de machinerie.
- La réparation de cassures ou de fissures dues à des chocs ou à des surcharges provoqués par le gel.
- La reconstruction de parties usées dues au frottement.

Description de la fonte

La fonte est un alliage contenant de 91 % à 94 % de fer métallique, ainsi que des proportions variées d'éléments tels que le carbone, le silicium, le fer, le manganèse et le nickel. En ajoutant diverses quantités de ces éléments, une fonderie est capable de produire des sortes spécifiques de fonte qui conviennent à des travaux particuliers. Les trois principales sortes de fonte sont la fonte grise, la fonte blanche et la fonte malléable. (Une substance malléable est celle qui peut être martelée ou façonnée.) Parce que la fonte contient beaucoup de carbone (de 1,7 % à 4,5 %), même le fer malléable n'est pas malléable à toutes les températures. Les fontes se présentent sous forme de pièces moulées (casting). C'est-à-dire que le fer fondu est déposé dans des moules de formes et de dimensions variées. Cela contraste avec la production de l'acier, qui peut être étiré, roulé, courbé, façonné et enroulé à chaud ou à froid.(laminage à chaud ou laminage à froid)

Emplois de la fonte :

La fonte a des propriétés qui la rendent précieuse pour la fabrication de nombreux produits. Par exemple, parce que le fer fondu prend beaucoup de temps à se solidifier, on peut en tirer des produits au dessin compliqué. De plus, le type de fonte grise peut très bien se travailler à la machine. Aussi peut-on obtenir des produits réalisés facilement, rapidement et à bon compte. Les inconvénients de la fonte sont sa faible ductilité et son peu de résistance. Ces faiblesses peuvent l'amener à se briser lorsqu'elle est soumise à de fortes tensions, à des chocs soudains ou à des changements brusques de température.

Applications

Fonte grise (à graphite lamellaire) et Fonte ductile (à graphite sphéroïdal)

- Éléments lourds, en général
- Supports de machines
- Poulies, rouleaux entraîneurs
- Blocs moteur, culasses
- Éléments de four, lingotières, moules
- Outils de découpage et détournage
- Vannes, bâtis de pompe
- Éléments lourds, en général
- Supports de machines
- Roues dentées, vilebrequins
- Poulies, rouleaux entraîneurs
- Canalisations, tubes à emboîtement
- Outils à estamper
- Bâtis de pompe

Avantages :

L'emploi de la fonte comporte plusieurs avantages :

- ⊙ On peut en tirer des produits aux formes complexes (vitesse de solidification lente)
- ⊙ Bonne résistance à la compression
- ⊙ Bonne aptitude aux traitements et aux chocs thermiques
- ⊙ Bonne résistance à l'usure.
- ⊙ Dureté homogène
- ⊙ Tenue aux températures élevées
- ⊙ Aptitude à recevoir des revêtements spéciaux (métaux, émaux, plastiques)
- ⊙ Aptitude aux traitements thermiques (d'adoucissement ou de durcissement)
- ⊙ Autolubrification des pièces en frottement
- ⊙ Capacité importante d'amortissement des vibrations
- ⊙ Conductivité thermique assez bonne
- ⊙ Masse volumique élevée
- ⊙ Etanchéité aux fluides sous pression
- ⊙ Faible retrait permettant une grande précision dimensionnelle
- ⊙ Limite d'élasticité élevée
- ⊙ Possibilité de liaisons par brasage et soudage
- ⊙ Stabilité dimensionnelle élevée
- ⊙ Usinabilité excellente
- ⊙ Résistance aux chocs thermiques
- ⊙ Résistance à la corrosion par la plupart des produits chimiques
- ⊙ Résistances mécaniques élevées
- ⊙ Résistance aux milieux agressifs (atmosphères, sols)
- ⊙ Résistance au vieillissement qui se compte parfois en siècles

Inconvénients

Mais il comporte aussi des inconvénients.

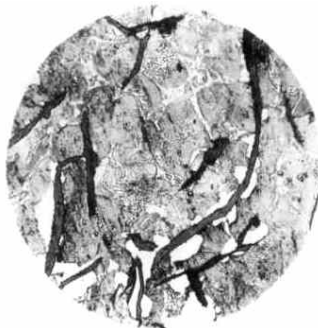
Sa capacité de déformation est très faible d'où son manque de ductilité qui peut l'amener à se briser lors de tension élevée. La fonte est aussi très sensible aux tensions internes résiduelles résultant de la chaleur (inévitables en soudage).

Les différents types de fontes présentes sur le marché :

Fonte grise (graphite lamellaire) : 2-4 % C ; 1-3 % Si ; max. 1 % Mn.

La plus commune des fontes.

- ▲ **Cassure** : Couleur grises. Carbone précipité sous forme de lamelle de graphite.
- ▲ **Usinage** : Facile à usiner et à percer
- ▲ **Structure**: Graphite lamellaire dans une matrice de fer
- ▲ **Pression**: Haute résistance mécanique à la pression.
- ▲ **Module d'élasticité** : Plus bas que celui de l'acier (plus d'allongement sous la même force)
- ▲ **Usure**: Bas coefficient de frottement (lubrification par le graphite)
- ▲ **Fragilité**: Bas allongement à la rupture, résilience extrêmement basse
- ▲ **Traction mécanique**: Modeste résistance à la traction (en fonction de la qualité), aucune sécurité en cas de surcharge mécanique.
- ▲ **Difficile à l'oxycoupage.**



Structure d'une fonte grise.

