**Chapitre VI : traitement thermique et traitement thermochimique**

**IV.I Introduction**

Un traitement thermique est une opération ou une succession d’opérations pendant laquelle (lesquelles) un alliage métallique, à l’état solide, est soumis à un ou plusieurs cycles thermiques. Les traitements thermiques ont pour but de donner à la pièce traitée les propriétés les plus convenables pour sa mise en œuvre et son emploi. D’une manière générale les traitements thermiques ne modifient pas la composition chimique mais apporte des modifications du point de vue constitution (état du carbone, forme allotropique), structure (taille de grain, répartition des constituants) et état de contrainte.

Un traitement thermique comporte obligatoirement :

1. Un chauffage ;

2. Un maintien pendant un temps à la température de traitement ;

3. Un refroidissement (retour à la température ambiante).



Figure IV.1 Cycles thermique d'un traitement

**IV.2 Traitement thermiques des aciers**

Les aciers ont un caractère le plus frappant est celui d’être aptes à acquérir, grâce à des

traitements thermiques variés, toutes une gamme de propriétés très différentes.

**IV.2.1 Trempe :** La trempe est un traitement thermique qui permet l’augmentation de la dureté, de la résistance à la rupture et de la tenue à l’usure, cependant elle fait diminuer la résilience etl’allongement avec l’apparition des tensions internes. Le cycle opératoire de la trempecomporte :

1. Un chauffage à une température d’austénisation ;

2. Un maintien à cette température pour une austénisation complète ;

3. Un refroidissement brusque (rapide) dans un milieu réfrigérant (eau, huile).

La température de chauffage est déterminée en fonction de la composition chimique de l’acier et de ses dimensions.



Figure IV.2 Température de trempe en fonction de la teneur en carbone

(domaine d'austénisation des aciers)

NB : la trempe n’est pas un traitement thermique final elle est suivie d’un revenu.

**IV.2.2 Revenu :** Le revenu est le traitement qui suit généralement la trempe. En effet, une piècetrempée est très dure et cassante (fragile). Le revenu permet alors de diminuer la fragilité de la pièce, tout en lui conservant sa dureté, et de réduire les tensions internes provoquées par le refroidissement rapide lors de la trempe. Le revenu permet donc de maintenir la dureté et d’augmenter la résistance aux chocs de la pièce qui a été trempée.

Ce traitement consiste à chauffer la pièce à des températures plus basses que celles de

la trempe. Le cycle opératoire du revenu est comme suite :

1. Chauffage à une température 𝑇 ∈ [250,680°𝐶] ;

2. Maintien à cette température ;

3. Refroidissement (la vitesse de refroidissement n’a aucune influence sur la structure du métal).

**IV.2.2.1 types de revenu**

**-Revenu à basses températures :** température voisine à 250 °C, ce type de revenu est utilisé pour diminuer les contraintes internes, augmenter la résistance et améliorer la ductilité, cependant la dureté n’est pas altérée. Il est appliqué aux outils de coupe, aux instruments de mesure en acier au carbone et faiblement alliés.

**-Revenu à températures intermédiaires :** effectué aux températures comprises entre 350 et 500°C avec un refroidissement à l’eau, il permet d’augmenter la limite élastique et la résistance à la fatigue. Il est appliqué aux aciers à ressorts.

**-Revenu à haute température :** effectué aux températures comprises entre 500 et 680°C, appliqué aux aciers de construction, il crée le meilleur compromis entre la résistance et la ductilité (plasticité).

Une trempe suivi d’un revenu à haute température est appelé traitement d’amélioration.

**IV.2.3 Recuit :** Le recuit est un traitement qui a tendance à rapprocher l’acier de son état d’équilibre sur le plan physico-chimique. Il a pour but de réduire les contraintes internes dans le métal. Ces contraintes peuvent provenir d’un laminage, d’un étirage, d’un soudage ou d’un autre traitement thermique (trempe, revenu). Le recuit permet de rendre l’acier plus mou, donc plus facile à usiner. Le cycle opératoire du recuit comprend les étapes suivantes :

1. Chauffage jusqu’à une température dite de recuit (qui dépend du type de recuit) ;

2. Maintien isotherme à la température de recuit ou à des oscillations autour de cette température ;

3. Un refroidissement très lent (à l’air calme).

**IV.2.3.1 Types de recuit**

Selon le but recherché, il existe différents types de recuit qui se distingue par leurs températures de chauffage et de maintien (figure IV.3)



Figure IV.3 température de chauffage des différents types de recuit

**Recuit d’homogénéisation :** dit aussi de diffusion, il est appliqué aux aciers de coulée

(moulage), pour lesquels le refroidissement a entrainé l’hétérogénéité chimique.

**Recuit de recristallisation :** il consiste à reformer les cristaux ou les grains du métal déformé.

il est appliqué aux pièces déformées à froid et il élimine l’écrouissage.

**Recuit de détente :** dit aussi recuit de stabilisation, il est appliqué aux pièces forgées, il fait disparaitre les tensions internes

**Recuit d’adoucissement :** dit aussi recuit complet, il s’applique pièces traitées thermiquement, il détruit les effets des traitements thermiques antérieurs, il provoque une structure favorable pour l’usinage ou la déformation à froid.

