

## Un glossaire des termes

### Fiche technique

---

#### Définition du traitement thermique

Le traitement thermique peut être défini comme étant une conjonction d'opérations de chauffage et de refroidissement appliquées aux métaux et alliages en état solide, pour obtenir des conditions ou propriétés souhaitées.

Le traitement thermique des métaux implique qu'il faille augmenter la température d'un acier ou d'un alliage, très souvent via un profil thermique établi selon un seuil de température défini. Le matériau est ensuite maintenu à température pendant un certain laps de temps, avant d'être généralement refroidi à une vitesse soigneusement contrôlée ou bien par procédé de trempe à une température fixée ou à température ambiante.

Les traitements sont effectués dans des fourneaux et des fours utilisant souvent des gaz pour contrôler l'atmosphère du procédé.

Les atmosphères contrôlées sont utilisées pour réduire les effets de l'oxydation sur la pièce en phase de traitement ou pour créer une atmosphère enrichissante destinée aux effets de chimie superficielle.

Les traitements thermiques peuvent être appliqués pour homogénéiser les alliages en métal coulé ou pour améliorer leur ouvrabilité à chaud, pour assouplir les métaux avant et pendant les opérations de traitement à chaud et à froid, ou pour modifier leur microstructure en vue d'obtenir les propriétés mécaniques requises.

Les traitements thermiques des alliages métalliques sont également utilisés pour modifier la chimie superficielle d'un matériau. Cela nécessite la diffusion de carbone, d'azote ou de toute autre substance gazeuse ou solide à travers la couche de la pièce.

Ces procédés sont utilisés pour durcir la couche superficielle de la pièce et pour améliorer la résistance à l'usure, à la corrosion et à la fatigue.

Les traitements thermiques peuvent être classés en fonction de leur objectif. Les traitements thermiques qui modifient la microstructure du matériau ou qui modifient la structure de phase afin d'améliorer les propriétés mécaniques pour des applications spécifiques ou des procédés supplémentaires.

#### Recuit

Terme utilisé pour décrire différents traitements thermiques d'adoucissement qui modifient la microstructure d'un alliage.

Utilisé essentiellement pour éliminer les tensions, modifier la ductilité, induire de la souplesse ou pour produire parmi d'autres choses une structure granulaire cristalline définie.

Le refroidissement lent d'un acier permet d'obtenir différents degrés de recuit, lorsque la pièce a été chauffée à des températures entre 0,3 et 0,5 de sa température de fusion.

#### Homogénéisation

Procédé utilisé principalement pour égaliser la température des matériaux de base avant le travail à chaud, ou pour réduire la microségrégation pouvant se produire dans les lingots et dans les alliages coulés en continu.

#### Microségrégation

Non-uniformité de la composition chimique du matériau de base.

#### Veines

Impureté en petite quantité apparaissant sous forme de longs filaments (veines) lors du laminage. Ces filaments limitent le mouvement des grains, provoquant ainsi une résistance accrue au fluage.

### Recuit de détente

Procédé utilisé pour éliminer les tensions des pièces soudées et refroidies rapidement ou des produits fabriqués à froid. Le recuit est obtenu en traitant thermiquement la pièce à une température donnée pendant un certain laps de temps, puis en refroidissant lentement le produit jusqu'à revenir au seuil de température ambiante. Les paramètres temps et température dépendent de la nature de l'alliage.

### Normalisation

Traitement utilisé pour supprimer les effets de microstructure indésirables provoqués par les traitements thermiques précédents. Ce traitement est utilisé pour obtenir une structure granulaire uniforme.

### Durcissement

Un procédé, parmi plusieurs, utilisé pour améliorer la dureté d'un alliage par rapport à la dureté caractérisant habituellement le l'âme du matériau. Ce résultat est généralement obtenu par la trempe du matériau au-dessus de son seuil de température critique.