• **Fonte malléable : 2-2,8 % C ; 1-1,7 Si ; 0,25 – 1,25 % Mn.**

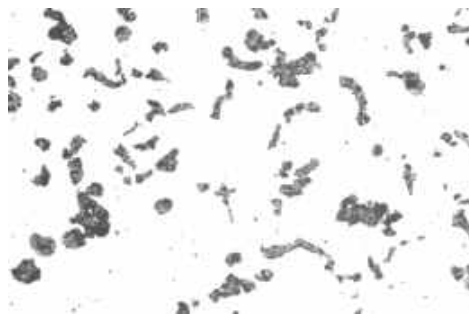
- ▲ Bonne capacité de déformation.
- ▲ Propriétés mécaniques supérieures aux fontes grises.
- ▲ Moins cassante que fonte grise.



Structure d'une fonte malléable.

- **Fonte ductile (nodulaires ou graphite sphéroïdale) : 3-4 % C ; 1,8 – 2,8 % Si ; max 0,8 % Mn + Mg + Ce.**

- ▲ Les plus hautes propriétés mécaniques de tous les types de fonte.
- ▲ **Structure:** Graphite sphéroïdal dans une matrice de fer
- ▲ **Pression:** Haute résistance mécanique à la pression.
- ▲ **Module d'élasticité :** légèrement plus bas que celui de l'acier
- ▲ **Usure:** Bas coefficient de frottement (lubrification par le graphite)
- ▲ **Fragilité:** L'allongement à la rupture est plus élevé que celui de la fonte grise
- ▲ **Traction mécanique:** Résistance à la traction jusqu'à 800MPa. La limite élastique se situe au-dessus de la moitié de la résistance à la traction.
- ▲ **Usinage / perçage:** Bonne usinabilité par enlèvement de copeaux (ne peut pas être cisailée sur une guillotine)
- ▲ **Difficile à l'oxycoupage.**



Structure d'une fonte à graphite sphéroïdal

- **Fonte blanche : 2,5 – 3,8 % C ; 0,2 – 2.8 % Mn**

- ▲ Cassures de couleur blanche
- ▲ Résistance abrasion
- ▲ Soudabilité mauvaise
- ▲ Très fragile.

- **Fonte alliés :** Fonte dérivés des autres types par ajout d'éléments tels que le Cr, Ni, Mo, W, Cu, etc.
But : Améliorer la résistance à l'usure ou la traction ou la résistance à la corrosion.

Identifications des fontes :

Tests d'étincelles

Les tests d'étincelles sont une façon d'identifier et de classer les aciers, les fontes et certains métaux non ferreux ainsi que des alliages. Un test d'étincelles implique l'examen des caractéristiques des étincelles produites lorsque les métaux viennent en contact avec une roue abrasive. On peut utiliser une meule fixe ou une rectifieuse coudée pour ce genre de test avec la meule propre et approprié pour chaque type de matériel. Cette méthode d'identification du métal n'est sûrement pas super précise et certaine. C'est cependant une méthode économique et rapide de classification approximative. On doit cependant avoir l'œil très aguerris. Avec l'expérience, certaines personnes reconnaissent plus facilement que d'autres.

Travailler à la lumière faible est préférable, afin de voir plus facilement les étincelles. Pour obtenir un faisceau d'étincelles suffisamment long pour l'identification, la meule doit avoir une vitesse de surface d'environ 1 200 rotation/min. Comparez les étincelles du métal que vous identifiez directement avec les étincelles produites d'échantillons de tests standard. Un ensemble d'échantillons doit inclure des fers des aciers avec différents contenus de carbone et divers alliages d'acier. On pourra alors comparer plus facilement tel ou tel type de métal. *(Voir le tableau 9.1 en annexe.)*

Soudabilité des fontes

Les pièces de fonte grise sont les plus répandues sur le marché. Les fontes grises sont économiques, fragiles, parfaitement machinables et se prêtent bien au coulage. Elles peuvent être soudées à l'arc électrique (**SMAW**), au gaz par fusion **OAW**, ou avec le procédé **OAW** hétérogène.

Les pièces de fonte blanche sont très dures et très fragiles. Elles ne peuvent s'usiner et **ne se soudent pratiquement pas**.

Les fontes malléables sont usinables et moins fragiles que les fontes blanches. Elles peuvent se souder au chalumeau **OAW** hétérogène c'est à dire par soudo-brasage en utilisant des baguettes de bronze comme métal d'apport.

Les fontes nodulaires, couramment appelées fontes ductiles, offrent des caractéristiques intermédiaires entre les fontes grises et l'acier moulé. Elles sont soudables à l'arc électrique **SMAW** ou encore au chalumeau au gaz **OAW** hétérogène par soudo-brasage en utilisant des baguettes de bronze comme métal d'apport.

Enfin, il est à noter qu'il est possible de souder la plupart des fontes par soudage hétérogène à l'aide de procédés à l'arc électrique **GMAW**, Arc électrique avec électrode enrobées **SMAW** ou **FCAW** ou brasage au gaz **OAW**.

Pour ce faire, on emploie notamment un alliage de bronze silicium comme métal d'apport.

Principaux problèmes de soudabilité

Les principales difficultés rencontrées lors du soudage des fontes proviennent de **leur très grande fragilité** et de leur manque de ductilité, qui cause des déformations et de la fissuration à chaud. De plus, la porosité de la surface des fontes tend à emprisonner des oxydes et d'autres impuretés qui souillent les pièces. Il faut donc nettoyer les surfaces à fond avant le soudage, par exemple dans un bain de sel.

Afin de diminuer les risques de déformation ou de fissuration des pièces de fonte, on doit préchauffer une partie ou toute la pièce durant le soudage puis la laisser refroidir tranquillement. Le refroidissement peut s'effectuer dans un four à température contrôlée ou on peut placer la pièce dans du sable chaud puis la laisser refroidir à la température ambiante ou mettre la pièce soudée dans une couverture en amiante. (attention au poussière d'amiante qui sont très nocive.

