

## Partie 12

Intitulé du Cours en ligne :  
**Traitement thermique (T.T)**

Destiné aux Etudiants du Master I

Domaine : Sciences et Technologie

Filière: Génie mécanique

Spécialité: Génie des Matériaux

Présenté par :

Dr. HABIBI Samir

# Traitement thermique (T.T)

## Sommaire

Partie 1. Concept de traitement thermique (Définition, Objectifs, Paramètres clés liés au T.T)

Partie 2. Propriétés des matériaux

Partie 3. Différents types de fours et les traitements associés

Partie 4. Défauts des pièces et mesures à prendre lors du traitement thermique

Partie 5. Classification des catégories des T.T

Partie 6. Traitement thermique dans la masse

- 6.1 Procédé thermique par la Trempe

- 6.2 Procédé thermique par le Recuit

- 6.3 Procédé thermique par le Revenu

Partie 7. Traitement thermique superficiel

- 7.1 Chauffage oxyacétylène (OA)

- 7.2 Chauffage par induction

- 7.3 Techniques haute énergie

Partie 8. Traitement thermochimique de diffusion

- 8.1 La cémentation

- 8.2 La nitruration,

- 8.3 La carbonitruration

- 8.4 La chromisation

Partie 9. Etude du diagramme temps-température- taux de transformation

Partie 10. Observations micrographiques et caractéristiques physiques et mécaniques

Partie 11. Analyse des trois types de traitement thermique appliqués aux aciers

**Partie 12. Prédire et prévoir le comportement du matériau (acier) sous l'effet du T.T**

## Partie 12. Prédire et prévoir le comportement du matériau (acier) sous l'effet du T.T

Les modifications structurales au cours de revenu ont des conséquences importantes sur les propriétés mécaniques. La variété des structures obtenues explique que le revenu constitue un moyen efficace et très souple pour obtenir un ensemble de propriétés ajustées aux exigences de fonctionnement et il faut envisager des interférences possibles pour expliquer finalement les variations des propriétés obtenues.

La composition chimique de l'acier est un facteur intrinsèque qui doit être connu avec une très grande précision pour pouvoir prédire et prévoir son comportement sous l'effet de revenu.

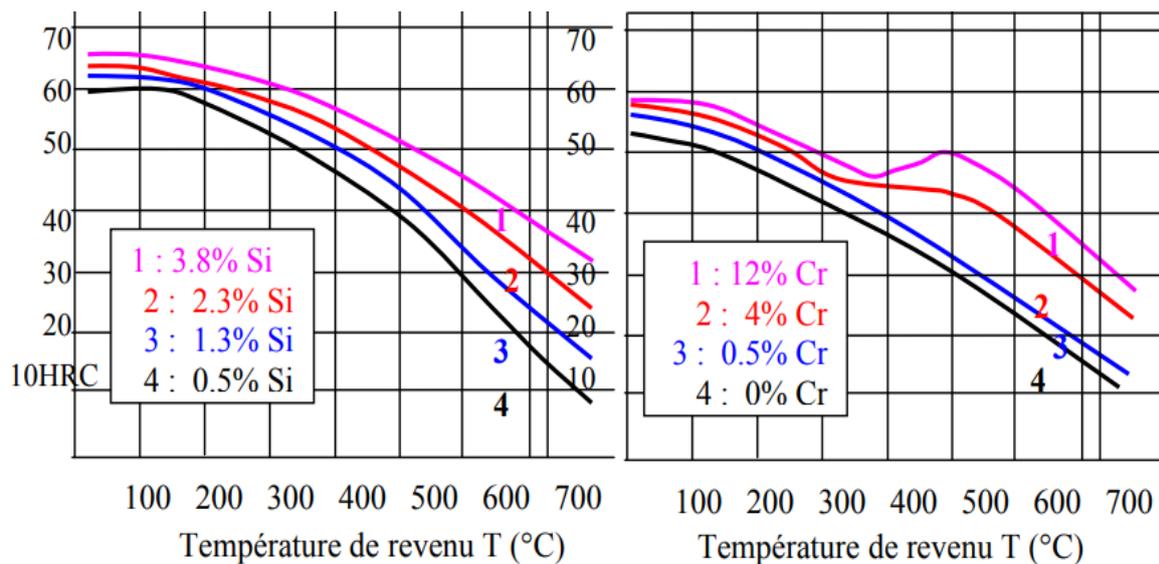


Fig. 21. Influence de composition chimique sur le comportement de l'acier ayant subi une T.T.

Pour chaque température, la courbe caractéristique est marquée par une baisse notable de la dureté pendant quelques minutes suivie ensuite d'une diminution progressive mais très lente.

