

Traitements thermiques

Les recuits

Les recuits forment un ensemble de traitements visant l'obtention d'états proches de l'équilibre thermodynamique en provoquant la formation de structures ferrite-carbures après passage par un état totalement ou partiellement austénitique. Ils tendent à réaliser l'équilibre structural en faisant disparaître les états hors d'équilibre résultants des traitements thermiques et mécaniques antérieurs (ségrégation au cours de solidification, écrouissage, contrainte de soudage...).

Le recuit correspond aux valeurs maximales des caractéristiques de ductilité (résilience et allongement) et aux valeurs minimales des caractéristiques de résistance (dureté, limite élastique, charge à la rupture). Le recuit a pour but de :

- Diminuer la dureté d'un acier trempé.
- Obtenir le maximum d'adoucissement pour faciliter l'usinage ou les traitements mécaniques.
- Régénérer un métal écroui ou surchauffé.
- Homogénéiser les textures hétérogènes.
- Réduire les contraintes internes

1. Le cycle thermique d'un recuit :

- Un chauffage jusqu'à une température dite de recuit qui dépend du type de recuit à réaliser.
- Un maintien isotherme à la température de recuit ou des oscillations autour de cette température.
- Un refroidissement généralement lent, la vitesse de refroidissement doit être inférieure à la vitesse critique de recuit, (fig.1). Le refroidissement s'opère à l'air lorsque ce traitement n'entraîne pas la trempe de l'acier, sinon on utilise un milieu assurant une vitesse plus faible (fours..).

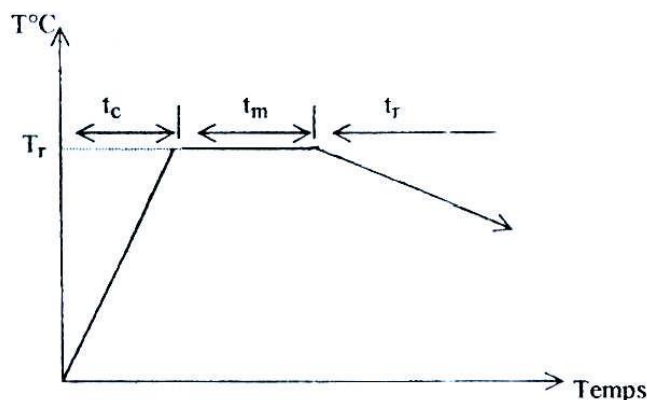


Fig.1. Cycle thermique du recuit

T_r : température de recuit. t_c : temps de chauffage.
 t_m : temps de maintien t_r : temps de refroidissement.

2. Recuits demandant des températures supérieures à Ac_1

2.1. Recuit complet

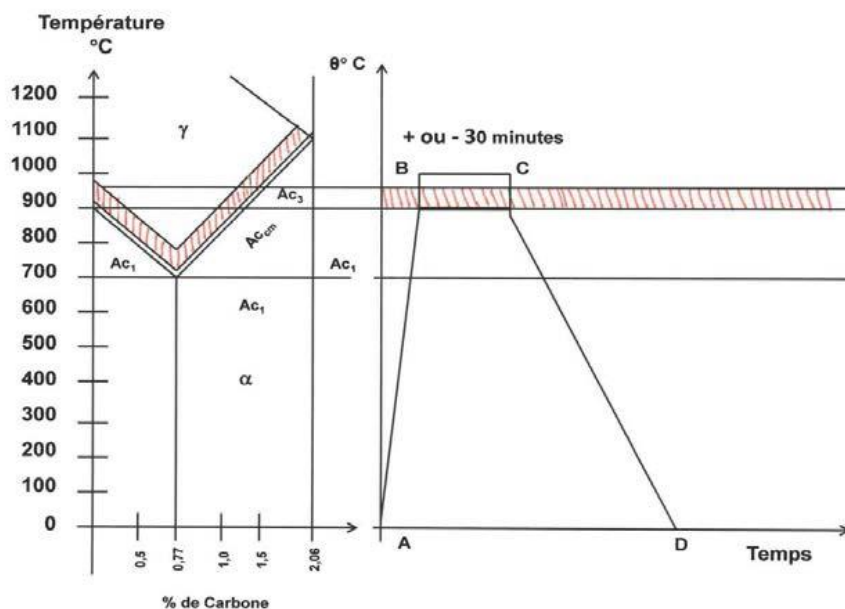
Il est destiné pour les aciers hypoeutectoïdes, qui sont chauffés jusqu'à une température $Ac_3 + (30 \text{ à } 50^\circ\text{C})$ et maintenu à cette température jusqu'au chauffage complet et achèvement des transformations de phases dans le volume du métal et le refroidir lentement. Le refroidissement s'effectue lentement dans le four à faibles degrés de surfusion à fin d'assurer la décomposition de l'austénite et de parer à la formation de structure à grande dureté.