Conception

1. Géométrie de la pièce

La géométrie de la pièce a une influence sur la distribution de température pendant le soudage. Elle influence la dilatation de la pièce lors du soudage.

Le danger de fissuration augmente avec la complexité de la géométrie de la pièce et la présence de zones critiques à la déformation.

La vitesse de refroidissement après soudage est augmentée par une épaisseur plus importante de la pièce ce qui augmente aussi le danger de fissuration.

2. Rigidité de la pièce

Dans les pièces « bridées » qui ne supportent pas de déformations, les tensions de soudages peuvent dépasser la résistance à la traction de la fonte.

Dans ce cas, des fissures et des cassures se produisent.

3. Pièce avec une liberté de mouvement

Une liberté de mouvement de la pièce a un effet positif sur la soudabilité.

Métaux d'apport employés

Pour le soudage des fontes à l'arc électrique, on choisit généralement l'un des trois types de métaux d'apport suivants:

- **Acier;**
- **Fonte;**
- **Alliage de nickel.**

On peut également utiliser un métal d'apport en acier inoxydable ou un alliage de cuivre, tel que le bronze.

Comparaison des méthodes de soudage de fonte

Les pièces de fonte de soudure de brasage ont des avantages sur le soudage par fusion. La soudure de brasage a plus de ductilité que la soudure par fusion, de sorte que la pièce de fonte est moins sujette à se briser à la soudure de brasage qu'à la soudure par fusion. De plus, parce que des températures plus basses sont requises pour la soudure de brasage, les effets d'expansion et de contraction sont réduits. Les basses températures de la soudure de brasage produisent aussi un autre effet. Si vous avez essayé de souder par fusion de la fonte malléable, la grande chaleur nécessaire pour fondre le métal de base anéantira la malléabilité de la fonte. Un procédé coûteux de traitement à la chaleur sera nécessaire pour restaurer la fonte à son état original. Pour la soudure de brasage, d'autre part, le métal de base n'est pas fondu. Aussi, la malléabilité de la fonte n'est pas amoindrie. Remarquez que seule la fonte grise peut être soudée par fusion avec succès. La fonte grise et le fer malléable peuvent être soudés par brasage avec succès. La fonte blanche ne peut être soudée ni par brasage ni par fusion.

Le soudage par fusion de la fonte grise est nécessaire dans deux circonstances:

- I. lorsque la couleur du métal soudé doit s'apparenter avec le métal de base ;
- II. lorsque la pièce à souder sera soumise plus tard à des températures au-dessus de 260 °C. Évidemment, les soudures par brasage perdent de la force au-dessus de cette température.

Procédé de soudo-brasage de la fonte grise (soudage hétérogène)

Étapes:

- 1) Vous pouvez utiliser des pièces de rebut pour la pratique. Assurez-vous que les pièces sont de la fonte grise en faisant un test d'étincelles. Ce fer doit être exempt d'oxyde et d'huile. Choisissez des pièces de petites tailles pour faciliter l'assemblage.
- 2) Biseautez les deux bords pour former un angle de 90^0
- 3) Passez à la meule à une profondeur de 1,25 cm de chaque côté biseauté sur le dessus et sous chaque pièce de métal. Enlevez les arêtes des coins afin de permettre au métal d'apport du brasage de couler convenablement.
- 4) Remplissez tous les bords préparés du métal pour enlever de la surface tout carbone sale ou les petites particules.
- 5) Prenez une baguette d'apport de brasage couverte de flux du diamètre approprié (environ 6 mm) ou une baguette sans flux et un contenant de flux de brasage.
- 6) Ajustez l'oxygène et l'acétylène aux bonnes pressions.
- 7) Ajustez la torche pour obtenir une flamme légèrement oxydante. L'excès d'oxygène brûlera toutes les particules de carbone laissées à la surface du métal. Cela permettra à la baguette de brasage de couler plus facilement. (*Notez bien:* si vous biseautez (chanfreinez) les pièces à la machine, remplissez et chauffez le métal pour enlever tous les petits flocons de graphite produits par la machine. Les flocons de graphite à la surface du métal nuisent au procédé initial de l'étamage de cette opération de soudage.)
- 8) Posez à plat les pièces de fonte grise, séparées d'environ 1,6 mm le long du joint.
- 9) Chauffez prudemment les pièces tout le long du V. Gardez le dard de 12 à 18 mm de la surface de dessus de la fonte.
- 10) Au cours du procédé de réchauffement, passez le bout de la baguette d'apport de brasage à travers le panache de la flamme. De cette manière, le flux adhèrera à la baguette d'apport lorsque vous la plongez dans le contenant. Cela n'est pas nécessaire avec la baguette couverte de flux.
- 11) Quand tout le V a été bien chauffé d'avance, concentrez la flamme du côté droit du métal (du côté gauche si vous êtes gaucher) jusqu'à ce que le métal devienne rouge sombre. La couleur apparaît à la température de l'étamage.
- 12) Faites fondre maintenant un peu de baguette de brasage dans la surface du V. Si la baguette fondue forme de petites boules qui roulent hors du métal de base, la fonte n'est pas assez chaude. D'autre part, si la baguette fait un bruit saccadé et que les boules roulent sur la surface comme des gouttes d'eau sur un poêle chaud, le métal de base est trop chaud. Vous ne pouvez poursuivre l'étamage initial à l'une ou l'autre température. Si c'est trop froid, chauffez le métal de base. Si c'est trop chaud, laissez refroidir avant d'ajouter plus de baguette d'apport. Lorsque le métal est à la bonne température d'étamage, la baguette d'apport coulera comme de l'encre à travers la surface et s'étendra aussi comme de l'encre épongé par un buvard. L'étape la plus importante dans le soudo-brasage, c'est de s'assurer d'un étamage complet des surfaces du joint de fonte. La figure A illustre un bon dépôt de baguette d'apport sur une pièce de fonte.