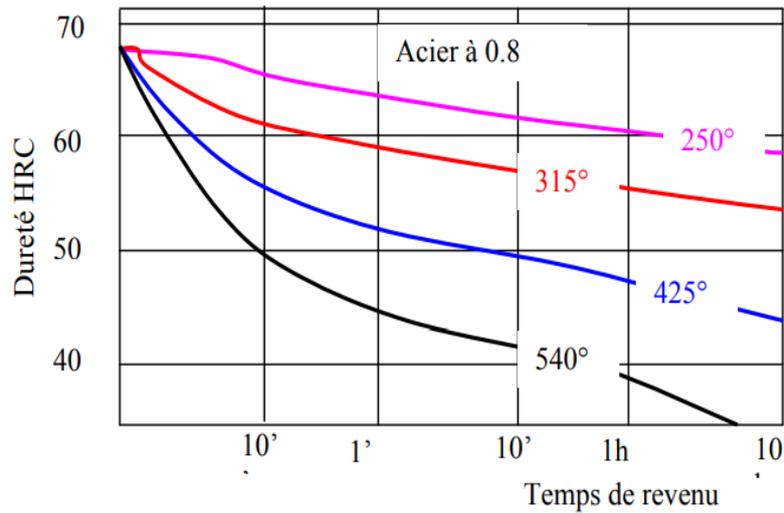


Fig. 22. Variation de la dureté en fonction du temps de maintien pour quatre températures de revenu de l'acier à 0.8%C.

Il s'avère donc que le revenu est un traitement qui a une influence sur les propriétés mécaniques des aciers. La variation de ces dernières présente une allure qui se répète dans toutes nuances d'aciers (figure VI.4)

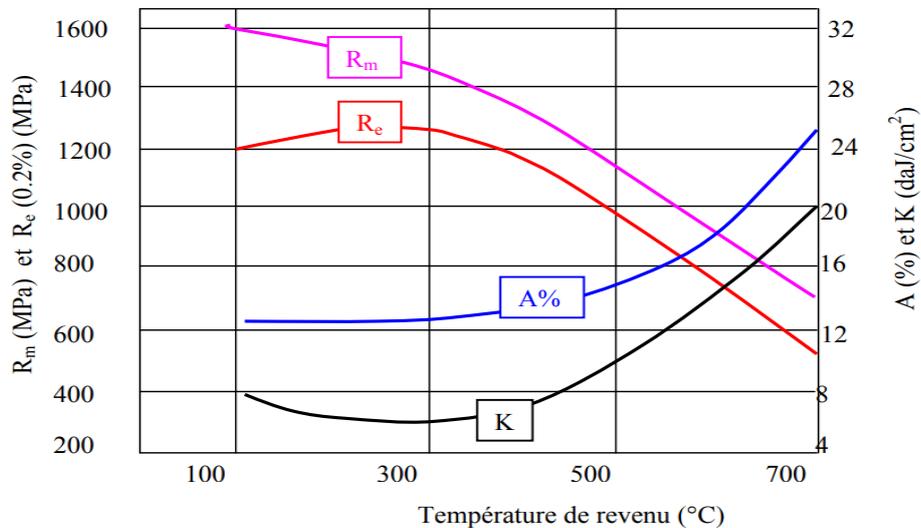


Fig. 23. Variation des propriétés mécaniques en fonction de la température de revenu de l'acier 25CrMo4.

Le revenu est un cycle thermique que subit la pièce, consistant en un chauffage entre 200° et 600°, puis d'un maintien à température suivi d'un refroidissement lent.

## 12.1 Cas des alliages d'aluminium

Certains alliages d'aluminium présentent un durcissement par formation de précipités avec des éléments d'alliage :Al<sub>2</sub>Cu pour les alliages contenant du cuivre, Mg<sub>2</sub>Si pour les alliages contenant du magnésium et du silicium, etc. Ce phénomène est appelé durcissement structural.

Avec l'élévation de température, vers 500 °C, ces précipités se dissolvent, c'est la mise en solution. La trempe empêche la reformation des précipités. À l'inverse des aciers, la trempe a donc pour conséquence un adoucissement de l'alliage.

### **Le revenu (tempering)**

Le revenu se pratique après une trempe, pour réduire les contraintes internes créées durant celle-ci. Le revenu doit être fait dans les 4 heures après le traitement thermique. Le revenu permet d'améliorer la résistance mécanique des pièces traitées, de rétablir les valeurs de résilience et de rendre l'acier moins fragile, plus ductile. La dureté diminue également quelque peu (Dissolution de certains composés fragiles tels que les carbures favorisées).

La méthode consiste à chauffer la pièce à une température inférieure à celle d'austénitisation, température déterminée en fonction du type de matériau, et de refroidir cette pièce très lentement.

Remarque :

L'utilisation d'un four à vide permet à la matière de rester pure et d'éviter une décarburation en surface ce qui fragilise l'acier en diminuant la teneur en carbone.