Cette forme de recuit entraîne une recristallisation de phase complète. Le chauffage jusqu'à une température supérieure à $(30 \text{ à } 50^\circ\text{C})$ au point Ac_3 déclenche la formation de l'austénite caractérisée par un grain fin qui définit la constitution après refroidissement d'une structure à grain fin permettant d'obtenir une ductilité et une plasticité élevée et assurant après traitement thermique définitif de très bonnes propriétés.

Un chauffage qui dépasse nettement le point Ac_3 déclenche la croissance du grain d'austénite et dégrade ainsi la qualité de l'acier.

Le recuit complet est généralement appliqué aux pièces ayant subies des traitements mécaniques et thermiques variés (fer en barres, pièces forgées, moulage de forme), afin de faciliter leur usinage, leur déformation à froid ou pour supprimer les contraintes.

Cycle thermique



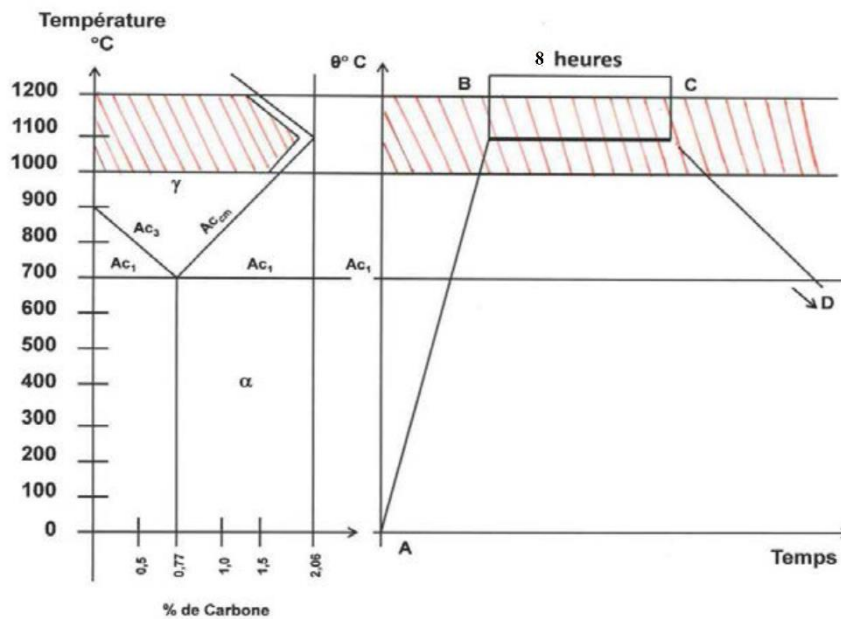
2.2. Recuit d'homogénéisation (de diffusion)

Le recuit s'applique aux aciers bruts de coulée et aux aciers moulés dans le but d'affaiblir ou éliminer les effets de la ségrégation dendritique ou inter-cristalline (les éléments alliés et le carbone sont répartis de manière hétérogène à l'échelle du grain austénitique), c'est à dire, il y a une différence de concentration de ces éléments qui se présentent dans la structure. Cette ségrégation

diminue la plasticité et la ductilité d'un acier allié. Le chauffage du recuit d'homogénéisation doit être compris entre 1000 et 1200 °C, sans toutefois atteindre le domaine de surchauffe du métal qui provoque un grossissement des grains γ . Ce genre de recuit est souvent suivi d'un recuit complet ou de régénération pour affiner les grains et améliorer les propriétés mécaniques.

La durée générale de recuit de d'homogénéisation (chauffage), maintien et refroidissement lent) de grosses pièces varie de 50 à 100 heures et plus. Suivant la composition de l'acier, le poids de la charge, le maintien dure de 8 à 20 heures.