Si les pièces sont plus épaisses que 1,25 cm, vous terminerez la soudure en trois passes. À la première passe, l'action d'étamage devra pénétrer toute la base du V et s'étendre à mi-chemin de chaque côté. Le contour du dessus de la soudure devra avoir une forme concave comme dans le dessin gauche supérieur de la figure A. La seconde passe doit être complètement unie à la première, à l'égalité de la surface du métal de base. Le dessus de la soudure aura encore une fois une forme concave comme dans le dessin gauche inférieur de la figure A. À la troisième et dernière passe, la soudure devra être terminée au degré désiré de résistance. La surface de dessus devra être convexe, avec un effet distinct de rides, comme dans le dessin inférieur de droite de la figure A. Aux deux dernières passes, une fusion complète avec la couche précédente de métal est essentielle si vous désirez obtenir une bonne soudure.

Procédé de soudo-brasage de la fonte grise (soudage hétérogène)

Étapes (suite)

- 13) Le secret d'un bon soudo-brasage repose aussi sur la méthode de refroidissement. La partie qui a été brasée doit être refroidie très lentement. Deux des méthodes les plus communes consistent à enfouir la partie dans du sable fin et de recouvrir d'une substance inflammable. Vous pouvez retirer le flux de surface en frottant avec la meule ou avec un burin.
- 14) Testez la force du joint. Placez la soudure dans un étau et frappez-la avec un marteau. Si la soudure est réussie, la fonte cassera d'abord le long d'une ligne parallèle au joint soudé. Une bonne soudure, fera voir de la pénétration sans protubérances au dos de la soudure de brasage.

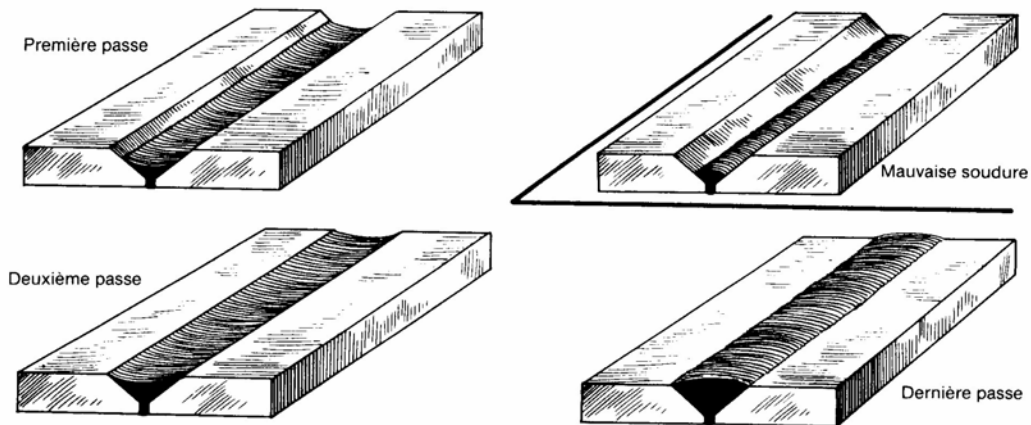


Figure A

Soudage par fusion de fonte grise

La fonte grise est sujette à des changements de température. Vous devez alors y apporter une attention spéciale: chauffez-la d'abord et refroidissez-la ensuite après le soudage. Si la fonte grise se refroidit trop rapidement, elle craquera. La zone soudée peut acquérir les caractéristiques de la fonte blanche, devenant extrêmement fragile et difficile à travailler mécaniquement.

Facteurs affectant les soudures de fonte grise

Le carbone :

Lorsque vous faites du soudage par fusion de fonte grise, il faut fondre les surfaces à unir. Quand ces surfaces sont fondues, du carbone de la fonte va dans le bain de fusion. Il peut être brûlé par la chaleur si on ne prend soin de maîtriser l'action du bain de fusion.

L'oxydation :

Du fer fondu ou même rougi au rouge vif a tendance à s'oxyder rapidement au contact de l'air. Aussi, durant le soudage, la surface du métal fondu se couvre d'une couche d'oxyde de fer. Durant le procédé de soudage, cet oxyde est souvent attiré dans la soudure et se solidifie. Il forme des taches durcies qui sont des points de rupture possible.

La contraction :

À cause de la structure de la fonte, en particulier la fonte grise, le refroidissement ou la contraction entre les différentes parties peuvent causer des fissures. La contraction dans la zone autour du cordon de soudure est minimisée en chauffant d'avance, puis après, et en refroidissant lentement.

Expansion et contraction :

Une des considérations les plus importantes dans le soudage de la fonte, c'est l'effet produit en chauffant et en refroidissant. Si les pièces coulées sont grosses, toute la fonte doit être amenée à une température d'environ 723 °C et maintenue à cette température pendant une heure pour chaque 2,5 cm d'épaisseur du matériel. De ce point, la fonte doit être refroidie graduellement.

De grosses pièces de fonte sont généralement chauffées dans une fournaise. Une autre méthode de chauffage est un four de briques à l'épreuve du feu, alimenté de chaleur par des torches de propane.

