

Traitement thermique

Comment améliorer, changer les caractéristiques d'un matériau ? Une possibilité : par la technique dite du traitement thermique !

Comme le suggère cette introduction, il y a plusieurs voies pour améliorer les caractéristiques d'un matériau, par exemple : en tapant dessus ! Cela peut marcher pour beaucoup de matériau contrairement aux êtres vivants, bien que certains soient encore persuadés du contraire ☹️. Autre possibilité, recouvrir (enrober) le matériau d'une couche protectrice, par exemple de la peinture, de huile, etc. Bref il y a plusieurs autres voies, mais pour aujourd'hui nous nous contenterons des traitements thermiques.

Pour ne pas rendre cet exposé rébarbatif, le sujet l'est déjà pour lui-même ☹️, je ne vous parlerais pas avec des noms sophistiqués (voire indigestes) ou des explications avec des courbes improbables. Il ne sera abordé que trois sujets : avantages, inconvénients et pourquoi faire des traitements thermiques ? Souvenez-vous que derrière les aspects très techniques et scientifiques, c'est encore le royaume de l'empirisme, des tâtonnements et des essais. Les métallurgistes et les physiciens sont encore très loin de bien comprendre tous les phénomènes en jeu.

Traitement thermique

Comme le nom même de cette technique le suggère, on fait subir au matériau une variation de température selon un processus défini. Avant d'aller plus avant dans cette découverte plusieurs points à préciser :

1.- Généralement un traitement thermique sous-entend une montée en température. C'est vrai, mais il est possible de refroidir le matériau pour obtenir des résultats. Malgré cela je ne parlerais pas de traitements thermique de cryogénéisation, ceci pour 2 raisons. Ce sont des techniques encore marginales, pour autant que je sache, et les résultats sont moins reproductibles que les cas de traitement en chauffant.

2.- Tous les matériaux ne réagissent pas pareil à un même traitement thermique. Si vous devez retenir une chose de cet article c'est cela ! Certains matériaux n'auront pas de changement de leurs caractéristiques après avoir subi un traitement thermique alors que d'autres voient leurs caractéristiques fluctuer très fortement. Par exemple un traitement thermique peut affaiblir un matériau, ce même traitement peut durcir un autre matériau alors qu'un troisième matériau ne présentera pas de changement de caractéristiques !

3.- Pensez toujours que le temps fait évoluer les matériaux et que très peu (pas?) reste "inerte" face à l'écoulement du temps, c'est une question d'échelle. L'environnement interagit toujours avec votre matériau même si vous cherchez à l'isoler. Exemple : [l'étalon de poids du système international](#)

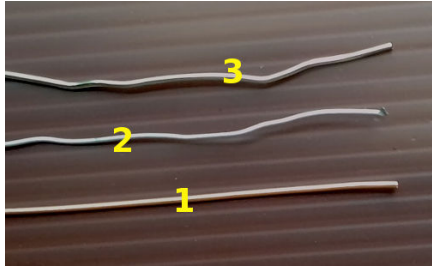
Donc pour résumé et poser directement le contexte, **un traitement thermique c'est :**

- ◆ **une montée en température.**
- ◆ **un maintien (un certain temps)**
- ◆ **un retour à la température d'utilisation.**
- ◆ **le tout dans une ambiance "contrôlée".**

Vous voilà bien avancé avec ce résumé ! Mais avec l'expérience et les multiples essais que les spécialistes ont réalisés, on remarque que la phase de retour à la température d'utilisation est généralement (**attention pas toujours !**) un des éléments clés des traitements thermiques.

Petit test

Pour clarifier les esprits et que vous sachiez de quoi on parle réellement, voici trois matériaux qui vont subir le même traitement thermique. J'ai pris des éléments courants afin que vous puissiez tester vous-même ! Je vous encourage à le faire car vous sentirez les différences, attention tout de même de ne pas mettre le feu à la maison, le mieux étant de procéder à l'extérieur à l'abri du vent.



Les trois



matériaux de test

1.- Du fil électrique Ø1mm

2.- Du fil de fer de jardinage Ø0.6mm

3.- Un trombone Ø1mm

Vous constatez que nous avons en fait deux matériaux, du [cuivre](#) (le fil électrique) et de l'[acier](#) (le fil de fer et le trombone). Les aciers sont une combinaison de [fer](#) et de [carbone](#). Dans notre cas la proportion du mélange n'est pas tout à fait la même, c'est tout.

Le traitement thermique est un des plus simples qui soit, on chauffe les fils jusqu'à qu'ils présentent une couleur rouge vif. Ensuite on trempe le bout chauffé dans de l'eau pour le refroidir rapidement. Ce qui nous intéresse dans ce test, c'est comment réagissent les divers matériaux à cette chauffe suivie par un brusque refroidissement.