**Recuit de régénération :** dit aussi recuit d’affinage, il affine les grains du métal et s’applique

aux pièces forgées.

**IV.3 Traitement thermochimiques**

On entend par traitements thermochimiques, la saturation superficielle de l’acier par

un élément chimique (C, N, Al, Cr…). Cette saturation se produit par diffusion à l’état

atomique à partir d’un milieu extérieur porté à une température convenablement choisie. Le

traitement thermochimique consiste à chauffer les pièces, dans un milieu solide, liquide ou

gazeux, capable de lui céder l’élément diffusant, à les maintenir à cette température, puis à les

refroidir. Ce traitement permet de changer la structure de l’acier et la composition chimique

des couches superficielles, ce qui entraine une large variation des propriétés.

La vitesse de diffusion des atomes diffusants dans le fer n’est pas la même. La vitesse de saturation en atomes d’insertion (C et N) est plus rapide que celle en atomes de substitution (métaux) ; c’est pourquoi les températures dans ce dernier cas doivent être plus élevées.

**IV.3.1 Cémentation**

La cémentation est une opération de durcissement par accroissement de la teneur en carbone suivie de trempe. Le but principal consiste à obtenir à partir d’un acier doux (0.1 à 0.2)% de carbone, une couche superficielle plus ou moins profonde à structure quasi-eutectique (0.8 à 0.9)% de carbone en chauffant les pièces dans un milieu capable de leur fournir du carbone, appelé cément

La diffusion du carbone vers l’intérieur des pièces est possible à l’état atomique, la cémentation s’obtient suite à une réaction chimique dans le cément qui donne le carbone actif ou bien suite à une diffusion de ce carbone dans l’acier porté à des températures comprises entre 920 et 950°C.

Il faut noter qu’une concentration en carbone dépassant 1.1% de carbone dégrade les propriétés mécaniques des pièces cémentées.

**IV.3.2 Nitruration**

La nitruration est un procédé de durcissement superficiel à l’azote, appliquée à certains aciers et certain fontes (contenant jusqu’à 1.5% Al, 2% Cr, 2% Ni et 0.5% Mo). L’agent durcissant donne au-dessus de 500°C, le nitrure de fer qui est un corps très dur, mais fragile.

On utilise comme agent de nitruration le gaz ammoniac, qui doit baigner les pièces qui sont chauffées à 550°C. Au contact du fer, le gaz ammoniac se dissocie en azote et hydrogène. Une partie de l’azote est absorbée par le métal tandis que les gaz H2, NH3 et N2 en excès sont évacués. La dureté de la couche nitrurée est obtenue sans trempe.

La pénétration de l’azote dans les aciers est plus rapide que celle du carbone à la température 550°C. L’addition de chrome et d’aluminium dans l’acier permet la création de nitrure d’aluminium et de chrome qui augmentent la dureté des pièces nitrurées.

Les fontes à nitrurer subissent, avant la nitruration, une trempe et revenu pour leur donner une structure dure et tenace.

La nitruration n’est suivie d’aucun traitement thermique, ce qui permet d’éviter toute oxydation du métal et toute déformation des pièces, elle présente des avantages sur la cémentation tels qu’une dureté plus grande (1100 HV au lieu de 800 HV), qui se conserve jusqu’à 500°C, alors que la dureté d’une couche cémentée chute à partir de 200°C. La nitruration donne aussi le maximum de résistance à l’usure et une certaine résistance à la corrosion. Par contre la nitruration revient plus chère que la cémentation

**IV.3.3 Carbonitruration**

La carbonitruration est un procédé de durcissement superficiel des pièces en acier que l’on chauffe dans une atmosphère gazeuse (CO + N2 + C3H8), permettant au métal d’absorber simultanément du carbone et de l’azote. Ce traitement est suivi d’une trempe. Ce procédé est donc un compromis entre la cémentation et la nitruration. Le durcissement provient surtout de la cémentation par carburation de la couche superficielle des pièces. Le rôle de l’azote est surtout d’abaisser le point de transformation Ac3. C’est pourquoi la température de chauffage lors de la trempe est moins élevée (700 à 850°C) que pour la cémentation.

Une trempe peu énergique, généralement à l’huile au à l’air, est effectuée soit à la sortie des pièces du four après refroidissement, soit après un deuxième chauffage. On recourt par la suite à un revenu à basse température (180°C). La dureté obtenue est de l’ordre de 62 HRC. Une épaisseur cémentée de 0,5 à 0,7 mm demande environ 3 heures de traitement. La couche carbonitrurée doit avoir une structure martensitique à grains fins, une faible quantité de carbonitrures et environ 20 à 30 % d’austénite résiduelle.

La carbonitruration gazeuse est généralement appliquée aux pièces de formes complexes. C’est un traitement qui est de plus en plus adopté par les industries de mécanique de précision : pièces pour automobiles, avions, métrologie, etc…