### Recuit de mise en solution

Procédé selon lequel certains alliages, principalement des aciers inoxydables et des alliages à base de cuivre, sont chauffés à une température adaptée pour permettre aux composants d'entrer en coalescence. Le procédé est alors maintenu à la température définie pendant une durée déterminée, en fonction de la nature des alliages, pour permettre aux différents composants de former une masse cohérente mais soluble avant un refroidissement rapide (précipitation). Le matériau est ensuite dit sursaturé, instable et susceptible par la suite de présenter un durcissement par vieillissement.

### Durcissement par précipitation (durcissement par vieillissement)

Procédé selon lequel la dureté et la résistance aux fractures sous contrainte de certains métaux peuvent être améliorées, comme les aciers haute température trempables, les alliages au titane, au nickel et au cobalt. Ce procédé est composé d'un traitement par mise en solution suivi d'un vieillissement, durant lequel les composants de la structure forment une solution solide qui est congelée lors d'un refroidissement rapide. L'augmentation du seuil de dureté est créée par le cycle de vieillissement.

### Durcissement par vieillissement (durcissement par précipitation)

Procédé selon lequel certains alliages non-ferreux et ferreux sont chauffés, trempés puis vieillis à une température légèrement supérieure à la température ambiante pour que le durcissement par précipitation puisse se produire. Cette opération peut améliorer sensiblement la résistance de la pièce de fabrication, sans pour autant affecter sa ductilité. Le processus de durcissement peut être interrompu par la réfrigération du composant.

### Durcissement par refroidissement rapide

L'objectif de ce traitement est de créer une microstructure entièrement martensitique dans l'acier.

Pour y parvenir, l'acier doit être refroidi rapidement depuis son état austénitique.

Ce procédé convient aux métaux et alliages ferreux lorsque les alliages d'acier et de fonte sont chauffés au-dessus d'une certaine température critique puis refroidis rapidement afin de produire une structure durcie. Ce procédé permet d'obtenir un durcissement superficiel ou total, en fonction de la vitesse de refroidissement. Ce procédé exige un contrôle précis de la température durant les opérations de chauffage et de trempe.

Le fait de baisser d'un cran la vitesse de refroidissement rapide requise pour produire de la martensite permet à la couche externe de refroidir plus rapidement que l'âme du matériau et aux parties dures / épaisses de répondre à des vitesses différentes. Cela peut occasionner un craquellement ou une distorsion de la pièce.

Lorsque la vitesse de trempe est insuffisante ou la taille de la partie concernée trop grande, ou que l'acier possède une trempabilité insuffisante, on obtient de la bainite à la place de la martensite.

Lors du procédé de trempe, qu'il s'agisse de Bainite ou de Martensite, le matériau est généralement trempé avant utilisation.

Dans le cas de la bainite, le procédé est généralement utilisé pour diminuer les tensions internes, tandis que pour la martensite, il s'agit

d'améliorer la ductilité et la résistance aux dépens de la dureté et de la solidité.

### Revenu

Traitement utilisé pour éliminer la fragilité de la plupart des aciers durcis par trempe ; ce procédé exige que l'on chauffe le matériau à cœur, à une température qui dépend de la nature de l'alliage, avant de le refroidir.

On appelle également ce procédé « détensionnement ».

### Trempe martensitique

La trempe martensitique permet d'outrepasser les limites des procédés classiques de trempe et de revenu. Ce procédé, parfois appelé "martempering", permet à l'austénite de se transformer uniformément en martensite à travers toute la structure de la pièce de métal. Il est obtenu en interrompant le cycle de trempe : le refroidissement est arrêté un point au-dessus du seuil de transition en martensite, octroyant ainsi à la partie centrale de la pièce suffisamment de temps pour refroidir à la même température que pour la couche. Puis la phase de refroidissement continue à travers le domaine martensite, suivie du revenu habituel.

### Trempe par étages

Il s'agit d'un autre procédé pouvant être utilisé pour outrepasser les limites des procédés classiques de trempe et de revenu. La trempe est interrompue à une température supérieure à celle nécessaire à la trempe martensitique pour permettre au métal contenu au centre de la pièce d'atteindre la même température que pour la couche. Le fait de maintenir cette température permet à la partie centrale et à la couche de se transformer en bainite, avec ensuite l'application d'un refroidissement à température ambiante.