Cycle thermique



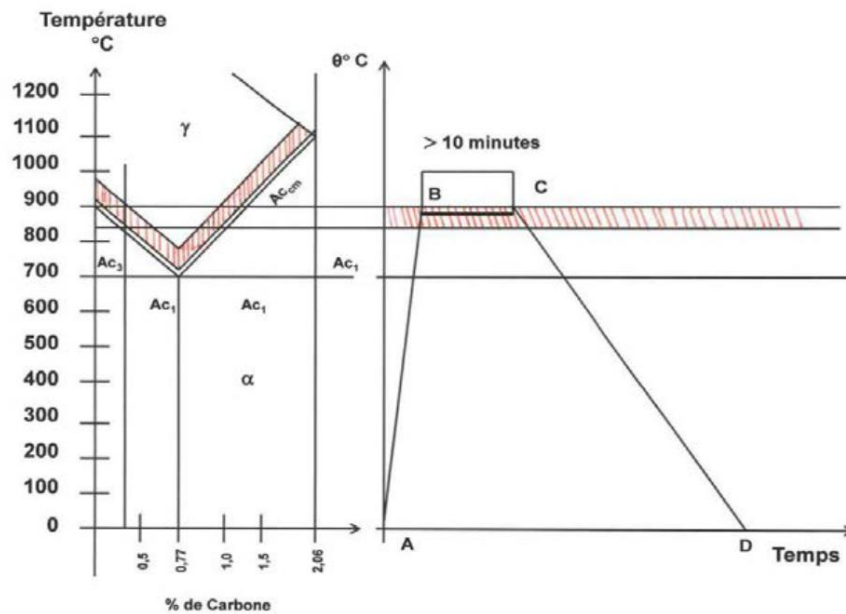
2.3. Recuit de régénération (Affinage structural)

Ce type de recuit est appliqué aux pièces qui ont souvent des structures surchauffées telles que :

- Celles ayant subi un traitement d'homogénéisation par diffusion.
- Les pièces moulées.
- Les zones voisines des joints de soudures.
- Les pièces forgées à haute température etc.. .

Cycle thermique

- Un chauffage sans maintien prolongé à une température légèrement supérieure à Ac_3 (+75°C) de manière à obtenir une austénite à grains fins.
- Un refroidissement à une vitesse convenable conduisant à une structure ferrito-perlitique fine (cas des aciers hypoeutectoïdes).



Le maintien prolongé de l'acier à une température supérieure à Ac_3 (domaine austénitique) favorise le grossissement des grains d'austénite. Lors du refroidissement, de gros grains de perlite apparaissent. Le métal dit « surchauffé » présente alors une certaine fragilité. Le recuit de régénération a pour but d'affiner ce grain et de rendre à l'acier sa structure fine. (fig.2)

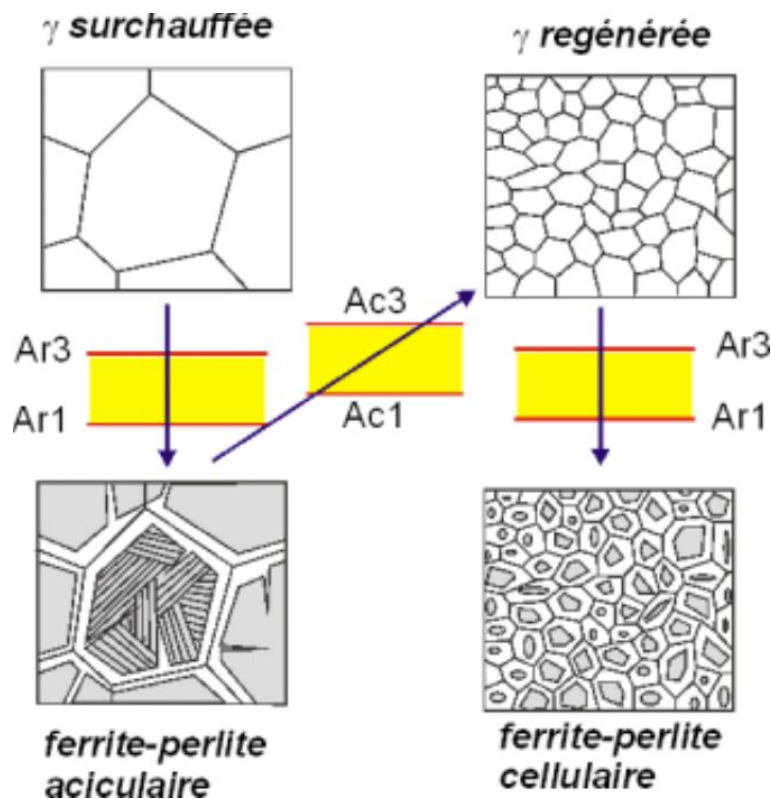


Fig.2. Recuit de régénération

3. Recuits demandant des températures inférieures à A_{c1}

3.1. Recuit d'adoucissement

C'est un recuit qui est réalisé à quelques dizaines de degrés en dessous de A_{c1} (650-680°C) et un maintien pendant 6 à 8h. Suivi d'un refroidissement lent d'environ 10°C/h. Pour les aciers à carbone, la température de chauffage étant de 650 à 750°C (fig. 3).

