



LYCÉE HENRI DARRAS

Date :

Soudabilité métallurgique des aciers

Nom :

Généralité

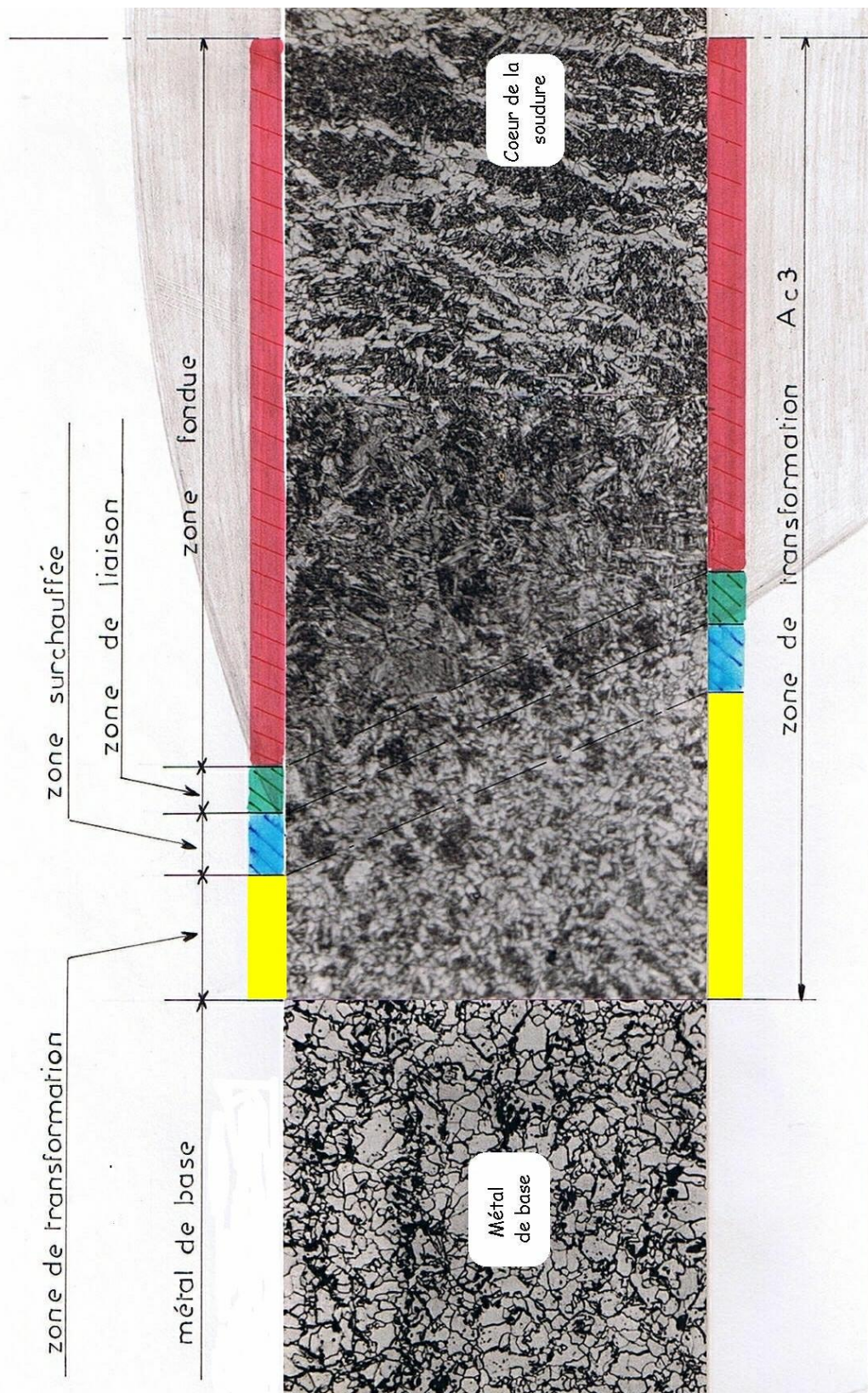
Section :

La difficulté de soudage d'un acier réside essentiellement dans sa teneur en carbone et dans le pourcentage de ses éléments d'addition.
Pendant le soudage, il se produit des transformations de phases qui peuvent amener des modifications des caractéristiques mécaniques de l'acier.

Exemples :

- un temps d'exécution trop long de la soudure conduit à un grossissement des grains donc diminue la limite de fatigue des pièces.
- un chauffage trop rapide produit un brusque passage du domaine α au domaine γ et entraîne une dislocation du réseau cristallin.
- un refroidissement rapide du métal à chaud peut amener une transformation martensitique rendant le cordon dur et fragile.

Micrographie transversale d'un cordon de soudure





Date :

Soudabilité métallurgique des aciers

Nom :

Etude de la soudure

Section :

1) La zone fondue :

La zone fondue est constituée par le mélange du métal d'apport et du métal de base. La structure de ce métal est de type dendrite basaltique.