Procédé pour le soudage par fusion de la fonte grise OAW autogène

1. Pour faire un essai, choisissez deux pièces de fonte grise.
2. Biseautez les bords pour former un angle de 45°. Ne biseautez pas le fond de la cassure;
3. Laissez 3 mm au fond. Ces 3 mm s'appellent un terrain. Vous laissez un terrain pour deux raisons: diminuer la possibilité que du métal fondu passe au travers; garantir que le métal conservera sa forme originale.
4. Nettoyez la zone de soudage d'au moins 2,5 cm des deux côtés du V. Le nettoyage prévient les soufflures et les taches poreuses dans la section soudée.
5. Chauffez d'avance la surface entière des deux pièces du métal de base jusqu'au rouge sombre ou dès que la couleur apparaît. Cette étape est importante pour minimiser les risques de fissures.
6. Employez une baguette d'apport de fonte. Nettoyez tout oxyde ou saleté à la surface de la baguette d'apport.
7. Employez du flux pour garder fluide le bain de fusion et empêcher que des matières insoudables produisent des soufflures. Ce flux n'est utilisé que pour le soudage de la fonte. Il est différent du flux qui sert au soudo-brasage.
8. Employez une flamme légèrement oxydante, juste après l'ajustement neutre. Elle brûlera tout ce qui reste de carbone dans la soudure. Maintenez la torche dans la même position que celle pour le soudage de l'acier doux. Vous pouvez utiliser une buse plus grande que la normale à cause de l'augmentation de la chaleur et de la diminution de la vitesse de soudage.
9. Vous devrez immobiliser la partie à souder. Si une position satisfaisante n'est pas possible, vous ferez de petits points de soudure (clous) à tous les 2 ou 3 cm.
10. Lorsque le fond du V est fondu, réchauffez la baguette d'apport, plongez-la dans le flux et appliquez-la dans le bain de fusion. Faites faire un mouvement semi-circulaire à la torche, afin que tout le V se fusionne. Ajoutez de l'apport, toujours couvert de flux, tel que requis. Remarquez qu'une peau épaisse se formera à la surface du bain de fusion. Il faudra retirer cette peau, car elle contient les impuretés qui sont montées à la surface du bain de fusion. Servez-vous d'un morceau lourd d'apport en acier doux. Écumez la surface jusqu'à ce que le bain de fusion paraisse clair et exempt de petites taches. Si le soudage se fait trop vite, il se formera de la porosité ou des poches de gaz sous la surface de la soudure. Afin de prévenir la formation de la porosité, employez le dard et la baguette d'apport de fonte comme sondes pour percer la peau épaisse de la surface. Ce procédé, de haut en bas, s'appelle « puddlage » ou brasage. Il est nécessaire pour obtenir une soudure non poreuse.
11. Tenez la baguette d'apport dans le panache extérieur de la flamme pour qu'elle demeure chaude. Ne mettez jamais le métal d'apport dans le bain de fusion, sinon il se formera des taches dures dans la zone de soudage.
12. Plongez dans le flux la baguette chaude d'apport, puis ajoutez-la au bain de fusion.
13. Ne déplacez pas le bain de fusion le long du joint avant d'avoir fondu les côtés du V à l'état du bain de fusion.
14. Laissez refroidir le métal lentement. Lorsqu'il est refroidi, testez-le pour la qualité et la force de la soudure. Vous faites le test en frappant le métal avec un marteau tout en le maintenant dans un étai. Si le soudage a été bien fait, la cassure se fera dans le métal de base et non dans la soudure.

(Notez bien : Lors du soudage par fusion d'une pièce de fonte grise, réchauffez l'ouvrage après avoir fait la soudure. Puis, couvrez la pièce avec un bon isolant, tel que le sable fin. L'isolant permet un refroidissement lent afin d'éviter les tensions.)

Procédé à l'arc électrique avec électrodes enrobées (SMAW) de la fonte grise.

1. Avant de procéder au soudage des pièces, une analyse du métal de base par les critères suivant est nécessaire :
 - a) De quelle couleur est la fissure ? Si possible, faire un test d'étincelles en vous référant à la figure 9.1 en annexe et au tableau d'analyse.
 - b) Vérifier si la pièce a subi des contraintes thermiques. Exemple de pièce à réparer : un poêle en fonte car cela pourrait affecter sa soudabilité.
2. Biseautez les deux bords pour former un joint en U évasé. N.B. les bords doivent avoir des arêtes arrondies, garder vous un épaulement (ou méplat) égal au diamètre de l'électrode utilisée. Ceci aura pour fonction de guider l'assemblage initial et de garder assez de métal de base pour effectuer le soudage.
3. Passez à la meule à une profondeur d'environ 1,25 cm de chaque côté, ensuite biseautez sur le dessus et sous chaque pièce de métal. Assurez vous que la surface soit propre et exempte de souillure (huile, peinture, etc.) ou de d'oxyde fer (rouille) dans toute la région soudée.
4. Si votre fissure n'est pas débouchante à l'extrémité de votre pièce, faire des blocages de votre fissure en faisant des trous transversaux aux extrémités de la soudure. Cela empêchera aux contraintes dues au soudage de se propager complètement dans la pièce.
5. Élimination des zones durcies (raidisseur ou bride), assurer de ne pas trop brider l'assemblage durant le soudage.
6. Il serait toujours souhaitable de faire un test de soudabilité sur une autre pièce, pour vérifier les paramètres et l'homogénéité de la soudure (test de rupture par exemple).
7. Prendre le bon diamètre d'électrode en fonction du remplissage de la préparation et que le dépôt de métal ne devra pas dépassé 2 fois $\frac{1}{2}$ le diamètre de l'électrode.
8. Pour faire une meilleure zone de liaison faite un beurrage des faces du joint avant soudage (utilisation de nickel pur).
9. Sélection des produits d'apport en fonction des trois caractéristiques des métaux d'apport.
 - Nickel pur, Ferro-nickel, Fer pur. Différence entre les catégories = caractéristiques de résistance mécanique, d'usinabilité et de résistance à la fissuration et une faible pénétration. Référence au tableau de la figure **B** pour les paramètres aussi que les polarités de soudage.
 - Métaux d'apport disponible sous diverses formes : électrodes enrobées, baguettes nues (TIG) ou enrobées, fils solides ou fils fourrés.
 - Métaux d'apport spécialisés spécialement élaborés pour le soudage des fontes minces ou épaisse, des fontes sales ou huileuse, des fontes inconnus, des fontes brûlés, des assemblages fonte-acier, pour obtenir une usinabilité maximale, pour effectuer des couches de beurrage, etc.