Le but du recuit d'adoucissement est de donner à l'acier une structure convenable à la trempe et de la transférer à un état usinable et ductile. Après le forgeage et la normalisation la structure des aciers à carbone est perlitique. Pour les aciers fortement alliés, il est le seul traitement qui détruit les structures hors d'équilibre et qui réduit la dureté.

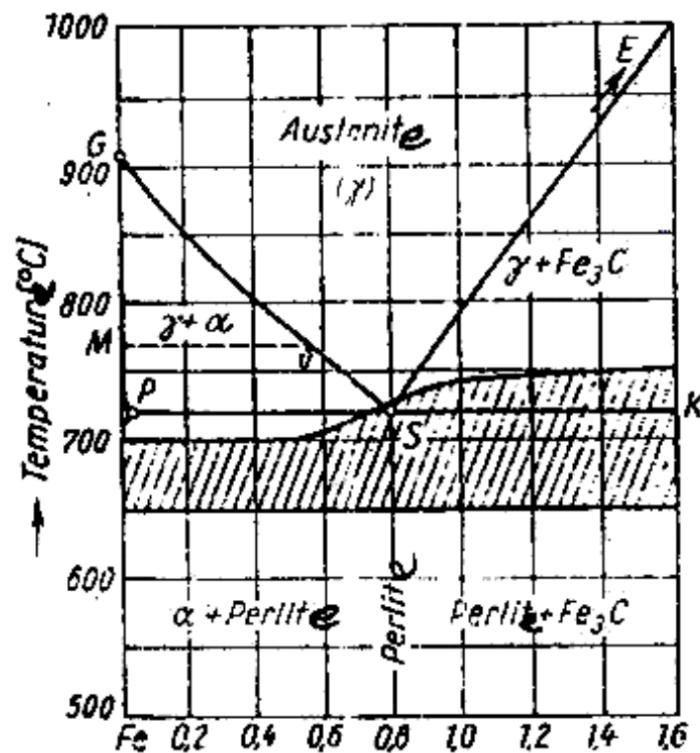


Fig.3. Cycle thermique du recuit d'adoucissement

3.2. Recuit de coalescence (globulisation)

Ce recuit consiste, après chauffage à une température légèrement inférieure à A_{c1} , à maintenir l'acier à cette température pendant un temps plus ou moins long, puis à le refroidir lentement, de façon qu'il soit dans un état aussi doux que possible et exempt de contraintes.

Il s'agit également d'un recuit permettant de faire évoluer la forme géométrique des carbures, telles que les lamelles de cémentite, vers la forme sphérique stable. (fig.4)

Il sert également à améliorer la capacité de déformation à froid du matériau traité.

