

Les diagrammes d'équilibres pour les aciers et les fontes

Ce sont des alliages fer-carbone. Dans le cas où il n'y a pas d'autres éléments d'alliage significatifs, on distingue les aciers et les fontes et parmi les fontes, les fontes blanches et les fontes grises.

Pour les fontes grises, on se réfère au diagramme stable fer-carbone. Pour les fontes blanches et les aciers, on se réfère au diagramme métastable fer-cémentite. En effet la cémentite Fe_3C peut se décomposer : $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3 \text{Fe} + \text{C}$. Les diagrammes sont souvent montrés superposés car lors du refroidissement d'une fonte à partir de l'état liquide, il y a souvent passage du diagramme stable au diagramme métastable dans le domaine comportant de l'austénite.

Pour les aciers alliés, les diagrammes d'équilibre sont déformés ce que l'on verra plus loin dans le chapitre.

1. Les aciers

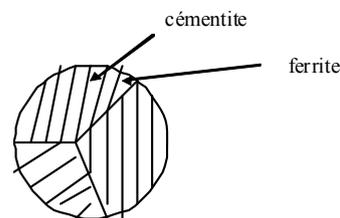
Ils peuvent être définis de plusieurs manières :

- Un acier est un alliage fer-cémentite comportant au plus 2,1 % de carbone en masse
- Un acier est un alliage fer-cémentite qui à température suffisante peut être entièrement austénisé
- Un acier est concerné par la transformation eutectoïde perlitique

Cette transformation est : γ à 0,8 % $\text{C}_m \Leftrightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$.

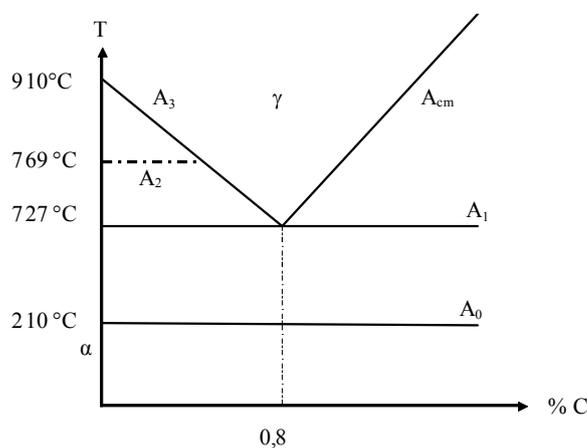
La perlite comporte donc $\% \alpha = \frac{6,7-0,8}{6,7-0} \times 100 = 88$ et $\% \text{Fe}_3\text{C} = 12$

Sa structure est lamellaire :



La distance inter-lamellaire Δ est de l'ordre de quelques μm . Elle diminue lorsque la vitesse de refroidissement augmente et la dureté augmente.

La partie de diagramme concernant les aciers a l'allure suivante :



On distingue les aciers hypoeutectoïdes à moins de 0,8 % de carbone, les aciers eutectoïdes à 0,8 % de carbone et les aciers hypereutectoïdes à plus de 0,8 % de carbone.

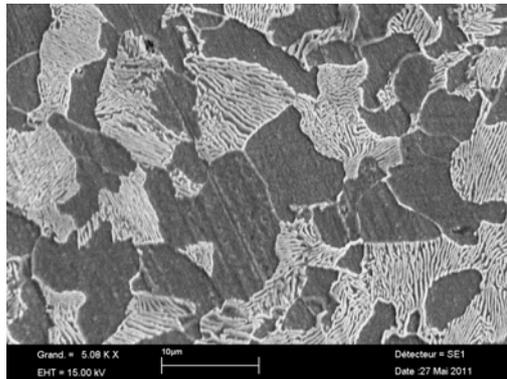
Au-delà des domaines α et γ , on note les lignes de température A_0, A_1, A_2, A_3 et A_{cm} . On peut distinguer pour chacune A_e, A_c et A_r correspondant à l'équilibre, au chauffage et au refroidissement. Evidemment, les températures sont telles que $A_c > A_e > A_r$.

- A_1 correspond à la transformation perlitique : $\alpha + Fe_3C \leftrightarrow \gamma$
- A_3 correspond à l'austénitisation totale pour les aciers hypoeutectoïdes
- A_{cm} correspond à l'austénitisation totale pour les aciers hypereutectoïdes
- A_0 et A_2 correspondent aux transformations magnétiques (ferromagnétiques \leftrightarrow paramagnétiques) de la cémentite et de la ferrite appelées température de Curie.

Exemple d'un acier hypoeutectoïde à 0,4 % de carbone :

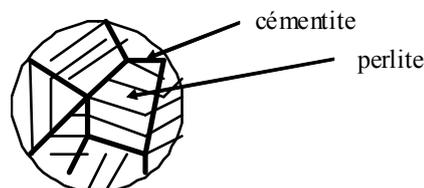
- ses constituants sont la ferrite α $\% \alpha = \frac{0,8-0,4}{0,8} \times 100 = 50$ et la perlite 50 %.
- Les phases sont la ferrite $\% \alpha = \frac{6,7-0,4}{6,7-0} \times 100 = 94$ et la cémentite $\% Fe_3C = 6$.

