

Chap 3 : Les traitements thermiques et thermomécaniques

1

I - Traitements thermiques

Les traitements thermiques des aciers et alliages ont pour objectifs l'amélioration des propriétés mécaniques qui sont essentiellement :

- Résistance maximale : R_m
- Limite élastique : R_e
- L'allongement : A (%)
- Dureté : H
- Résilience : K (résistance au choc). $\rightarrow$ voir

Les variables principales d'un traitement thermique sont :

- Température
- Temps de maintien
- Vitesse de chauffage
- " " refroidissement.
- Atmosphère du four.

Les principaux traitements thermiques sont :

- La trempe
- Le revenu
- Le recuit.

I.1 - La trempe

Trempe d'acier $\rightarrow$ grande dureté ($\gamma \rightarrow A$)

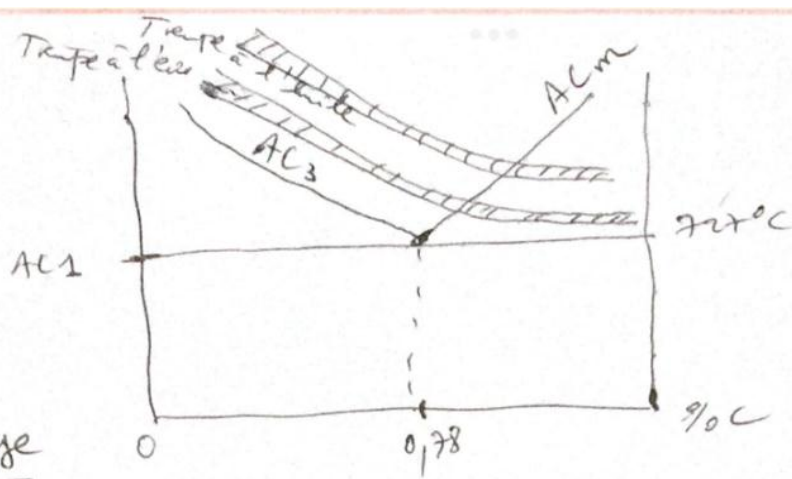
* milieu de trempe : voir page précédente.

* chauffage : $\rightarrow \gamma$ austénisation.

(- Acier hypereutectoïde)

$\left\{ \begin{array}{l} R_m \uparrow \\ R_e \uparrow \\ H \uparrow \\ A \downarrow \\ K \downarrow \end{array} \right.$

a) Trempe de masse :



* Chauffage

- Aciers hypoeutectoïdes: 0 - 0,78 % C de 727° à chauffage à $Ac_3 + 50^\circ C$, soit environ 900° C $\rightarrow$ il dépend donc de la teneur en carbone, plus la teneur est faible, plus la T est grande.

- Acier eutectoïde: 0,78 % C.

chauffage à $Ac_1 + 50^\circ C$, soit environ 780° C.

- Acier hypereutectoïde: 0,78 - 1,7 % C.

chauffage à $Ac_1 + 50^\circ C \rightarrow 780^\circ C$.

* Traitement

le maintien à la T° d'austémisation dépend de :

- la dimension et la forme de la pièce.

- Aciers ordinaires $\rightarrow$ 15 mn

" alliés $\rightarrow$ 30 mn

* Refroidissement

c'est le paramètre essentiel pour conditionner la structure finale, et donc les propriétés d'usage.

b) Trape superficielle ou localisée:

A pour but d'obtenir d'une grande dureté en surface en conservant un bon allongement. Elle consiste à chauffer (par induction ou par flamme) localement la surface de la pièce jusqu'à T° d'austémisation. Le refroidissement s'effectue généralement par jet d'eau sous pression.

Matériaux : aciers ordinaires (C42) ou faiblement alliés.