Le test : *Comparaison du pliage des fils avant et après le traitement thermique.*

J'ai essayé en filmant les diverses étapes du test de vous illustrer les choses

1- Le pliage pré-traitement. Pour du fil de fer de jardinage pas difficulté majeure, on plie et déplie le fil sans remarquer de changement de comportement. Pour le trombone également pliage et dépliage, il se réalise avec une pince (le diamètre est assez conséquent) mais de changement apparent. Le fil électrique devient toujours plus dur à plier, par exemple une région déjà pliée. Trois vidéos de 30 sec et de mauvaises qualités

mais qui montre le principe.

2- Rien de particulier, si ce n'est un conseil tenez le fil de cuivre avec une pince ! Chaque matériau est ressorti de l'eau de refroidissement oxydé (couche de couleur sombre) sur sa partie chauffée. Ce type de traitement thermique (refroidissement rapide) est souvent appelé "trempe" .

3- La comparaison, pliage post-traitement.

*le fil électrique est devenu plus facile à plier, il se plie facilement et devient brillant
le fil de fer de jardinage se plie et se déplie comme si rien ne s'était passé.
le trombone est très nettement plus dur à plier et ne tient pas le dépliage (rupture) voire le pliage.*

QUE CONCLURE D'UN TEL TEST ?

Tous les matériaux ne réagissent pas pareil à un même traitement thermique.

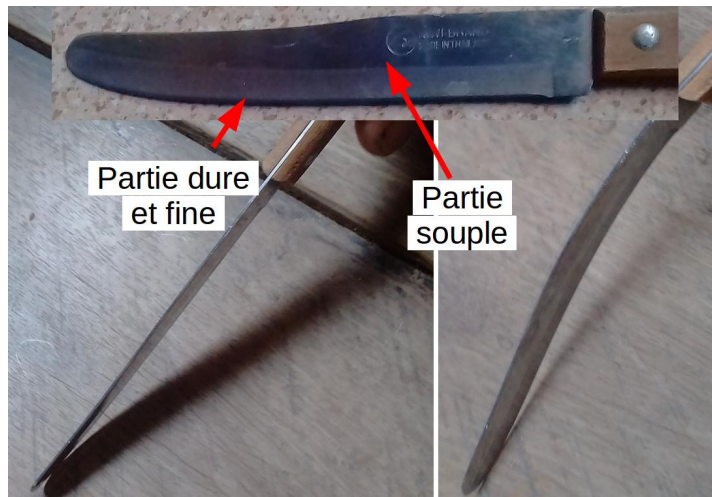
Notez que deux aciers ne réagissent pas de façon identique au même traitement thermique. Pour beaucoup ce type de traitement thermique (refroidissement rapide dans de l'eau) est une trempe et ne sert qu'à durcir l'acier. Mais en cherchant un peu, on trouve facilement des types d'aciers qui, s'ils subissaient le traitement thermique filmé présenteraient aussi un pliage plus aisé après traitement, un peu comme le fil électrique en cuivre.

Pourquoi un traitement thermique ?

Lorsqu'on fabrique un objet, on souhaite que le matériau, le brut, soit simple à façonner, qu'il se maintienne à la forme définie et que ses caractéristiques mécaniques correspondent à l'utilisation de l'objet. Ehhhh oui pas simple car certaines parties devront être dures et d'autres souples par exemple. Bref un objet a des contraintes et des utilités diverses et afin de bien me comprendre prenons deux objets du quotidien : un couteau et une serrure.

Nous connaissons tous ce genre d'objet, ils ont en commun d'être généralement en acier, mais ce n'est pas le point important et surtout ne le prenez pas comme une restriction. Les traitements thermiques peuvent s'appliquer à pratiquement tous les matériaux. Pour vous convaincre, vous avez certainement déjà entendu parler du [verre trempé](#). C'est-à-dire du verre qui a subi le même genre de traitement thermique que ceux présentés en vidéos (chauffe et refroidissement très rapide).

Revenons à nos deux objets sélectionnés, le couteau et la serrure. La lame du couteau doit être dure et tranchante, mais elle doit être aussi souple. Le pêne de la serrure, lui, doit être dur, inusable et très difficilement sciable. On trouve sur le marché divers matériaux souples, durs, tenaces (etc) mais pour une lame de couteau il est essentiel qu'elle reste aiguisée, donc elle devrait présenter une dureté extrême au niveau du fil et de sa surface, tandis que l'ensemble doit rester souple. Dans le cas de la lame de couteau, il nous faut un matériau qui change de caractéristique entre l'extérieur et l'intérieur, tandis que pour le pêne c'est tout l'objet qui doit "non-sciable" mais avoir une surface "glissante". On peut trouver un matériau qui soit "non-sciable" et relativement glissant, le [tungstène](#) par exemple, mais bon courage pour le fabriquer une pièce !