Sa structure micrographique a l'allure suivante :



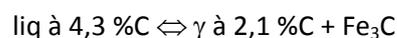
Exemple d'un acier hypereutectoïde à 1,2 % C :

- ses constituants sont la perlite et la cémentite, celle-ci se concentrant aux joints de grains. On a ainsi $\% perlite = \frac{6,7-1,2}{6,7-0,8} \times 100 = 93$ et donc 7 % de cémentite.
- Les phases sont la ferrite $\% \alpha = \frac{6,7-1,2}{6,7-0} \times 100 = 82$ et la cémentite 18 %.



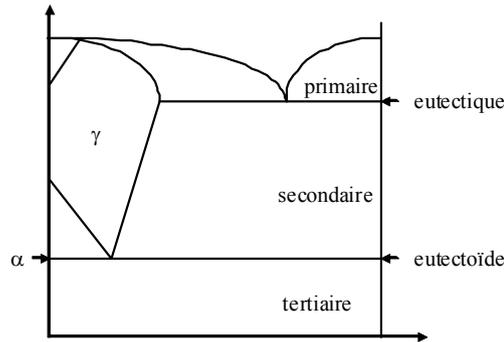
2. Les fontes blanches

Elles sont concernées par la transformation eutectique du diagramme métastable. Le pourcentage de carbone peut donc varier entre 2,1 et 6,7 % :



Ce constituant en se refroidissant est tel que l'austénite s'appauvrit en carbone jusqu'à un pourcentage de 0,8 % C et forme de la cémentite puis l'austénite à 0,8 % C se transforme en perlite.

Une fonte blanche est donc constituée de perlite et de cémentite à l'ambiante.



On peut distinguer différentes formes de cémentite. Successivement en refroidissant une fonte hyper eutectique, on observe de la cémentite primaire, puis eutectique, puis secondaire, puis eutectoïde et enfin un peu de cémentite tertiaire.

On obtient une fonte blanche par refroidissement pas trop lent et en présence de manganèse, élément non-graphitisant.

Exemple d'une fonte à 5 % C :

- A 1149 °C : liq à 4,3 % C et Fe₃C primaire $\%cémentite = \frac{5-4,3}{6,7-4,3} \times 100 = 29$
- A 1147 °C : γ à 2,1 % C et Fe₃C $\%cémentite = \frac{5-2,1}{6,7-2,1} \times 100 = 63$ donc il s'est formé $63 - 29 = 34$ % de cémentite eutectique.
- A 728 °C : γ à 0,8 % C et Fe₃C $\%cémentite = \frac{5-0,8}{6,7-0,8} \times 100 = 71$ soit $71 - 63 = 8$ % de cémentite secondaire.
- A 726 °C : ferrite à 0,025 % et Fe₃C $\%cémentite = \frac{5-0,025}{6,7-0,025} \times 100 = 74,5$ d'où $74,5 - 71 = 3,5$ % de cémentite eutectoïde.
- A l'ambiante, la conséquence de l'appauvrissement de la ferrite en carbone qui passe de 0,025 % à quasiment 0, entraîne l'apparition de 0,1 % de cémentite tertiaire. En effet, on a $\%cémentite = \frac{5-0}{6,7-0} \times 100 = 74,6$

3. Les fontes grises

A partir de l'état liquide, elles se refroidissent suivant le diagramme stable avec éventuellement une transition dans le diagramme métastable pendant le passage dans le domaine γ.

Le refroidissement est lent en présence de silicium, élément graphitisant.

La fonte à l'ambiante peut donc avoir les structures suivantes :

- Pas de transition : ferrite, carbone
- Transition pour γ compris entre 2,1 et 0,8 % de carbone : perlite, cémentite et carbone
- Transition pour γ à 0,8 % de carbone : perlite et carbone. La matrice est 100 % perlitique.
- Transition pour γ compris entre 0,8 et 0,69 % de carbone : ferrite, perlite et carbone.

Exemple d'une fonte à 4 % :

- Pas de transition : 96 % ferrite et 4 % carbone
- Transition pour γ à 1 % : $\%C = \frac{4-1}{100-1} \times 100 = 3$ et 97 % d'austénite qui vont donner $\%perlite = \frac{6,7-1}{6,7-0,8} \times 97 = 94$ et 3 % de cémentite
- Transition pour γ à 0,8 % : $\%C = \frac{4-0,8}{100-0,8} \times 100 = 3,2$ et 96,8 % de perlite
- Transition pour γ à 0,7 % : $\%C = \frac{4-0,7}{100-0,7} \times 100 = 3,3$ et 96,7 d'austénite qui vont donner $\%ferrite = \frac{0,8-0,7}{0,8} \times 96,7 = 12$ et 84,7 de perlite