## **II.2 Le recuit complet**

« Ce traitement consiste à chauffer l'acier à une température appropriée et à traverser ensuite le domaine de transformation par un refroidissement lent effectué de préférence dans le four ou toute autre installation bien isolée thermiquement. Le refroidissement lent se poursuit généralement aux basses températures. Le but du recuit peut être d'affiner le grain, d'adoucir l'alliage, d'améliorer l'usinabilité. <sup>6</sup>»

Le recuit se fait après un traitement mécanique, une opération de soudage, etc. afin de rendre plus homogène le matériau et lui rendre une partie de ses propriétés antérieures. Pour les aciers, on distingue deux types de recuits :

Soit on chauffe jusqu'à austénitisation totale de la pièce mais sans laisser les grains trop grossir, puis on laisse refroidir lentement, ce qui lui fait retrouver ses anciennes propriétés ; on « rejoue » en quelque sorte la solidification, les grains de ferrite et de cémentite sont recréés à partir de l'austénite ;

Soit on chauffe en dessous de la température d'austénitisation, juste pour activer la mobilité des atomes.

Le recuit permet aussi de diminuer la densité de dislocation résultante de la déformation plastique subie par le matériau lors du traitement mécanique. En augmentant la température, on augmente la diffusion des atomes et donc la mobilité des dislocations qui peuvent ainsi se combiner et disparaître. Deux phénomènes peuvent alors se produire : un adoucissement, aussi appelé restauration, qui correspond à une diminution simple de la densité de dislocation ou une recristallisation lorsque la densité de dislocation présente dépasse un seuil critique.

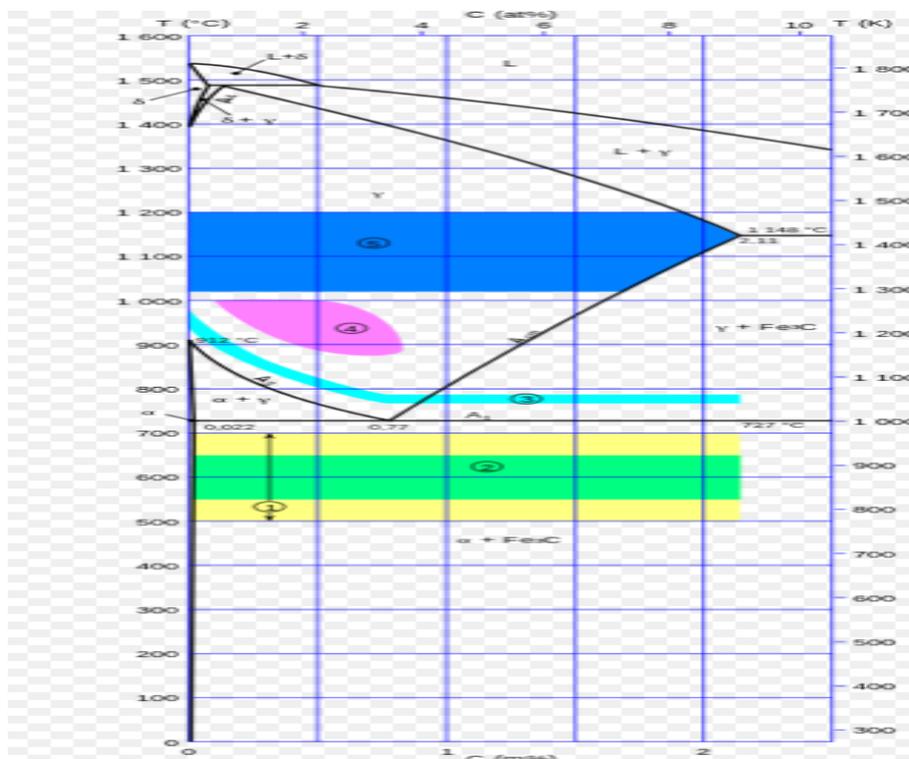


Fig. 24. Température de traitement thermique des aciers.

Température de traitement thermique des aciers en fonction de la teneur en carbone

Les numéros en cercle de 1 à 6 sont expliqués selon le mode thermique comme suit :

1. recuit de recristallisation ;
2. recuit de détensionnement ;
3. température d'austénitisation (trempe) ;
4. recuit complet ;
5. recuit d'homogénéisation

### **12.3 La maturation**

La maturation est un chauffage modéré. Son but est de donner de la mobilité aux atomes pour leur permettre de former des précipités. On utilise parfois le terme « vieillissement », traduction littérale du terme anglais ageing.

Le but de la maturation est de provoquer un durcissement structural. Il est utilisé sur les aciers à haute limite élastique dits « maraging », et sur certains alliages d'aluminium.