Les avantages de la trempe par étages sont les suivants : moins de distorsion et de craquellement que pour la trempe martensitique, trempe finale non nécessaire, amélioration de la dureté et ductilité accrue.

### Durcissement superficiel

L'un des procédés de traitement thermique qui améliorent la dureté superficielle d'un alliage d'acier sans incidence sur les propriétés du l'âme du matériau.

### Trempe au chalumeau

Procédé de durcissement localisé selon lequel les composants sont soumis à une flamme acétylène puis refroidis par pulvérisation.

### Trempe par induction

Procédé largement utilisé, notamment sur le marché automobile et de l'outillage, pour durcir l'acier en surface. Les pièces sont chauffées par un dispositif d'induction appliquant un champ magnétique alternatif à la pièce de fabrication.

La température des pièces augmente jusqu'à la plage de transformation ou un peu plus, puis ces dernières sont immédiatement trempées. Les propriétés physiques de l'âme du matériau ne sont aucunement modifiées par ce procédé.

### Acier

Alliage composé d'acier, de carbone et souvent d'autres éléments. La quantité de carbone est inférieure à 2 % de la masse. Les aciers avec du carbone comme élément principal de l'alliage sont appelés aciers au carbone. Ceux présentant des concentrations importantes d'autres éléments sont appelés alliages.

Le fer affiné contient moins de 0,035 pour cent de carbone. Cette grande pureté permet une bonne résistance anti-corrosion. Dans la structure, il est classé en tant que ferrite, mais il renferme des petites scories allongées sous forme de filaments par le laminage. Cela réduit sa solidité et sa malléabilité.

### États de la microstructure

Les traitements thermiques permettent de modifier l'état de la microstructure des aciers et alliages.

Chacun des états comporte des avantages pour différentes applications et il est possible de fabriquer des métaux qui présentent une association de différents états.

Les principes de transformation sont les suivants :

## Austénite

Phase solide du carbone / acier avec une structure définie, se produisant chez les alliages lorsqu'ils sont chauffés selon une échelle de valeur au-dessus de leur seuil critique de température. La température de passage à l'austénite dépend de la nature des alliages et du calibre des matériaux. L'austénite est l'un des allotropes du fer, connue aussi sous le nom de fer gamma. Elle se forme lorsque le fer est soumis à une température comprise entre 912°C et 1 394°C et elle possède une structure cubique à faces centrées. On retrouve également cette structure dans l'acier semi-dur.

## Perlite

Composant lamellaire de l'acier constitué de couches alternant ferrite (fer alpha) et cémentite (carbure de fer Fe<sub>3</sub>C), et qui se forme en refroidissant l'austénite à 727°C. Ce procédé permet d'obtenir une structure solide et procure les propriétés mécaniques de l'acier non durci.

Lorsque l'acier est refroidi à une vitesse d'environ 400°C par minute, les cristaux d'austénite se transforment en perlite (une structure lamellaire fine composée de plaquettes alternant ferrite et carbure de fer) à une température d'environ 727°C.

Un refroidissement plus rapide permet d'obtenir de la martensite.

## Bainite

Phase hors équilibre, habituellement pour l'acier, se produisant par trempage à partir de la phase austénite. La vitesse de trempage requise est moins rapide que celle nécessaire à la formation de martensite, mais cependant plus rapide que celle appliquée pour créer la phase d'équilibre de la perlite. On reconnaît deux types de bainite, à savoir la bainite supérieure et la bainite inférieure. La bainite supérieure se forme à une température plus élevée et par conséquent le carbone est en quantité suffisante pour se diffuser en formant des carbures à l'extérieur des lames de bainite. La bainite inférieure se forme à une température plus basse et renferme des carbures à l'intérieur des lames, la diffusion du carbone ne se faisant pas assez rapidement.

## Marténite

Un refroidissement très rapide (par trempe) de l'acier (à une vitesse d'environ 1 000°C par minute) produit une nouvelle microstructure, la marténite. Il s'agit de la forme la plus dure et la plus fragile de l'acier. Le fait de la réchauffer à une température d'environ 400°C et de l'y maintenir pendant un temps (phase de revenu) permet d'obtenir un acier robuste et solide avec une dureté et une fragilité moindres.