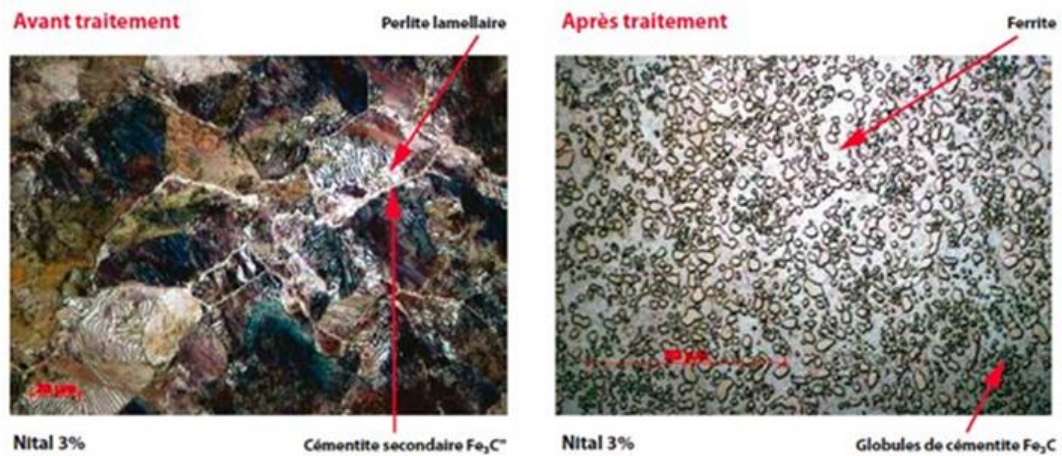
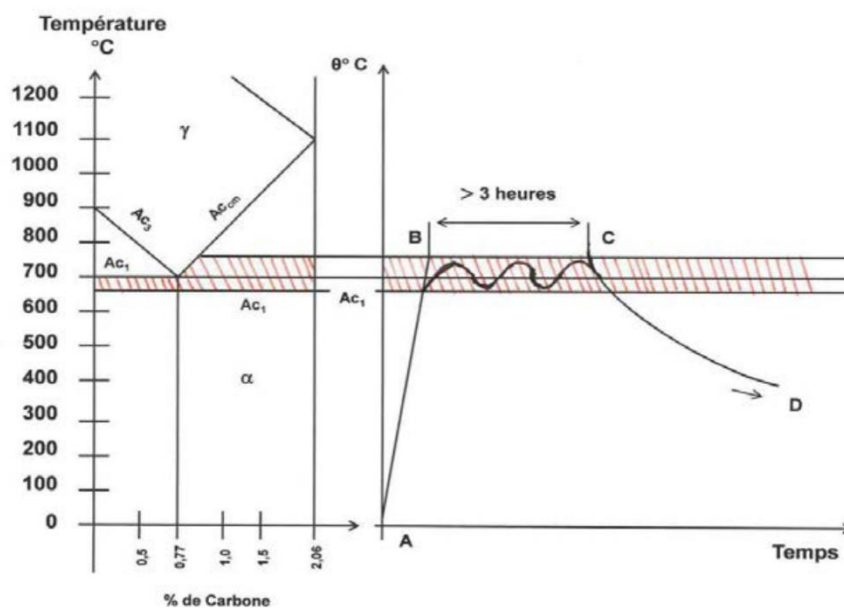


Fig.4. Processus schématique de globulisation de la cémentite à partir d'une perlite lamellaire.

Cycle thermique

- Chauffage juste au-dessous de Ac_1
- Maintien pendant de 2 à 3 heures ou plus à une température comprise entre 700 °C et 730 °C, autour de Ac_1 ;
- Refroidissement très lent dans le four de manière à obtenir une coalescence poussée de la cémentite.



3.3. Recuit de recristallisation

Pendant la déformation plastique à froid (laminage par exemple), le métal subit un écrouissage, c'est à dire, la dureté et la résistance du métal augmentent et sa plasticité diminue. Ce qui rend difficile le travail du matériel par déformation. Dans la structure du métal, à déformation à froid, se provoque les lacunes et dislocations, étirage des grains, désintégration des différents types de cristaux fragiles tels que la cémentite lamellaire de la perlite et les impuretés de la scorie.

Un métal écroui devient fragile et il est souvent nécessaire de procéder à des traitements pour utiliser le métal ou pour pouvoir continuer le travail à froid.

Par l'intermédiaire du recuit de recristallisation à une température supérieure, à la température de recristallisation, l'état de contrainte est éliminé et l'acier acquiert sa plasticité et ductilité grâce à la formation de nouveaux cristaux. La température de recristallisation n'est pas une constante matérielle, mais elle dépend de plusieurs facteurs. Les facteurs les plus influant sont la teneur en éléments d'alliages et le degré de déformation.

La température de recristallisation diminue avec l'augmentation du degré de déformation et de la teneur en éléments d'alliages.

Pour les aciers non alliés, la température de recristallisation est de 450 à 600°C et de 600 à 800°C pour les aciers faiblement et fortement alliés.

Dans les cas des aciers (0,08 à 0,2 %C), les plus utilisés dans le travail à froid, la température de recuit est de 680 à 700°C.

