



METALLURGIE

2

Document stagiaire :

« Inspecteur en Soudage »

LES TRAITEMENTS THERMIQUES

Introduction :

Les traitements thermiques sont des opérations de chauffage et de maintien, suivies d'un refroidissement, et qui ont pour but de donner à une pièce métallique les propriétés les plus convenables, pour son emploi ou sa mise en forme. Ils permettent d'améliorer dans une large mesure les propriétés de résistance et de réduire les défauts, en particulier la fragilité. Toute utilisation rationnelle d'un alliage implique, dans la plupart des cas, un traitement thermique approprié.

D'une manière générale, un traitement thermique ne modifie pas la composition chimique, mais apporte des modifications du point de vue :

- constitution (état du carbone, forme allotropique du fer) ;
- structure (taille du grain, répartition des constituants) ;
- état, de contraintes (à cause des gradients de température).

Les paramètres des traitements thermiques dépendent :

- du produit à traiter (composition chimique, forme et volume des pièces, état structural)
- de la qualité du produit que l'on veut obtenir en vue de l'application (propriétés, structure...)

A- le recuit :

Le caractère le plus frappant des aciers est celui d'être aptes à acquérir, grâce à des traitements thermiques variés, toute une gamme de propriétés très différentes. Les recuits amèneront les alliages en équilibre physicochimique et mécanique. Ils tendent à réaliser l'équilibre structural en faisant disparaître les états hors d'équilibre résultant des traitements thermiques et mécaniques antérieurs.

Le recuit correspond aux valeurs maximales des caractéristiques de ductilité (résilience et allongement) et aux valeurs minimales des caractéristiques de résistance (dureté, limite élastique, charge à la rupture). Le recuit a pour but de :

- diminuer la dureté d'un acier trempé.
- obtenir le maximum d'adoucissement pour faciliter l'usinage ou les traitements mécaniques.
- régénérer un métal écroui ou surchauffé.
- homogénéiser les textures hétérogènes.
- réduire les contraintes internes.

Le cycle thermique d'un recuit comprend :

- a) un chauffage jusqu'à une température dite de recuit qui dépend du type de recuit à réaliser.
- b) un maintien isotherme à la température de recuit ou des oscillations autour de cette température.
- c) un refroidissement très lent généralement à l'air calme. La vitesse de refroidissement doit être inférieure à la vitesse critique de recuit V_{cr} .

A-1 Recuit demandant des températures supérieures à Ac3

1- Recuit complet :

Il comporte un chauffage et un maintien vers (Ac3 à 50°C) suivis d'un refroidissement au four à de faibles degrés de surfusion afin d'assurer la décomposition de l'austénite et de relever à la formation de structures à grande dureté (martensite, bainite). Ce recuit s'effectue sur des pièces ayant subies des traitements thermiques et mécaniques variés afin de faciliter leur usinage ou leur déformation à froid.

2- Recuit d'homogénéisation (ou de diffusion) :

Ce recuit (voir figure) s'applique aux aciers bruts de coulée et aux aciers moulés dans le but d'affaiblir les effets de la ségrégation dendritique ou inter-cristalline (les éléments d'alliage et le carbone sont répartis de manière hétérogène à l'échelle du grain austénitique). Cette ségrégation diminue la plasticité et la ductilité d'un acier allié. Le chauffage du recuit d'homogénéisation doit être assez poussé (1100 à 1200°C) sans toutefois atteindre le domaine de surchauffe du métal qui provoque un grossissement indésirable des grains. Ce genre de recuit est souvent suivi d'un recuit complet ou de régénération pour affiner les grains et améliorer les propriétés mécaniques.

3- Recuit de régénération (ou d'affinage structural) :

Ce recuit est appliqué aux pièces qui ont souvent des structures surchauffées telles que :

- celles ayant subi un traitement d'homogénéisation par diffusion,
- les pièces moulées,
- les zones voisines des joints de soudure,
- les pièces forgées à haute température, etc. ...

Le recuit de régénération comprend :

- ~ Un chauffage sans maintien prolongé à une température légèrement supérieure à Ac3 de manière à obtenir une austénite à gr*Las fins.
- un refroidissement à une vitesse convenable conduisant à une structure ferrito - perlitique fine (cas des aciers hypo - eutectoïdes).

A-2 Recuit demandant des températures inférieures à Ac1

1- Recuit d'adoucissement :

C'est un recuit qui est réalisé à quelques dizaines de degrés en dessous de Ac1 (650 + 680°C) suivi d'un refroidissement lent afin d'obtenir un état suffisamment stable et, si possible exempt de contraintes. Ce traitement a pour but d'améliorer l'usinabilité ou l'aptitude à la déformation à froid. Pour les aciers hautement alliés, il est le seul traitement qui détruit les structures hors d'équilibre et qui réduit la dureté.