## Ferrite

La ferrite est un état de l'acier présentant un certain nombre de propriétés à température ambiante telles qu'une grande taille granulaire, une faible dureté, une bonne ductilité et une façonnabilité aisée.

L'état de ferrite existe sous forme cristalline particulière et se produit à faibles températures. Le fer est ainsi constitué de millions de minuscules cristaux. Les cristaux sont liés entre eux, dans ce qu'on nomme une structure réticulaire.

Le fer pur jusqu'à à 912°C possède une structure cubique centrée et est connu sous le nom de ferrite alpha. Entre 1 394°C et le point de fusion du fer, la structure cubique centrée est également connue en tant que ferrite delta. On la trouve également dans l'acier semi-dur.

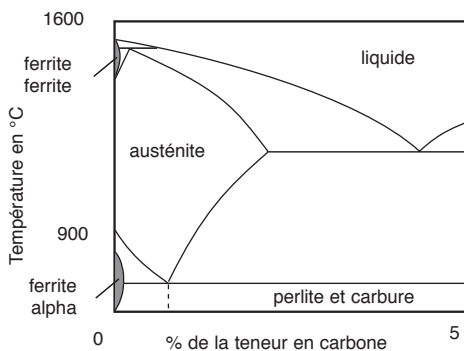


Schéma des différentes phases présentant les domaines types de transformation

## Cémentite

Carbure de fer, Fe<sub>3</sub>C. Plus dur et plus solide que la ferrite, mais moins malléable.

## Traitements qui modifient la chimie superficielle d'un alliage

### En général, il s'agit de cémentation, nitruration, carbonitruration et nitrocarburation

Ces procédés permettent de durcir et de renforcer les couches superficielles de l'alliage en plaçant la pièce dans une atmosphère gazeuse enrichie au carbone ou à l'azote tandis que le matériau est graduellement réchauffé selon un profil thermique élevé.

On peut obtenir des propriétés similaires qui contiennent d'autres composants moléculaires superficiels dans des procédés tels que l'implantation d'ions - le dépôt chimique en phase vapeur (CVD), le dépôt physique en phase vapeur (PVD), la boruration et l'alliage par diffusion. Bains de sels.

### Cémentation

Différents procédés qui ajoutent du carbone à la surface de l'acier pour améliorer la dureté de la pièce et la résistance à l'usure superficielle.

Les résultats du procédé de cémentation consistent à produire une dureté efficace de la pièce en profondeur permettant aux composants fabriqués à partir d'aciers faiblement alliés - à durcissement superficiel d'être utilisés dans des applications qui nécessitent des caractéristiques de résistance à l'usure plus grandes.

### Cémentation gazeuse

Il s'agit là d'un procédé chimique de traitement superficiel, qui améliore la dureté de la pièce par diffusion de carbone aux couches superficielles, pour améliorer la résistance à l'usure et à la fatigue.

Les pièces de fabrication sont maintenues à une température élevée et sont mises en contact avec une atmosphère riche en carbone, de telle sorte que le carbone puisse se diffuser dans les couches superficielles de la pièce. Ce procédé est généralement réalisé dans un four de trempage sous atmosphère au sein duquel les pièces sont immédiatement trempées après le procédé de diffusion.

Les conditions pour produire une atmosphère de potentiel carbone sont générées en ajoutant du gaz enrichi (souvent du méthane CH<sub>4</sub> ou de l'air dilué sur un gaz porteur endothermique pouvant être constitué à 40 % d'azote - 40 % d'hydrogène - 20 % de monoxyde de carbone (CO) - et moins de 0,1 % de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

### Carbonitruration

La carbonitruration constitue une variante de la cémentation, dans laquelle on utilise simultanément des gaz porteurs riches en carbone et azote. Ce procédé est essentiellement réalisé par l'ajout d'ammoniac au mélange de cémentation gazeuse. La carbonitruration est effectuée en phase austénite, à savoir à des températures supérieures à 850°C, généralement 870°C. Les profondeurs conventionnelles sont généralement inférieures aux profondeurs obtenues par cémentation seule, bien que les seuils de dureté superficielle puissent être supérieurs.