Figure B Courant recommandé pour des électrodes à base de nickel

Dimensions mm		Intensité recommandée (A)	
Diamètre	Longueur	Courant Alternatif	Courant continu
2.4	300	50-70	40-70
3.2	350	90-110	80-100
4	350	120-140	100-130
5.1	350	130-160	120-150

Les électrodes à base de nickel s'utilisent avec le courant alternatif ou le courant continu avec polarité normale ou inversée. Le tableau de la figure B indique les intensités convenant à certaines de ces électrodes.

Notez Bien : Lors du soudage des fontes, si vous utilisez des électrodes d'acier, le phénomène suivant se produira : l'acier absorbe le carbone, donc le refroidissement rapidement de la fonte favorisera le durcissement de l'acier (phénomène de trempe) et rend la soudure non apte à l'usinage.

Deux options pour le soudage des fontes par fusion

Le soudage à froid et le soudage à chaud :

1. Technique de soudage à froid.

Avantages:

- Aucun rayonnement thermique de la pièce
- Pas de déformation ou déformation minimale

Applications:

- Soudage des pièces ne supportant pas les déformations
- Soudage aux endroits qui ne permettent pas de déformations
- Soudage de pièces usinées

Préchauffage:

- Épaisseur des pièces < 25 mm: Un préchauffage n'est pas nécessaire pour une soudure exempte de fissures.
- Épaisseur des pièces > 25 mm: Un léger préchauffage peut être utile pour une soudure exempte de fissures
- Dans le domaine du soudage de maintenance, un léger dégourdissement de 50°C peut améliorer le mouillage et la liaison avec le métal de base.
- Ce léger préchauffage n'est effectué que pour la première passe.
- Avantages du dégourdissement: liaison améliorée, aucune porosité / aucune microfissure.

Technique de soudage à froid (suite)

- ❖ But : Limiter au strict minimum l'étendue de la zone affectée thermiquement par la chaleur (ZAT) en exécutant des dépôts multiples sous faible énergie. S'applique bien pour les pièces massives où il est difficile de mettre en œuvre des opérations de préchauffage.
- ❖ Principe : Veiller à ce qu'aussi peu de chaleur que possible soit transmis au métal de base.
- ❖ Soudage sans préchauffage mais en gardant toujours une température entre passe ne dépassant pas 60 à 70°C (140 à 158°F) à proximité des dépôts.
- ❖ Longueur de cordons limitée de 25 à 50 mm
- ❖ Ampérage doit être au minimum admissible pour l'obtention d'une bonne stabilité de l'arc, d'un bon accrochage du métal d'apport et pour limiter la dilution.
- ❖ Utilisation de petit diamètre d'électrode.
- ❖ Martelage immédiat (dépôt rouge), jamais utiliser un marteau pointu
- ❖ Refroidir la zone de soudure à environ 50°C
- ❖ Soudage du prochain cordon à pas de pèlerin (back step)

2. Technique de soudage à chaud

Le soudage en régime chaud peut être très coûteux à cause du préchauffage important: il en résulte des déformations et des oxydations de surface. Les travaux de finition après soudage peuvent donc prendre une certaine ampleur.

L'important rayonnement de chaleur rend cette méthode de soudage assez pénible.

- But : Diminuer de façon notable la vitesse de refroidissement afin d'obtenir une structure exempte de constituants fragiles et de réduire la distorsion et les contraintes résiduelles créées par l'opération de soudage.
- Principe : Soudage avec préchauffage local ou global des pièces à une température variant de 400 à 600°C (752 à 1112°F).
- S'assurer d'un refroidissement lent (20° à 35 °C / heure).
- Préférer le préchauffage global lorsque possible.
- Longueur des cordons : 3" - 5" (75mm– 125 mm)
- Soudage et refroidissement à l'abri des courants d'air.

Techniques opératoires lors du soudage des fontes.

- Pas de balayage, c'est à dire un mouvement oscillatoire lors du soudage.
- Courant alternatif préférable pour un meilleur accrochage.
- Martelage à chaud entre les passes pour relaxer les contraintes.
- Nettoyage à fond ; bien enlever le laitier entre chaque passe.
- Arc de soudage maintenu court.
- Maintenir l'angle de l'électrode d'environ 15 degrés.
- Amorçage de l'arc directement dans le chanfrein.
- Soudage en répartissant les cordons tout le long du joint. (alternance)
- Post-chauffage éventuel après soudage.

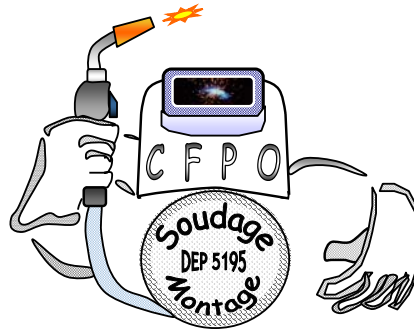
Nous espérons que ce recueil vous aidera dans vos projets de soudage ou de réparation de pièces en fontes.