2- Recuit de coalescence (ou de globalisation)

Ce traitement est utilisé pour améliorer l'aptitude à déformation à froid de l'acier, et où on cherche en général à obtenir une structure globalisée de cémentite. Ce recuit a pour but d'améliorer l'usinabilité aciers en rendant possible l'application de grandes vitesses coupe et en assurant un très bon état de surface. Le cycle thermique comprend :

- un chauffage juste au-dessous d'Ac1;
- un maintien prolongé à cette température, **ou oscillation** autour;
- un refroidissement lent pour obtenir la coalescence de cémentite.

La figure montre le processus schématique de sphéroïdisation de la cémentite à partir d'une perlite lamellaire. Rappelons que la coalescence peut être obtenue aussi par un revenu à haute température d'une structure initialement martensitique.

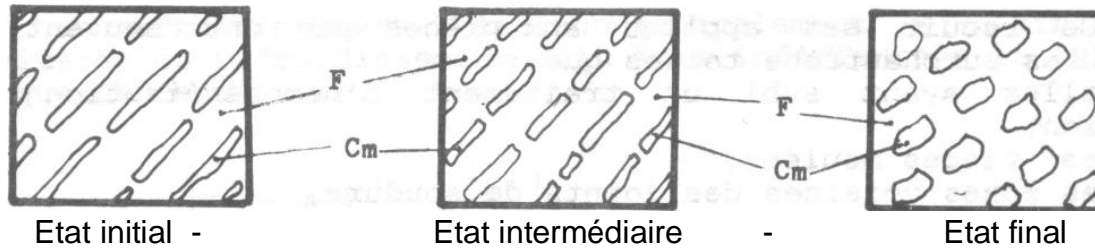


Figure : Schéma de coalescence de la cémentite.

3- Recuit de recristallisation :

Le travail à froid d'un métal par déformation plastique (laminage) conduit à un écrouissage. Une structure écrouie est caractérisée par une forte déformation orientée des grains et une grande densité de défauts cristallins. La structure devient fragile et s'accompagne d'un accroissement des propriétés de résistance et d'une réduction des propriétés plastiques. Ce recuit s'effectue dans la zone de recristallisation située au dessus d'une température qui dépend de la nuance de l'acier et de son degré d'écrouissage. Il y'a germination de nouveaux grains puis croissance jusqu'à contact mutuel.

4- Recuit de détente (ou de relaxation)

Ce recuit (voir figure ci-dessous) a pour but le relâchement plus ou moins complet des contraintes résiduelles dues au moulage, soudage, usinage. Il s'effectue généralement pendant 1 heure vers (600 à 650°C), mais souvent beaucoup plus bas pour les aciers alliés après déformation plastique à froid.

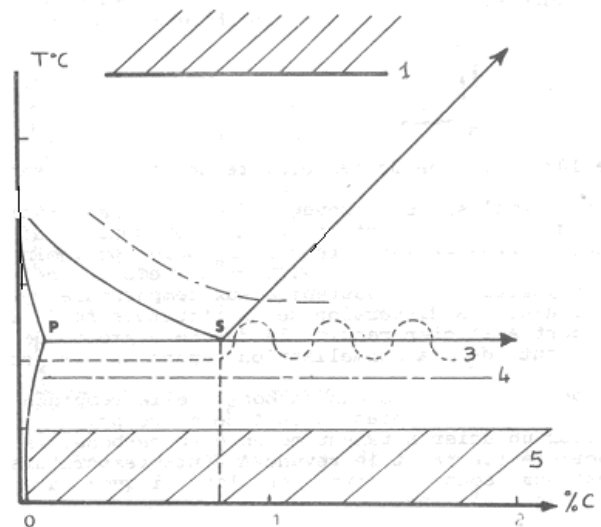


Figure :
Domaines de température
Des différents recuits

La figure, résume domaines de température des principaux recuits décrits

- 1 - recuit de diffusion,
- 2 - recuit de régénération, recuit complet
- 3 - recuit d'adoucissement, de coalescence
- 4 - recuit de recristallisation,
- 5 - recuit de détente

B- Normalisation :

- C'est un traitement qui comporte :
- un chauffage jusqu'au domaine austénitique (voir figure)
 - * $A_{c3} + 50^{\circ}\text{C}$ pour les aciers hypo - eutectoïdes
 - * $A_{cm} + 50^{\circ}\text{C}$ pour les aciers hyper - eutectoïdes
 - un maintien à cette température,
 - un refroidissement à l'air libre.