### Cémentation à basse pression (cémentation sous vide)

Un procédé relativement moderne utilisé pour cémenter les pièces dans un environnement sans oxydant.

Le procédé est réalisé à température élevée dans un four à vide utilisant des gaz pulsés d'hydrocarbure tels que le propane, l'éthylène et l'acétylène en tant que milieu de cémentation.

Les avantages principaux sont les suivants : une surface sans oxydant, une faible distorsion, une bonne finition, une bonne pénétration pour les formes complexes et les trous, des performances de traitement régulières et des temps de traitement améliorés

Ce procédé ne s'applique pas à tous les aciers ; il est principalement utilisé pour les pièces d'injection et de transmission dans les secteurs de l'automobile et de l'aérospatial. Étant donné la pression de trempage relativement faible, le traitement n'est pas universellement appliqué à tous les types d'alliages et d'aciers.

## Nitruration gazeuse

La nitruration gazeuse implique la diffusion d'azote dans les couches superficielles d'un acier faiblement carboné maintenu à une température élevée. Cela forme une couche nitrurée, qui améliore la dureté superficielle. La nitruration se produit généralement à des températures oscillant entre 500 et 575°C, à partir desquelles le matériau se trouve à l'état ferritique plutôt que dans le domaine austénitique utilisé pour la cémentation. Ce procédé est rendu possible du fait de la solubilité beaucoup plus élevée de la ferrite dans l'azote par rapport au carbone.

Le fait de recourir à des températures de traitement inférieures et de ne pas devoir fournir une trempe permet d'obtenir des taux de distorsion moindres pour les pièces de fabrication.

La nitruration à l'état ferritique a pour avantage de ne pas interrompre le traitement précédent de la pièce en acier et de ne distordre que peu ou pas du tout la forme finale de la pièce. Cela signifie que les aciers hautement carbonés précédemment traités thermiquement peuvent être superficiellement durcis par nitruration. En fait, il est normal de terminer tous les traitements thermiques appliqués à la pièce avant la nitruration.

L'ammoniac NH<sub>3</sub> représente le gaz le plus courant utilisé pour la nitruration dans les fours "batch".

Un des inconvénients est que certains cycles de traitement peuvent être très longs, pouvant durer parfois jusqu'à 80 heures.

## Carbonituration,

La carbonituration ferritique (entre 550 et 580 °C) ou austénitique (entre 590 et 720 °C) consiste à enrichir simultanément en azote et en carbone la surface de la pièce, pour obtenir une couche de combinaison composée d'acier et de carbonitrides. Cette couche de combinaison apparaît clairement à la surface de la zone de diffusion d'azote et modifie grandement les caractéristiques superficielles. Ce procédé peut inclure une trempe ultérieure des pièces ou d'autres activités de post-traitement pour améliorer d'autant plus la couche de combinaison superficielle.

## Diffusion du plasma

Le traitement par diffusion du plasma vise à introduire des espèces telles que l'azote, le carbone, le bore, etc. à l'intérieur de la surface d'une pièce en introduisant un gaz activé en contact direct avec la surface, qui est maintenue à température élevée. Le plasma d'une décharge électrique lumineuse est utilisé pour dériver les ions positifs à partir du gaz actif en vue de produire le procédé de nitruration, cémentation ou boruration. Cela étaye grandement le traitement de surface visant à améliorer la dureté superficielle et à créer des propriétés de résistance à l'usure, la fatigue et la corrosion.

## Nitruration par plasma

Procédé largement utilisé pour les traitements par lots. Ce procédé consiste à diffuser des atomes d'azote sur la surface du métal dans un milieu ionisé.

Ce procédé s'appelle également nitruration ionique, soit l'application d'un différentiel de potentiel minimal à deux électrodes maintenues dans un gaz à pression réduite ; la pièce de fabrication est maintenue dans la région de la décharge ; alors que la tension et l'intensité appliquées aux électrodes augmentent, la pièce de fabrication est chauffée par le bombardement d'ions.