I.2. Revenu

(3)

Après trempe $\rightarrow \begin{cases} R_m, R_e, H \uparrow \\ A, K \downarrow \end{cases}$ à cause de la présence de martensite

Le revenu est destiné à obtenir un compromis satisfaisant entre R_m, R_e, H et K . (élimination des contraintes).

Revenu $\begin{cases} - \text{chauffage à } T_R < A_{C1} \\ - \text{maintien pendant } t_R \text{ à } T_R \\ - \text{refroidissement "lent" à la } T_{ambiante} \text{ (pour éviter les contraintes)} \end{cases}$

Le contrôle des propriétés se fait à travers T_R et t_R .

Types de revenus $\begin{cases} - \text{de relaxation ou de détente} \\ - \text{de structure ou classique} \\ - \text{de durcissement} \end{cases}$

a) Relaxation ou détente

$180^\circ\text{C} \leq T_R \leq 250^\circ\text{C}$: ne provoque aucune modification de structure mais une relaxation des contraintes provoquées par la trempe.

Trempe $\Rightarrow \begin{cases} H \downarrow \text{ légère} \\ K \uparrow \text{ légère} \end{cases}$

destiné à obtenir des pièces par utilisation sous de fortes sollicitations sans choc.
de fatigue superficielle.

b) Structure ou classique

$500^\circ\text{C} \leq T_R < A_{C1} \Rightarrow \begin{cases} K, A \uparrow \\ \text{forte diminution de } H, R_m, R_e. \end{cases}$

Selon $T_R \rightarrow$ pièces avec caractéristiques contrôlées.

c) Durcissement :

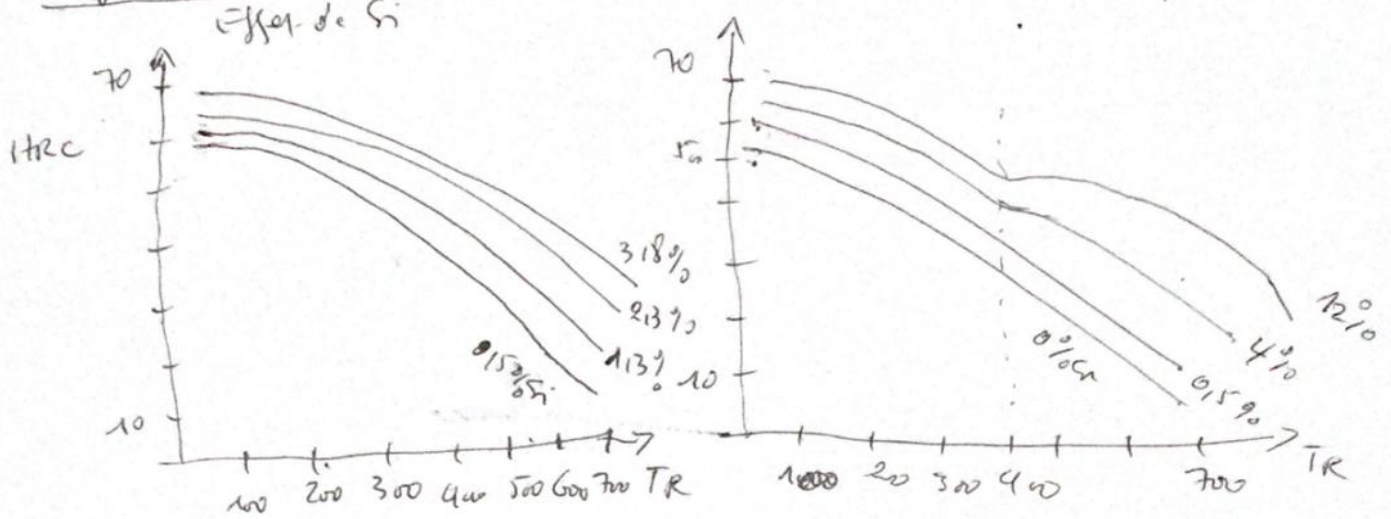
$400^\circ\text{C} \leq T_R \leq 600^\circ\text{C}$ pour les aciers alliés on obtient des pièces dures (durcissement secondaire) : aciers à outils au Cr.