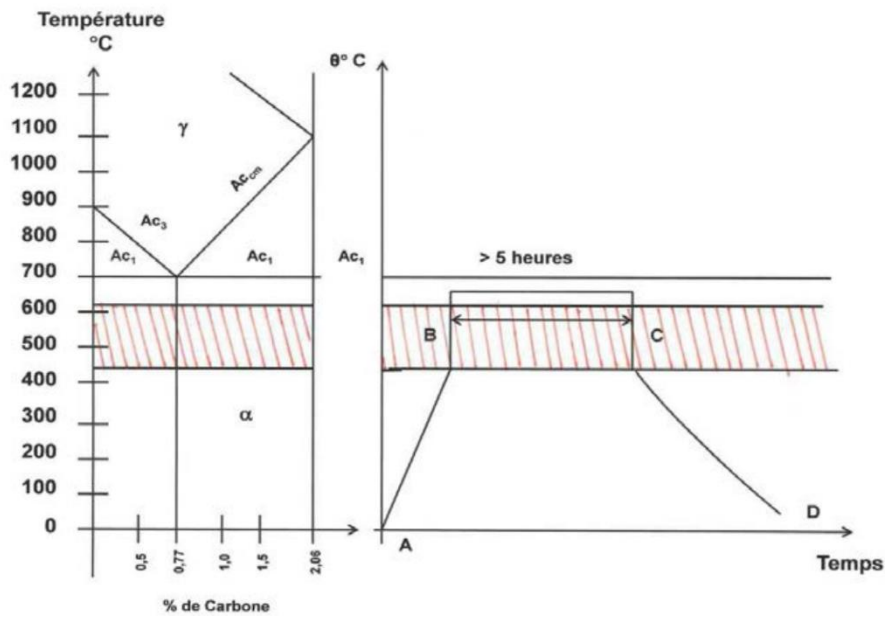
On distingue 3 stades successifs dans le recuit de recristallisation après écrouissage :

- Recuit de restauration
- Recuit de recristallisation
- Grossissement du grain

a. Recuit de restauration

Le recuit de restauration est similaire au traitement de recristallisation. Seule la température de traitement est inférieure. Il entraîne de légers déplacements des atomes, et par la suite fait disparaître partiellement les défauts (lacunes, dislocations) sans qu'il y ait modification apparente de la structure. Les propriétés mécaniques ne sont que partiellement restaurées.

Cycle thermique



b. Recuit de recristallisation

La recristallisation a pour but de remplacer la structure distordue par de nouveaux germes naissent et croissent (germination et croissance) au détriment des anciens (fig.5). L'écrouissage commence à disparaître à une température dépendant du métal, et d'autant plus basse que l'écrouissage est plus grand. La recristallisation fait apparaître des grains d'orientations tout à fait différentes de celle du métal écroui.

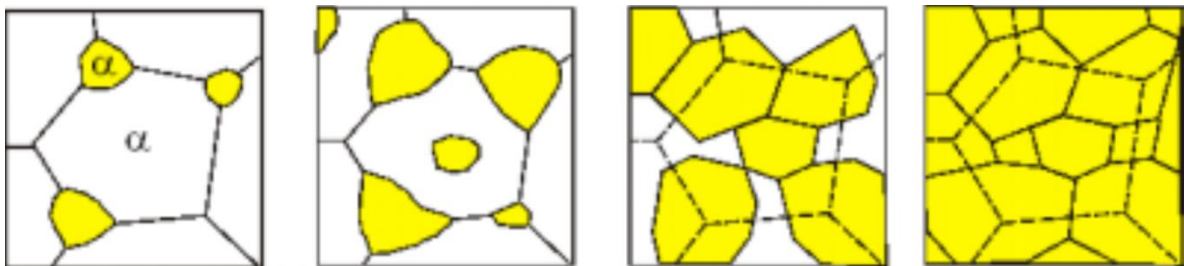
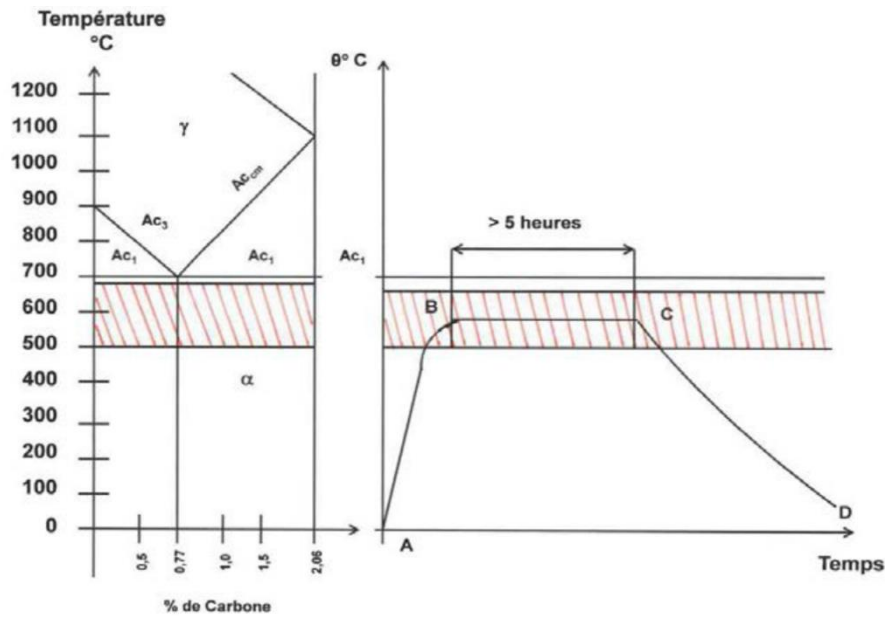