Nota : je suis bien conscient que ma serrure a d'autres problèmes de sécurité que celui du sciage du pêne, mais pour être sûr que chacun comprenne les deux caractéristiques d'un pêne (dur et glissant), j'ai pris une vue de ma porte d'entrée. Pas de soucis, la sécurité est assurée par les chiens et les voisins ☐ !

Donc un matériau avec diverses caractéristiques plutôt antagonistes, pas simple ! Si on pouvait modifier localement les caractéristiques ce serait une solution. Voilà maintenant vous saisissez que les traitements thermiques c'est pour :

Traiter l'ensemble de l'objet (le pêne) = traitement thermique à cœur.

Traiter la surface de l'objet (la lame) = traitement thermique superficiel.

Traiter une partie de l'objet (les vidéos, merci pour mes doigts !) = traitement thermique partiel.

J'espère maintenant que vous comprenez pourquoi utiliser les traitements thermiques. Si pour notre pêne de serrure, nous avons utilisé un matériau "non-sciable", cela aurait très fortement compliqué sa fabrication et donc augmenté son coût. Pour obtenir une lame de couteau souple et tranchante, il est possible d'utiliser des matériaux différents, mais ici aussi le coût aurait été plus important.

Actuellement le recours aux traitements thermiques couvre une large palette de buts, augmentation/diminution des caractéristiques mécaniques globales/locales des objets, ainsi que pour la tenue à la corrosion, l'aspect, etc.

Inconvénients et "avantages"

Nous avons déjà vu une partie des avantages qui se confondent souvent avec les buts recherchés (voir la phrase ci-dessus) donc ici se sera plus les inconvénients qui seront mis en avant. C'est ce que veut signaler les guillemets du titre de paragraphe.

Remarques

Pour suivre le souci de simplicité de l'article mais également de mettre les plus curieux sur la piste des mécanismes mis en jeu, vous trouverez en fin d'article une petite liste de mots "repères" qui vous permettra d'effectuer vos propres recherches. L'article sur les [métaux polycristallins réels](#) vous permettra aussi de débroussailler les mécanismes mis en jeu, cette lecture n'est nullement nécessaire pour comprendre la suite du texte.

LES DÉFORMATIONS

C'est certainement un des plus gros problèmes. Pourquoi les objets se déforment-ils lors

d'un traitement thermique ?

Lorsque vous chauffez une pièce quelconque, vous aurez une dilatation de cette pièce, cette dilatation n'est pas parfaitement prévisible parce que la matière n'est pas homogène, parce que la forme même de la pièce rend cette dilatation un peu aléatoire, parce que la température n'est pas uniforme, etc. ... Conclusion, il est très difficile de maîtriser la dilatation d'un corps et donc une certaine déformation apparaît presque inmanquablement lors de la chauffe d'un objet. Ce que l'on peut espérer, c'est que cette déformation soit résorbée lors du refroidissement et là c'est pas gagné ! Pour un refroidissement rapide, par exemple, il y aura une combinaison de déformation due à la mise en température et au blocage des structures internes de la matière lors du refroidissement. (1)

Pour visualiser ce problème une petite vidéo, elle dure un peu (1'30) parce qu'il y avait du vent et j'ai pris une tôle galvanisée de seulement 0.2mm, elle se refroidissait assez vite □ :

RÉACTION DE SURFACE

Si vous prenez un matériau composé de plusieurs éléments (l'acier, le bronze, le laiton, etc. ...), il sera parfaitement solide à température ambiante et deviendra liquide au-delà d'une certaine température. A l'état solide les forces de cohésions de la matière dominant celles de l'agitation thermique, tandis qu'à l'état liquide l'agitation thermique est telle que la cohésion n'est plus assurée. Ce que j'essaye de vous faire entrevoir c'est qu'entre les deux états (solide/liquide) la matière est de plus en plus agitée intérieurement. Cette agitation permet la migration de certains éléments chimiques (le fer, le carbone, le cuivre, l'étain, etc) vers la surface par exemple. (2)

Si vous imaginez un morceau d'acier (composé de fer et de carbone) que vous chauffez. Il est probable que des atomes de carbone migrent vers la surface et là qui voient-ils ? Un ami ! Des atomes d'oxygène, donc ils se combinent en CO_2 par exemple. Ce qui fait que votre pièce a perdu un peu de carbone, soit un changement de type d'acier.



Autre réaction de surface : le fer de votre pièce en acier aura aussi tendance à retourner à son état originel, soit de l'oxyde de fer (communément on appelle cela de la rouille).