2) La zone de liaison :

Zone marquant la frontière entre la zone fondue et la (ZAT) zone affectée thermiquement.

3) La zone surchauffée :

La température est supérieure à 1100° , la structure présente un maximum de grossissement des grains dans cette zone, elle va en s'affinant dans la zone de liaison.

4) La zone de transformation :

La température est comprise entre 700° et 1100° , la température de la pièce modifie les dimensions et la forme des grains et produit le phénomène de trempe.



Date :

Soudabilité métallurgique des aciers

Nom :

Influences des éléments d'addition

Section :

Le carbone : C :

Accroît la résistance à la rupture et à la dureté, mais favorise la trempe de l'acier dans la zone de la soudure .

Le manganèse : Mn :

Donne à l'acier une forte résistance à l'usure et aux chocs.

Le chrome : Cr :

Élément trempant très actif augmente la résistance à la rupture. A des teneurs supérieures à 1% , associé au carbone le soudage devient très délicat, il se forme des carbures de chrome au niveau des joints.

Le nickel : Ni :

Améliore les propriétés de l'acier, il est utilisé dans les aciers travaillant à basse température et dans les aciers inoxydables.

Le molybdène : Mo :

Diminue la fragilité, accroît la résistance à chaud, améliore la résistance à la corrosion dans les aciers inoxydables.

Le cuivre : Cu :

Améliore la résistance à la corrosion surtout dans le milieu marin, on le trouve dans certains aciers inoxydables ou des aciers à haute limite élastique.



Date :

Soudabilité métallurgique des aciers

Nom :

Le préchauffage avant soudure

Section :

Le but du préchauffage avant soudure :

- Réduire la vitesse de refroidissement pendant le soudage, afin d'éviter la formation de constituants de trempe.
- Réduire les déformations et les tensions internes.
- Eviter les formations de soufflures en facilitant le dégazage du métal, en particulier l'hydrogène cause de fissuration.

Les différents facteurs déterminant la température de préchauffage :

- Nature et diamètre de l'électrode : (l'énergie thermique variant en fonction du diamètre de l'électrode).
- L'épaisseur des tôles à assembler : (car la vitesse de refroidissement croît avec l'épaisseur des tôles).
- Le type et la forme de l'assemblage : (nombre de voies de dispersion la répartition des effets thermiques ne fait pas équitablement, il en résulte des déformations et des contraintes).
- La méthode de soudage : (suivant la méthode de soudage l'énergie calorifique est plus ou moins importante, de ce fait plus ou moins diffusée).
- La composition chimique de l'acier : (voir le chapitre précédent).
- Le carbone équivalent : (le carbone étant choisi comme élément de base, chaque élément d'addition sera affecté d'un coefficient d'équivalence).

D'où la formule :
$$CE = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}$$



Date :

Soudabilité métallurgique des aciers

Nom :

Le carbone équivalent

Section :

La formule pré citée a été mise au point par la *Bristich welding ressearch association* B.W.R.A
Elle est la plus utilisée et donne d'excellents résultats.

La méthode B.W.R.A

Elle tient compte de plusieurs facteurs

- a) l'indice de soudabilité : est défini par le carbone équivalent, la nature et le diamètre de l'électrode.
- b) l'indice de sévérité thermique TSN : est défini par l'épaisseur des pièces à assembler, et la forme de l'assemblage suivant la disposition des pièces (voies de dispersion).

L'indice de TSN est donné par la relation :

$$\frac{\text{Epaisseur moyenne des tôles} \times \text{le nombre de voies de dispersion}}{6}$$

6 étant pris comme unité d'épaisseur

Indice de soudabilité

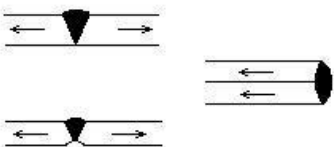
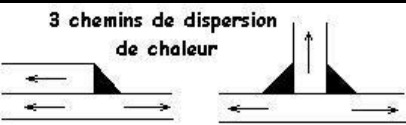
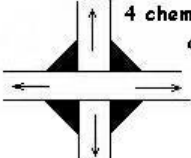
Le carbone étant l'élément de base, chaque éléments d'addition a un coefficient d'équivalence ce qui permet pour un acier de composition bien défini de déterminer le CE : (carbone équivalent) donc l'indice soudabilité.