Annexe

Tableau 9.1 Caractéristiques des étincelles produites par une meule.

Figure 9.2 Procédé de soudo-brasage de la fonte grise (Hétérogène)

Figure 9.8 Procédé de fusion au gaz de la fonte grise. (Autogène)



Bibliographies et remerciements :

Le soudage : Méthodes pratiques courantes Fricker/Sear/Tuttle

Le soudage de maintenance et réparation de **Soudotec**, par Denis Plante, ingénieur en soudage

<http://soudotec.com/>

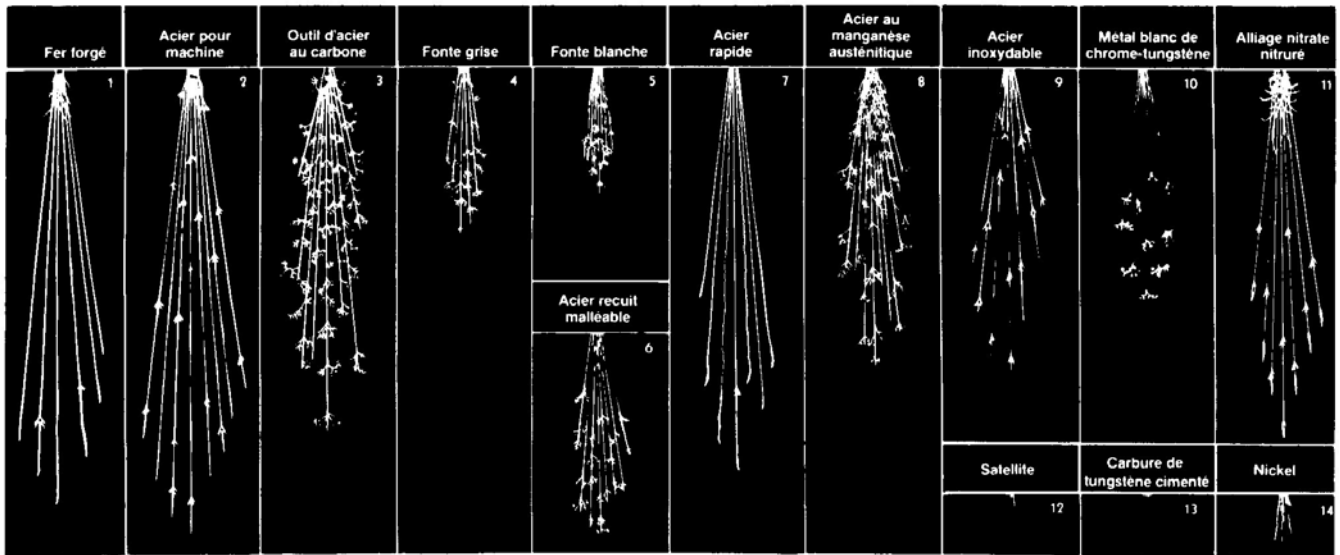
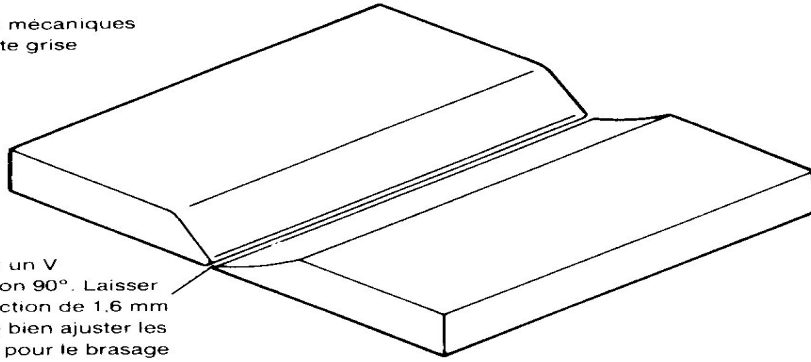


Figure 9.1 Étincelles typiques produites par divers métaux et alliages.

TABLEAU 9.1 *Caractéristiques des étincelles produites par une meule sur divers matériaux*

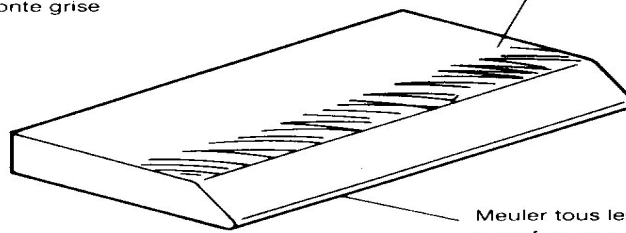
Métal	Volume du faisceau	Longueur relative du faisceau *mm po	Couleur du faisceau (près de la meule)	Couleur des étincelles (près du bout)	Quantité de jets	Déploiement des jets
1. Fer forgé	Gros	1 651 65	Paille	Blanches	Très minime	Fléché
2. Acier pour machine (A1S1 1020)	Gros	1 778 70	Blanc	Blanches	Minime	Fléché
3. Outil d'acier au carbone	Moyen	1 397 55	Blanc	Blanches	Grande	Fin, à répétition
4. Fonte grise	Petit	635 25	Rouge	Paille	Grande	Fin, à répétition
5. Fonte blanche	Très petit	508 20	Rouge	Paille	Minime	Fin, à répétition
6. Acier recuit malleable	Moyen	762 30	Rouge	Paille	Grande	Fin, à répétition
7. Acier rapide (18-4-1)	Petit	1 524 60	Rouge	Paille	Très minime	Fléché
8. Acier au manganèse austénitique	Moyennement gros	1 143 45	Blanc	Blanches	Grande	Fin, à répétition
9. Acier inoxydable (410)	Moyen	1 270 50	Paille	Blanches	Moyenne	Fléché
10. Métal blanc de chrome-tungstène	Petit	889 35	Rouge	Paille**	Grande	Fin, à répétition**
11. Alliage nitrate nitruré	Gros (courbé)	1 397 55	Blanc	Blanches	Moyenne	Fléché
12. Satellite	Très petit	254 10	Orange	Orange	Nulle	
13. Carbure de tungstène cimenté	Très, très petit	50,8 2	Orange pâle	Orange pâle	Nulle	
14. Nickel	Très petit***	254 10	Orange	Orange	Nulle	
15. Cuivre, laiton, aluminium	Aucun				Nulle	

