

Partie 10

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 10. Observations micrographiques et caractéristiques physiques et mécaniques

Dans les métaux, les atomes sont organisés sous la forme de cristaux : ils forment une structure ordonnée. Des atomes étrangers — impuretés, éléments d'alliage — peuvent s'introduire dans ce réseau, soit en substitution des atomes « de base », soit en insertion, c'est la notion de solution solide.

Par ailleurs, il peut y avoir des cristaux de plusieurs types, comme des inclusions par exemple. Les cristaux minoritaires sont appelés « précipités ».

Avec l'élévation de la température, les atomes du cristal s'agitent autour de leur position et s'écartent les uns des autres, provoquant la dilatation. Cela a plusieurs conséquences :

L'espace entre les atomes augmente, ce qui permet d'accueillir plus d'atomes en solution d'insertion, et des atomes plus gros ;

Par conséquent, on peut avoir une dissolution des précipités : les atomes de ces cristaux passent en solution solide ;

Les atomes s'agitant, ils deviennent mobiles et peuvent se déplacer dans le cristal, phénomène appelé diffusion ;

Dans certains cas, les atomes du cristal se réorganisent en une autre phase cristallographique, on parle d'allotropie.

Ce sont ces mécanismes qui entrent en jeu lors des traitements thermiques.

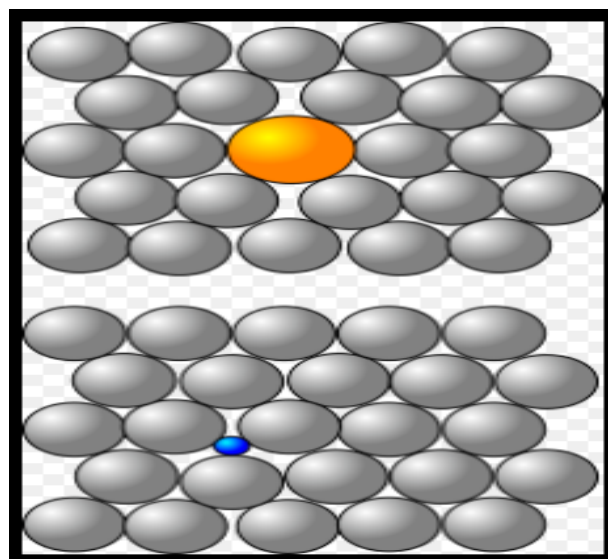


Fig. 12. Solution solide de substitution (haut) et d'insertion (bas) dans un cristal.

10.1 Cas des matériaux ductiles

Un matériau ductile est un matériau pouvant se déformer plastiquement ; ceci est utilisé pour la mise en forme (laminage, tréfilage, forgeage, etc.). Cette déformation provoque des défauts d'organisation des atomes dans le cristal, ce qui durcit la matière : ce phénomène est l'écrouissage.

Si l'on chauffe de manière modérée le métal, on donne de la mobilité aux atomes, ils se réorganisent et éliminent les défauts d'organisation. On adoucit ainsi la matière. Ce procédé est appelé recuit.

10.2 Cas des précipités

Les précipités ont pour effet de durcir la matière, ce que l'on nomme le durcissement structural. Lorsque l'on chauffe suffisamment le métal, les précipités se dissolvent, cette phase est appelée « mise en solution ». Si l'on laisse le métal se refroidir lentement, les précipités se reforment. Par contre, si l'on refroidit rapidement — trempe —, alors les atomes n'ont pas le temps de bouger pour reformer les précipités, ils restent en solution. Une fois à température ambiante, les atomes n'ont plus assez de mobilité pour former les précipités.

Si l'on chauffe modérément le métal, on redonne de la mobilité aux atomes et l'on reforme des précipités. Ce procédé, appelé maturation, est utilisé pour les alliages d'aluminium et pour les aciers à haute limite élastique.

10.3 Cas des transformations allotropiques

Pour certains métaux, l'organisation des atomes change au-dessus d'une certaine température. Si l'on refroidit rapidement par une trempe, alors les atomes n'ont pas le temps de bouger pour reprendre leur structure à basse température. Cela peut produire des effets divers selon l'alliage. On peut jouer sur la vitesse de refroidissement pour laisser les atomes se réorganiser partiellement.