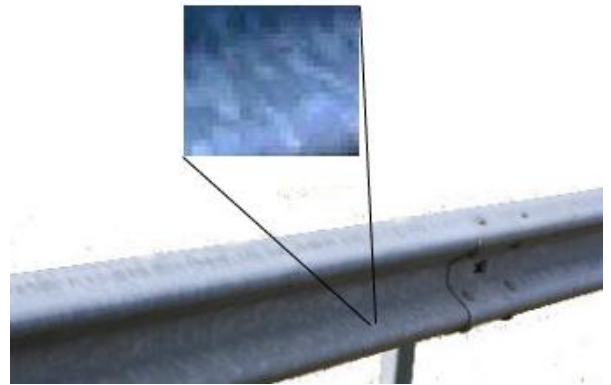
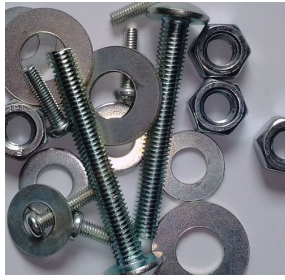


Notez deux choses :

- ◆ *la température ne fait qu'accélérer un phénomène existant à température ambiante.*
- ◆ *le milieu (atmosphère) du traitement thermique influence fortement ce dernier. Le contrôle de l'ambiance des traitements thermiques a permis d'énormes progrès qualitatifs quant aux résultats obtenus.*

LA SURCHAUFFE

Plus vous vous approchez de la température de fusion (passage de l'état solide à l'état liquide) de votre matière, plus les phénomènes d'agitation internes seront importants. Les matériaux à base de métaux (fer, aluminium, titane, cuivre, etc) sont pour la grande majorité un assemblage de très petites régions. Ces régions, appelées grains, sont particulièrement solides et constituent la trame de la matière. Ces grains ne sont généralement pas visibles à l'oeil nu. Dans le cas du recouvrement de l'acier par du [zinc](#) (on parle d'[acier galvanisé](#)), pour le protéger de la corrosion, on peut parfois distinguer ces grains. Cet acier galvanisé vous est très familier et se trouve un peu partout dans la robinetterie, la tôle ondulée, la visserie, les barrières, etc. Ces grains ne sont qu'en surface (épaisseur de la couche de zinc) mais vous pouvez imaginer des grains d'acier minuscule et dans le volume de masse de la matière. Lors de la chauffe des grains vont se réorienter et ils peuvent se joindre à d'autre pour former des grains plus gros. Une surchauffe conduit rapidement à ce genre de problématique. Mais pourquoi cela est-il ennuyeux, les gros grains ? Par exemple les fissures (voir ci-dessous), mais pas seulement, la matière est plus "perméable" avec de gros grains, elle perd aussi de ses caractéristiques mécaniques si la taille des grains augmente. (3)



Quelques pièces en acier galvanisé

LES FISSURES

Nous avons vu (voir ci-dessus) que les matières métalliques (bronze, laiton, alliage aluminium, acier, etc ..) sont composées d'une multitude de petits grains agglomérés les uns aux autres. Je vais essayer de vous montrer qu'une fissure peut apparaître lors d'un cycle de traitement thermique. Si vous avez des grains de matière aggloméré un peu comme des grains de sable (mais beaucoup plus petit), la jonction de ces grains présente des risques de séparation évident. Dès lors il suffit d'un changement de taille des grains (par exemple lors du refroidissement) non homogène pour que des fissures puissent apparaître à la jonction de ces grains. Maintenant plus les grains sont grands plus ces risques de fissures augmentent. Si on imagine une fissure comme une tige qui doit s'enfoncer dans la matière, ce sera certainement plus facile et profond sur la partie gauche (gros grains)(4)



Conclusion

Voilà avec ce tour d'horizon très superficiel des traitements thermiques, j'espère que vous en avez une vision plus globale et que surtout vous n'en oublierez pas les points deux essentiels :

*Un traitement thermique est défini par quatre éléments : matériau, temps, température
ambiance*

Tous les matériaux ne réagissent pas pareil à un même traitement thermique.



Merci d'être arrivé jusque là, bonne continuation dans vos

recherches de connaissances.

Mots “repères”

Recherchez les termes dans leur sens métallurgique, à prendre comme de simple suggestion, attention couvrir les traitements thermiques c'est très vaste.

(1) Déformation : écrouissage, tension interne, relâchement, recuit.

(2) Problème de surface : gaz neutre, décarburation, cémentation, nitruration.

(3) Grossissement du grain : recuit, austénite,

(4) Fissures recherchez les termes de dislocation, propagation.

Un petit plus

Un “powerPoint” sur la trempe de l'acier. Une connaissance du diagramme fer-carbone est souhaitable pour bien suivre la présentation, mais cela peut-être un bon complément pour un exposé. [“trempe.pdf”](#)