Fig.5. mécanisme de germination – croissance

Cycle thermique



c. Grossissement du grain

Quand la recristallisation est terminée, ou bien encore si l'on élève la température, le grain tend à grossir. Le recuit de recristallisation est conduit de façon à achever la recristallisation tout en limitant la grosseur du grain. (Fig.6)

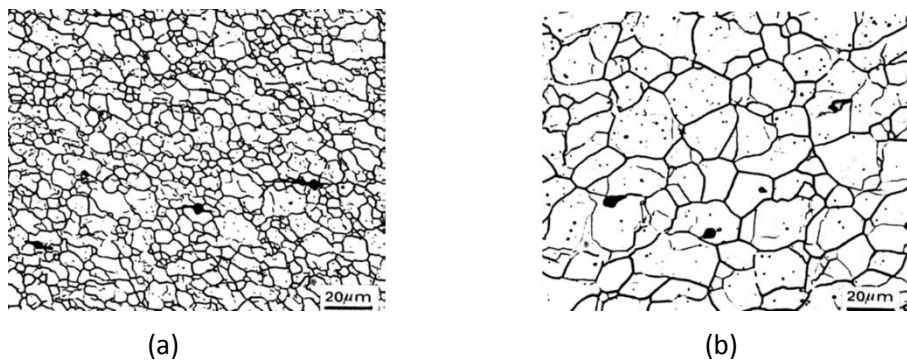


Fig.6. Effet de la température sur la grosseur du grain

(a) acier inoxydable ferritique à 900 °c, (b) acier inoxydable ferritique à 1150 °c

3.4. Recuit de détente

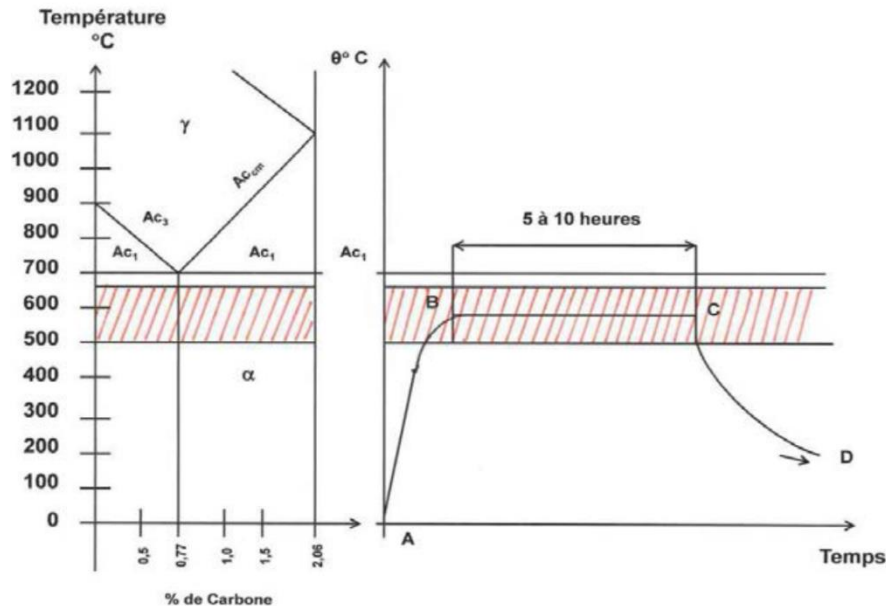
Ce recuit a pour but le relâchement plus ou moins des contraintes propres dues au moulage, soudage, trempe et usinage (après refroidissement irrégulier)

La disparition des contraintes propres ne s'effectue qu'à partir d'une certaine température, puis s'accélère rapidement avec la température. Elle n'est liée à aucun phénomène physico-chimique, et n'a aucun rapport avec les points de transformations.