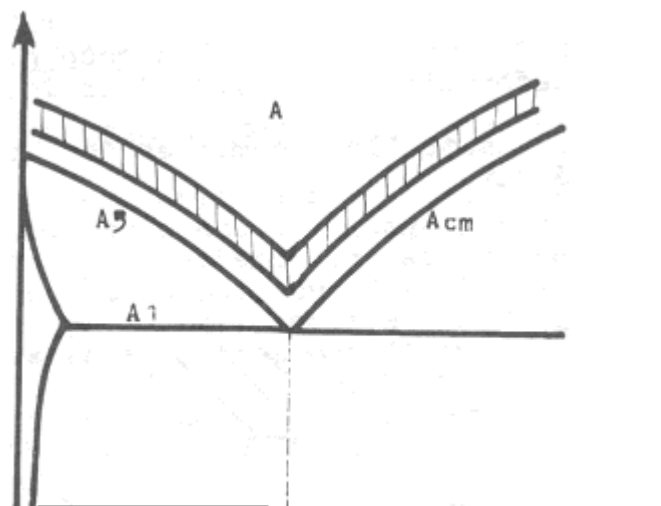


Figure : Domaine de température
De la normalisation.

La normalisation provoque deux fois la transformation de phases dans l'acier et elle assure donc l'affinage de la structure à gros grains obtenue par coulée ou laminage. Un refroidissement à l'air, relativement accéléré, conduit à la décomposition de l'austénite aux températures plus basses et augmente ainsi la dispersion de la structure ferrite - cémentite. Par rapport à l'acier recuit, la dureté augmente de 10 à 15%.

Le but de la normalisation dépend de la composition de l'acier :

- pour un acier à bas carbone, elle remplace le recuit et permet d'améliorer l'état de surface en coupe.
- pour un acier à teneur moyenne en carbone, la normalisation remplace la trempe et le revenu à haute température. Ainsi les déformations sont moindres et les risques d'apparition de fissures sont éliminés.

C-La trempe

C'est un traitement thermique qui consiste à chauffer l'acier au-dessus de Ac_3 ou Ac_1 et de le refroidir à une grande vitesse. Il permet de donner le maximum de dureté et le minimum de résilience grâce à l'obtention d'une structure martensitique. La trempe n'est pas un traitement thermique définitif. Pour diminuer la fragilité et les contraintes qu'elle produit et obtenir de bonnes propriétés

D -Le revenu

Le revenu est une opération finale de traitement thermique qui a pour but de corriger les défauts causés par la trempe d'un acier (contraintes internes et fragilité). Il consiste à chauffer l'acier trempé à une température inférieure à Ac_1 , à le maintenir à cette température et enfin à le refroidir jusqu'à la température ambiante. Le revenu provoque une évolution de la structure du matériau vers un état plus proche de l'état physicochimique d'équilibre, sans toutefois l'atteindre. Il permet d'avoir un compromis satisfaisant entre les propriétés de résistance (R_m , R_e , H) et de plasticité (A , Z et K). La vitesse de refroidissement après revenu a une influence très faible sur l'état des contraintes résiduelles. Néanmoins plus le refroidissement est lent, plus les contraintes résiduelles sont faibles.

On distingue

Du point de vue applications industrielles, trois types de revenu :

- Revenu à basse température : s'effectue avec un chauffage vers $250^{\circ}C$ et permet de diminuer les contraintes internes. Il transforme la martensite de trempe en martensite de revenu. Ce revenu augmente la résistance et améliore la ductilité sans altérer sensiblement la dureté, d'où une bonne tenue à l'usure. Il s'applique aux outils de coupe et aux instruments de mesure en aciers au carbone et faiblement alliés. La durée de ce revenu varie de 1 à 3 heures.

- Revenu à température intermédiaire : se réalise entre 350 et $500^{\circ}C$ et s'emploie pour les ressorts variés et les étampes. Il permet d'obtenir une limite élastique et une résistance à la fatigue élevées. La structure est de type troostite de revenu ou troostite - martensite dont les duretés varient de 40 à 50 HRC.

Le refroidissement après revenu à 400 ou 450°C se fait à l'eau, ce qui contribue à la formation en surface de contraintes de compression résiduelles qui élèvent la limite de fatigue des ressorts.

- **Revenu à haute température** : se fait entre 500 et 680°C. Il donne à l'acier la structure sorbite de revenu. Ce type de revenu crée un meilleur rapport entre la résistance et la ductilité de l'acier. La trempe suivie de revenu à haute température (ce traitement double est appelé amélioration) améliore par rapport à l'état normalisé ou recuit les limites de rupture et d'élasticité, la striction et surtout la résilience. L'amélioration est appliquée surtout aux aciers de construction à moyen carbone (0,3 à 0,5%).