### **12.4 Courbes de refroidissement**

Pour aider les métallurgistes et concepteurs à la réalisation de pièces destinées à la trempe, il existe des abaques de refroidissement qui permettent de savoir en fonction de la teneur en carbone, du temps et du type de refroidissement (huile, eau...), de connaître les constituants métallographiques présent lors de la transformation, et une fois la pièce froide, ce qui permet de s'assurer que les caractéristiques obtenues correspondent à celles recherchées. Il existe deux types de courbes de refroidissement:

Les courbes obtenues en refroidissement continu, ou diagrammes TRC ;

Les courbes obtenues avec des paliers isothermes, ou diagrammes TTT.

### **12.5 Les technologies de mise en température et de traitement**

Les mises en température sont effectuées dans des fours le plus souvent à atmosphère contrôlée ou à bain de sel.

Les atmosphères contrôlées permettent soit de protéger le matériau, contre l'oxydation par exemple, soit d'apporter une couche supplémentaire au matériau (par exemple, du carbone ou de l'azote pour l'acier pour améliorer les caractéristiques mécaniques externes).

Les systèmes de fabrication d'atmosphère sont appelés générateurs qui peuvent être exothermiques ou endothermiques. Les générateurs exothermiques sont constitués de brûleurs qui appauvrissent en oxygène l'atmosphère du four et évitent ainsi l'oxydation du matériau. Les générateurs endothermiques sont des systèmes qui produisent des atmosphères actives (par exemple du monoxyde de carbone fixant du carbone sur l'acier). Ces atmosphères, actives ou passives, présentent des risques importants (intoxication au monoxyde de carbone, explosion en cas d'utilisation d'hydrogène)<sup>7</sup>. Les risques liés à l'utilisation de ces techniques sont considérablement réduits par l'utilisation de fours à basse pression (dits « fours à vide ») qui nécessitent peu de quantités de gaz d'atmosphère.

Les fours à bain de sels permettent une autre technique d'apport de molécules actives en surface du matériau, par contact avec un liquide. Par exemple, les bains de cyanure permettent d'apporter des atomes d'azote pour effectuer une nitruration<sup>8</sup>. Les fours à basse pression remplacent avantageusement les bains de sels de ce type en permettant un apport d'azote sous forme gazeuse et en faible quantité, ce qui est beaucoup moins dangereux que l'emploi des composés azotés liquides à base de cyanure.

En guise de conclusion.

### Les avantages et les inconvénients des traitements thermiques

Le traitement thermique a pour but de changer les propriétés mécaniques, physiques, et parfois chimiques d'un matériau. Ces changements s'effectuent dans des fours avec une atmosphère gazeuse contrôlée, sans humidité (eau) ou oxygène, et en suivant des cycles contrôlés de variation de pressions et températures élevées (chauffage suivi par un refroidissement rapide).

## Les avantages des traitements thermiques

L'avantage est de conférer aux métaux, tels que les aciers et autres alliages métalliques, de nouvelles caractéristiques, comme une meilleure résistance à la corrosion, une augmentation de la dureté, une stabilité dimensionnelle, un état de finition superficielle de qualité (brillance) ou une augmentation de la résistance à l'oxydation dans le temps. Les pièces ainsi traitées gagnent en fonctionnalité et deviennent ainsi des pièces à valeur ajoutée importante.

## Les inconvénients des traitements thermiques

Si le traitement thermique est mal appliqué, les pièces deviennent des rebuts difficilement réutilisables : surface noircie et oxydée dû à la présence de vapeur d'eau dans le four, modification non souhaitée de la composition (décarburation superficielle), variation de dureté non homogène sur la surface, pénétration du traitement variable selon la géométrie de la pièce, etc. L'entretien du four et du réseau de distribution des gaz est indispensable pour garantir un résultat final conforme aux attentes, et pour assurer la sécurité des opérateurs.

## Références

[1] Jean-Marie Georges, Frottement, usure et lubrification: tribologie ou science des surfaces, Paris, Eyrolles, 2000, 424 p. (ISBN 2-212-05823-3).

[2] <https://www.unifonds.fr/fabrication/traitement-thermique/>

[3] Dominique Ghiglione, Claude Leroux et Christian Tournier, « Pratique des traitements thermochimiques », Éditions techniques de l'ingénieur, traité Matériaux métalliques.

[4] [<https://bruval.ch/fr/construction-mecanique/traitement-thermique/>]

[5] Michel Dupeux, « Aide-mémoire de science des matériaux », Dunod, 2005.

[6] Sidney H. Avner, Introduction à la métallurgie physique, Centre collégial de développement de matériel didactique, p. 281.

[7] R. Fayolle et B. Courtois, Ateliers de traitement thermique — Hygiène et sécurité, INRS, 2001.

[8] J. Barralis et G. Maeder, Précis de métallurgie — Élaboration, structures-propriétés et normalisation, Nathan/Afnor, 1991 (ISBN 2-09-194017-8), p. 70-104, 125-127.