Ceci est dû à la précipitation de carbures complexes en reste d'austénite résiduelle au début, et puis re-formation de martensite pendant le refroidissement.
Il est donc nécessaire de faire à 2^{ème} revenu pour éviter la fragilisation par cette martensite secondaire.

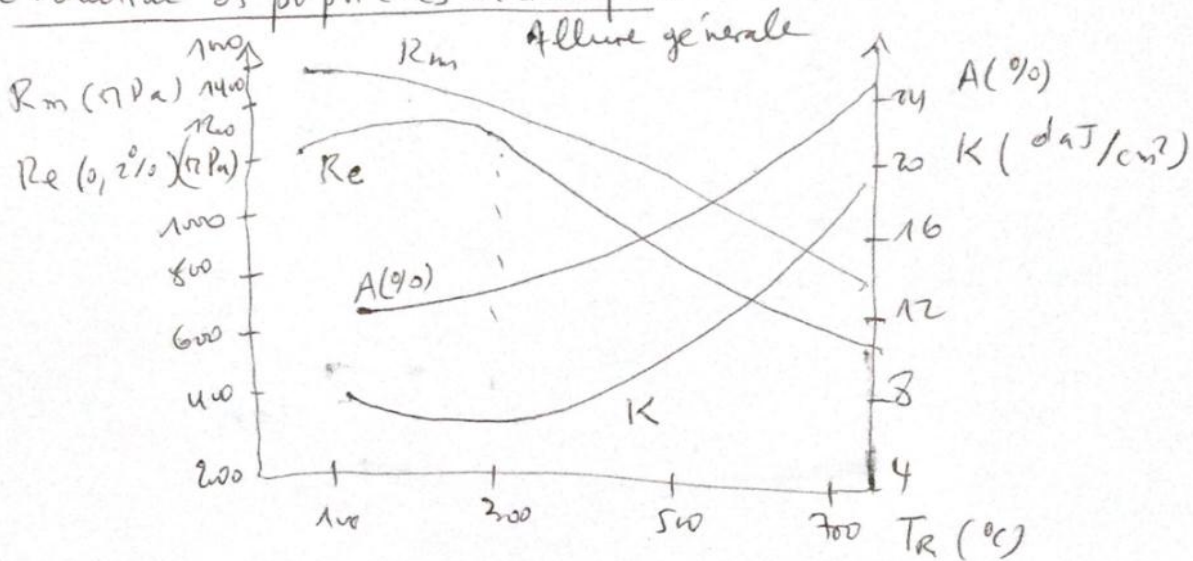
* Influence de la composition chimique

effet de Cr

(4)



* Evolution des propriétés mécaniques



Cette évolution est ~~de~~ le comportement général pour ~~des~~ types d'aciers (alliés et non alliés) trempés dans ~~des~~ milieux.

I. 3. Recuit

A pour objectif de mettre l'acier dans une structure bien déterminée pour faciliter l'usinage ou la mise en forme par déformation plastique ^{conduit à l'équilibre} thermodynamique.

ce consiste à chauffer la pièce entre 700°C et 1000°C, maintenir et refroidir lentement.

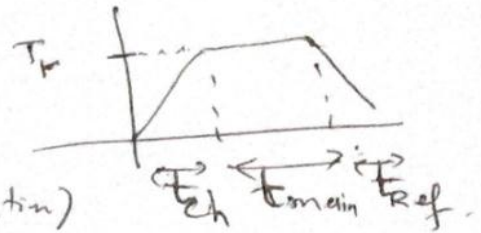
Précision : bien fixer la vitesse de chauffage et de refroidissement au passage par AC1 pour bien contrôler la structure.