La trempe s'effectue après une mise en solution de certains composés : Il s'agit de maintenir le matériau à tremper à une température suffisante et suffisamment

longtemps. On plonge ensuite la pièce dans un liquide (bain d'huile, eau, plomb fondu, etc) ou on le refroidit avec un gaz (azote, air, etc.).

10.4 Le cas de traitement thermique des aciers

Les traitements thermochimiques à température élevée permettent de renforcer la partie externe d'une pièce et d'obtenir de meilleures propriétés de surface. Quasiment toutes les pièces en acier utilisées dans la vie courante ont subi un traitement de durcissement ou de fonctionnalisation de surface.

La dureté et la résistance à la corrosion et à l'usure d'un acier dépendent principalement :

- de sa teneur en carbone, de sa composition chimique (acier faiblement allié, si la présence d'éléments d'alliage tel que nickel, chrome, molybdène vanadium est inférieure à 5 %, ou fortement allié si supérieure),
- et de sa structure cristalline.

Dans le secteur de l'acier, le traitement thermique est crucial à la fois dans la phase de transformation primaire des matières premières sous la forme de brames, billettes, lingots et dans la phase de transformation secondaire de l'acier en produits finis (par ex. les pièces cémentées pour les mécanismes automobiles), utilisés dans de nombreux secteurs industriels.

Le suivi et le contrôle des températures de l'acier au cours de ces deux phases sont cruciaux pour assurer la qualité du produit, l'efficacité des process, la productivité et le rendement.

Dans un tel contexte, le profilage des températures n'est bien évidemment pas des plus faciles, mais il y a certaines exigences pour concevoir une gamme de solutions techniques uniques, innovantes et adaptées à chaque utilisation.

10.4.1 Agir sur la dureté des aciers

Indépendamment du type d'acier, les traitements thermochimiques à température élevée permettent de renforcer la partie externe d'une pièce et d'obtenir de meilleures

propriétés de surface par rapport aux propriétés à cœur. Ils agissent exclusivement sur la structure physico-chimique des couches superficielles de la pièce métallique en l'enrichissant en carbone ou en azote. Ils améliorent les phases cristallines et structurales sans modifier la partie interne de la pièce.

Un traitement thermochimique tel que la nitruration ou la cémentation, apporte les différents éléments d'alliage (carbone et azote atomiques) à travers le gaz : la pièce est chauffée dans une atmosphère réactive riche en carbone (C) et azote (N_2). Pendant la phase de maintien en température, les composants atomiques C et N_2 diffusent dans les premières couches de l'acier (1mm maxi) et créent une couche métallique avec des caractéristiques chimiques différentes du métal de base. Une trempe rapide est souvent réalisée pour refroidir et figer les atomes dans la matière et obtenir la composition structurale souhaitée. L'effet du refroidissement rapide peut générer des fragilités caractéristiques dans le matériel, un processus de revenu en atmosphère neutre et à température inférieure est donc appliqué pour éliminer ces contraintes internes non souhaitées.

A l'état normal, les atomes de fer et de carbone qui constituent l'acier ont une forme cubique. Lorsque l'on porte l'acier à une température élevée, il obtient une nouvelle structure dite « austénitique », dont les atomes de fer et de carbone ont une forme cubique à faces centrées. Par la suite, le refroidissement, permet d'obtenir une nouvelle structure moléculaire, l'acier devenant ainsi de la martensite ou de la bainite, selon la vitesse de refroidissement.

Dans le bain de refroidissement, il faut réguler minutieusement la température, car elle a un impact sur la structure du matériau et donc sur sa dureté. On peut ainsi générer de l'austénite ou de la martensite. La martensite plongée pendant quelques heures ou jours dans un bain à une certaine température peut aussi devenir de bainite. Dans ce cas de figure, la dureté est équivalente à celle de la martensite, mais possède une ténacité supérieure.

Au final, le traitement thermique d'un acier aboutit sur différents composants : martensite, austénite ou bainite. Chacun a ses propres caractéristiques en matière de résistance et de dureté.

Une trop grande dureté rend le matériau fragile et en général on fait une opération de stabilisation à température modérée pour supprimer cette fragilité.



Fig. 13. les traitements thermiques d'un acier.

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 autre 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.