Pièces mécaniques
de fonte grise



Meuler un V
d'environ 90°. Laisser
une section de 1.6 mm
afin de bien ajuster les
pièces pour le brasage

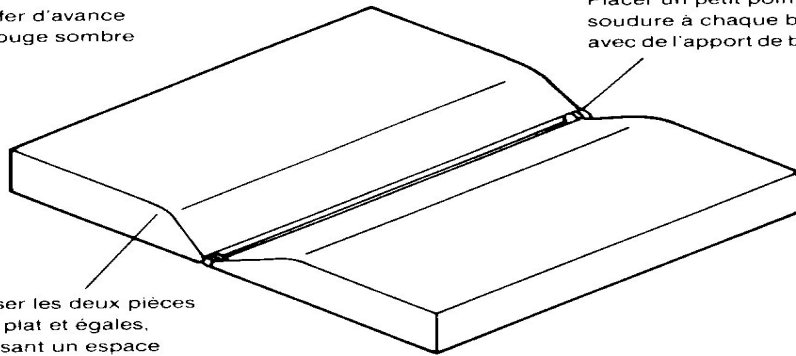
Lingots de fonte grise



Meuler par l'arrière
à 2.5 cm de la zone
à brasier

Meuler tous les bords
pour former une
surface arrondie

Chauffer d'avance
à un rouge sombre



Placer un petit point de
soudure à chaque bout
avec de l'apport de brasage

Disposer les deux pièces
bien à plat et égales,
en laissant un espace
de 1.6 mm

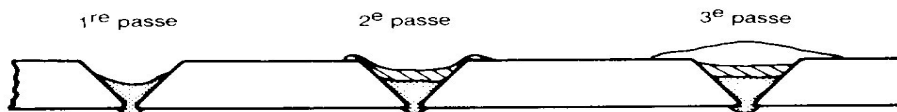
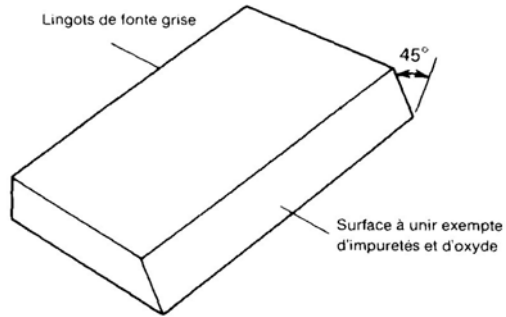
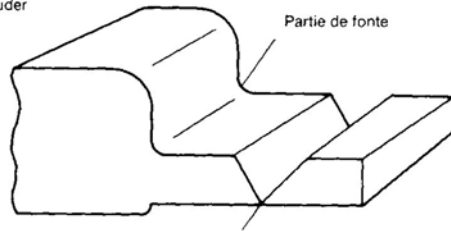


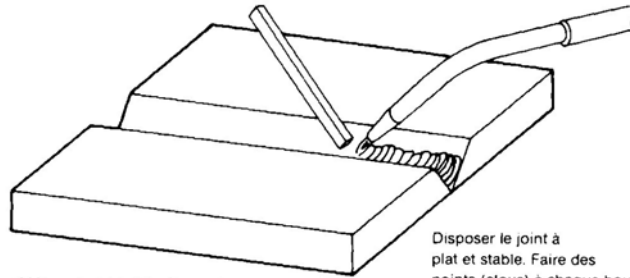
Figure 9.2 Procédé de soudo-brasage de fonte grise.



Meuler au moins 6.4 mm par l'arrière de tous les côtés à souder

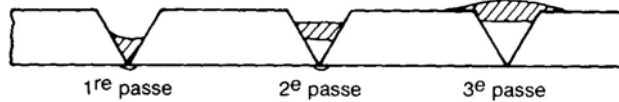


Section à souder en V. Laisser 1,6 mm ou moins de terrain pour que les parties aient leur forme originale

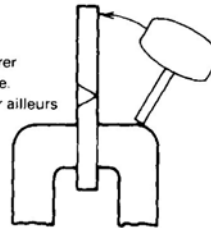


Utiliser une baguette d'apport d'acier doux pour enlever toutes les impuretés et la couche d'oxyde

Disposer le joint à plat et stable. Faire des points (clous) à chaque bout de la 1^{re} passe. S'assurer d'une bonne pénétration. Employer le panache oxydant de la flamme pour percer la couche d'oxyde et amener les impuretés à la surface



Porter des verres de sécurité pour tester. S'assurer que la zone de test est claire. La soudure devrait se briser ailleurs en dehors du joint actuel



Linde Group of Union Carbide Canada, Ltd.

Figure 9.8 Procédé pour la fusion de fonte grise.