Exemple : pour une électrode basique, avec un CE de 0,28 l'indice de soudabilité est la lettre B

| Carbone équivalent | | Lettres définissant l'indice de soudabilité |
|---------------------------|----------------------------|---|
| Avec une électrode rutile | Avec une électrode basique | |
| 0,20 | 0,25 | A |
| 0,21 à 0,23 | 0,26 à 0,30 | B |
| 0,24 à 0,27 | 0,31 à 0,35 | C |
| 0,28 à 0,32 | 0,36 à 0,40 | D |
| 0,33 à 0,38 | 0,41 à 0,45 | E |
| 0,39 à 0,45 | 0,46 à 0,50 | F |
| > à 0,45 | > à 0,50 | G |

Chiffre de sévérité thermique

Les indices de sévérité thermique sont définis : par la position et l'épaisseur des tôles à assembler suivant la disposition des éléments (chemins ou voies de dispersion).

| Type de joint | Epaisseur des tôles en mm | TSN |
|---|---------------------------|-----|
|  <p>2 chemins de dispersion de chaleur</p> | 6 et 6 | 2 |
| | 6 et 12 | 3 |
| | 6 et 18 | 4 |
| | 12 et 12 | 4 |
| | 24 et 24 | 8 |
| | 24 et 48 | 12 |
|  <p>3 chemins de dispersion de chaleur</p> | 6 et 6 | 3 |
| | 12 et 12 | 6 |
| | 24 et 24 | 12 |
|  <p>4 chemins de dispersion de chaleur</p> | 6 et 6 | 4 |
| | 12 et 12 | 8 |
| | 24 et 24 | 16 |
| | 6 - 12 - 12 - 12 | 7 |



Soudabilité métallurgique des aciers

Nom :

Date :

Tableau de préchauffage

Section :

| Chiffre de sévérité thermique TSN | Indice de soudabilité | Température minimale à laquelle doit être exécuter la soudure | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---|-----|-----|-----|-----|
| | | Diamètre de l'électrode | | | | |
| | | 3,2 | 4 | 5 | 6 | 8 |
| TSN 2 | D | | | | | |
| | E | 50 | | | | |
| | F | 125 | 25 | | | |
| TSN 3 | C | 0 | | | | |
| | D | 75 | | | | |
| | E | 100 | 25 | | | |
| TSN 4 | F | 150 | 100 | 25 | | |
| | B | 25 | | | | |
| | C | 50 | | | | |
| TSN 4 | D | 100 | 25 | | | |
| | E | 125 | 75 | | | |
| | F | 175 | 125 | 75 | | |
| TSN 6 | A | 25 | | | | |
| | B | 50 | | | | |
| | C | 100 | 25 | | | |
| | D | 150 | 100 | 25 | | |
| | E | 175 | 125 | 75 | 25 | |
| | F | 225 | 175 | 125 | 75 | |
| TSN 8 | A | 25 | | | | |
| | B | 75 | | | | |
| | C | 125 | 75 | 25 | | |
| | D | 175 | 125 | 75 | | |
| | E | 200 | 150 | 125 | 50 | 25 |
| | F | 225 | 200 | 175 | 125 | 50 |
| TSN 12 | A | 75 | 25 | | | |
| | B | 125 | 75 | 25 | | |
| | C | 150 | 125 | 75 | | |
| | D | 200 | 175 | 125 | 75 | |
| | E | 225 | 200 | 175 | 100 | 50 |
| | F | 250 | 225 | 200 | 150 | 125 |
| TSN 16 | A | 75 | 25 | 25 | | |
| | B | 125 | 75 | 50 | 25 | |
| | C | 175 | 150 | 125 | 50 | |
| | D | 200 | 175 | 175 | 125 | 50 |
| | E | 225 | 200 | 200 | 150 | 100 |
| | F | 250 | 250 | 225 | 200 | 150 |
| TSN 24 | A | 75 | 25 | 25 | | |
| | B | 125 | 75 | 50 | 25 | |
| | C | 175 | 150 | 125 | 75 | |
| | D | 200 | 175 | 175 | 125 | |
| | E | 225 | 200 | 200 | 175 | |
| | F | 250 | 250 | 225 | 200 | |



Soudabilité métallurgique des aciers

Nom :

Date :

Détermination de la température de préchauffage

Section :

Exemple de calcul : soit à assembler 2 tôles d'acier (35 Cr Mo 4) épaisseur 10mm bout à bout avec une électrode basique de $\varnothing 3,2$.

rappel de la formule :
$$CE = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{10}$$

1) Détermination du CE : 35 Cr Mo 4

Carbone (C) : 0,35%

Chrome (Cr) : 1%

Molybdène (Mo) : 0,30%

$$\text{Carbone équivalent (CE)} = 0,35 + \left(\frac{1+0,30}{10} \right) = 0,48\%$$

2) Détermination de l'indice de soudabilité

Electrode : $\varnothing 3,2$

Lettre : F

3) Détermination du chiffre de sévérité thermique :

Type d'assemblage : bout à bout 2 chemins de dispersion de chaleur

Epaisseur des tôles : 10mm

TSN = 3,33 donc : 3

4) Détermination de la température de préchauffage :

TSN = 3

Indice : F

Température de préchauffage = 150°



LYCÉE HENRI DARRAS

Date :

Soudabilité métallurgique des aciers

Nom :

Courbe moyenne de soudabilité des aciers

Section :

Le coefficient de soudabilité dépend du pourcentage en carbone et des éléments d'addition contenus dans l'acier. Cette courbe variera en fonction des procédés de soudage.