L'azote est alors transmis à la pièce de fabrication et pénètre la surface par diffusion.

## Autres procédés spécialisés

### Diffusion superficielle

#### Bains de sels

Méthode permettant d'obtenir un traitement thermique de l'acier dans un bain de sels fondus. Ce procédé permet d'éviter l'oxydation et crée un environnement de chauffage très uniforme pour le durcissement, le revenu ou la trempe. Le type de sels utilisés dépend de la gamme de température requise. Pour le durcissement, on utilise souvent du cyanure de sodium, du carbonate de sodium ou du chlorure de sodium.

Le procédé est également utilisé dans le cadre des traitements spécialisés de nitruration.

Pour des raisons environnementales actuelles, ce procédé est moins fréquemment utilisé de nos jours. Il est remplacé par d'autres méthodes de traitement thermique telle que l'aluminisation

Alors que la température de fonctionnement pour les turbines à gaz est supérieure au point naturel de fonctionnement sécurisé appliqué aux alliages, un procédé a été élaboré pour diffuser de l'alumine à la surface des lames afin de former une couche protectrice d'oxyde d'alumine. La plupart des couches ont été appliquées par cémentation en caisse, qui consiste à étendre les lames sur des lits de poudre et à les traiter thermiquement dans des conditions à atmosphère contrôlée.

Étant donné la complexité de la structure à lames et des trous associés au refroidissement, il est plus opportun d'effectuer ce procédé par dépôt chimique en phase vapeur.

### Traitement de consolidation isostatique (HIPping)

Ce procédé est utilisé pour densifier les pièces moulées, les composants préfrittés, et pour le soudage des alliages par diffusion. Ce procédé implique généralement de très hautes températures et pressions dans une chambre spéciale.

### Frittage

Traitements qui renforcent la cohésion moléculaire des pièces réalisées à partir de poudres compactées.

De nombreux produits aux formes complexes sont fabriqués à partir de matériaux en poudre qui sont pressés ou moulés à la forme de la pièce. Le frittage se déroule dans un environnement à atmosphère contrôlée ; il est utilisé pour renforcer la cohésion des pièces en poudre compactée durant un cycle thermique à durée spécifique.

---

## EUROTHERM LIMITED UK

Faraday Close Durrington Worthing  
BN13 3PL  
Tél. +44 (0)1903 268500 Fax +44  
(0)1903 695666  
Courriel [info@eurotherm.co.uk](mailto:info@eurotherm.co.uk)  
[www.eurotherm.co.uk](http://www.eurotherm.co.uk)

## EUROTHERM AUTOMATION SAS

6 chemin des joncs  
BP55  
69574 Dardilly cedex  
Tél. 04 78 66 45 00  
e.mail : [info.fr@eurotherm.com](mailto:info.fr@eurotherm.com)

## EUROTHERM À L'INTERNATIONAL

[www.eurotherm.co.uk/contact.asp](http://www.eurotherm.co.uk/contact.asp)

© Copyright Eurostar Limite 2006

Invensys, Eurotherm, le logo Eurotherm, Mini8 et Wonderware sont des marques déposées d'Invensys plc, de ses filiales et de ses sociétés affiliées. Toutes les autres marques sont susceptibles d'être des marques commerciales appartenant à leurs propriétaires respectifs.

Tous droits strictement réservés. Toute reproduction même partielle de ce document, ainsi que toute modification, transmission sous quelque moyen ou forme que ce soit, ou enregistrement dans un système de recherche, à d'autres fins que de faciliter le fonctionnement de l'équipement auquel le présent document se rapporte, sans l'autorisation préalable écrite d'Eurostar limited, sont formellement interdites.

Eurotherm Limited pratique une politique de développement et de perfectionnement permanents de ses produits. Les spécifications contenues dans ce document peuvent donc être modifiées sans préavis.

Les informations contenues dans ce document sont fournies en toute bonne foi mais à titre informatif uniquement. Eurostar Limite n'accepte aucune responsabilité en cas de pertes consécutives à des erreurs figurant dans le présent document.