Ce recuit s'effectue généralement vers 600 à 650°C pendant quelques heures et suivie d'un refroidissement lent. Parfois beaucoup plus bas à 300°C pour certains aciers alliés.

Ce recuit peut être effectué avant usinage ou avant trempe afin de stabiliser les dimensions des pièces (jauges, calibres...)

Cycle thermique



4. Recuit de NORMALISATION

C'est un traitement thermique qui comporte :

- Un chauffage jusqu'au domaine austénitique : (Fig.7)
 - Un chauffage de l'acier hypoeutectoïde à ($A_{C3} + 50^{\circ}\text{C}$).
 - Un chauffage de l'acier hypereutectoïde à ($A_{Cm} + 50^{\circ}\text{C}$).
- Un maintien (assez court) à cette température jusqu'à son échauffement complet.
- Un refroidissement à l'air libre plus rapide que dans le cas du recuit complet.

Le but de la normalisation varie en fonction de la composition de l'acier.

- Pour les aciers à bas carbone, elle remplace le recuit en augmentant quelque peu la dureté. La normalisation assure en coupe un meilleur état de surface.
- Pour un acier à teneur moyenne en carbone, la normalisation remplace la trempe et le revenu à haute température. Les propriétés mécaniques obtenues sont plus faibles, mais l'opération produit une déformation bien moindre que celle due à la trempe.
- Dans le cas d'un acier à haut carbone (hypereutectoïde), la normalisation est appliquée pour éliminer le réseau de cémentite qui peut apparaître lors d'un refroidissement lent dans l'intervalle de température entre A_{Cm} , et A_1 .

La normalisation suivie de recuit d'adoucissement (600 à 650°C) est appliquée souvent au lieu du recuit complet pour corriger la structure des aciers alliés, la productivité de ces deux opérations étant plus élevée que celle du recuit tout seul.

Donc la normalisation est destinée non seulement à la régénération d'un acier surchauffé (affinage du grain, homogénéisation de la structure), mais aussi à :

- Supprimer les effets de la trempe.
- Supprimer l'écrouissage et les tensions internes.

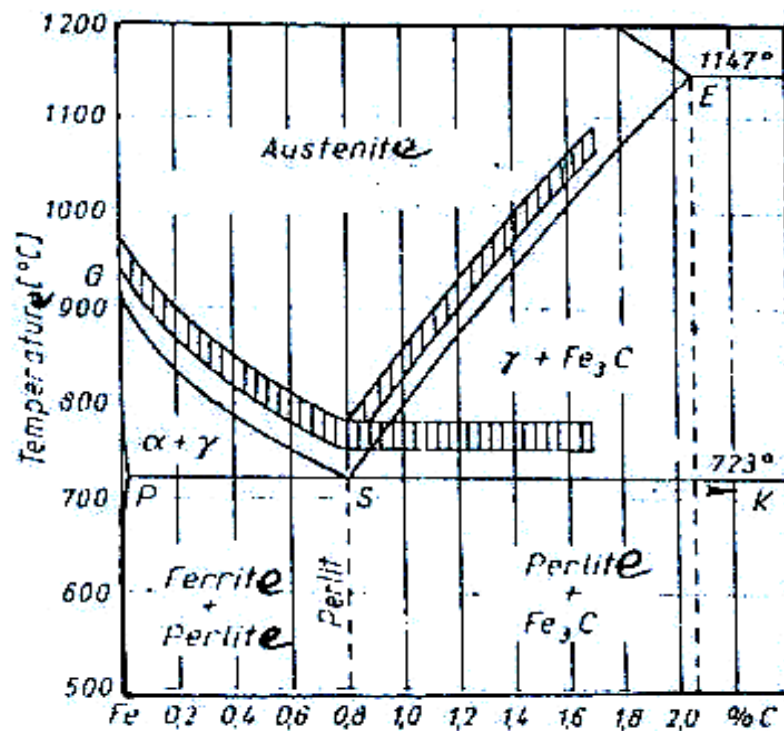


Fig.7. Domaine de température de la normalisation.