* Effet du recuit :

- Élimine les effets des traitements antérieurs → fait disparaître les états hors équilibre
- Donne à la pièce un équilibre physico-chimique, mécanique et structural à cause du refroidissement lent (diagramme d'équilibre)
- Donne des pièces de meilleurs ductilité → usinabilité et mise en forme.

* Différents types de recuits :

- Adoucissement
- normalisation
- détente (relaxation ou stabilisation)
- diffusion (homogénéisation)

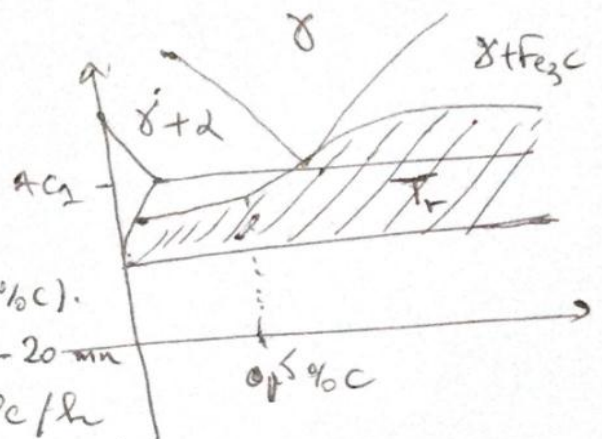


a) Recuit d'adoucissement

Effectué sur les pièces trempées pour faciliter l'usinage (ductilité).
 $T_r (650 - A_{c1} + 80^\circ C \text{ selon } \%C)$.

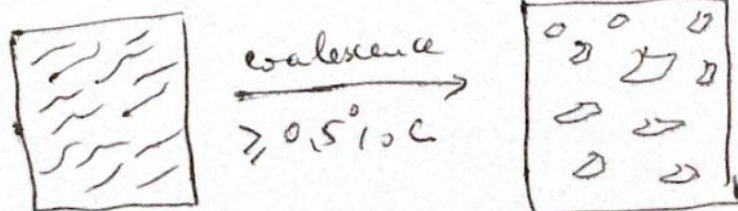
- Chauffage à $(A_{c1} + 80^\circ C)$ avec $t_m = 15 - 20 \text{ min}$
- Refroidissement lent à l'air $\sim 10^\circ C/h$

Si t_m est poussé → retour à la structure d'origine.



Une variante de ce recuit → recuit de coalescence → structure globulaire de carbone dans la matrice ferritique. Il est recommandé pour les aciers avec $\%C > 0,5\%$ pour avoir la meilleure usinabilité à la sue, fraise, tour.

Pour $\%C < 0,5\%$ → ce recuit est défavorable (surfaces usinées rugueuses) → donc conserver la structure perlitique lamellaire.



b) Recuit de normalisation

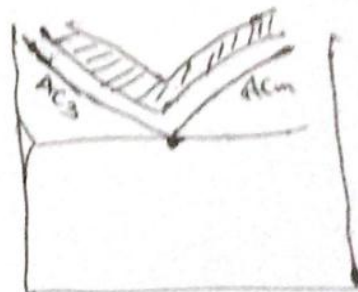
(6)

A pour but d'avoir des pièces avec une structure fine et de meilleures propriétés mécaniques par élimination des hétérogénéités mécaniques et métall. après coulé.

$$- T_r = \begin{cases} - A_{C3} + 50^\circ C & \text{pour les aciers hypo-eut} \\ - A_{Cm} + 50^\circ C & \text{" " hyper-eut} \end{cases} \left. \begin{array}{l} \text{dnc} \\ \text{Austénitisation} \end{array} \right\}$$

- Flambement assez court selon la dimension de la pièce

- Refroidissement à l'air



Les vitesses de chauffe et refroid. sont importantes, plus elles sont grandes, plus les grains sont fins.

c) Recuit de détente ou relaxation.

A pour but de supprimer les contraintes internes après certaines opérations (déformation à froid, soudure, ...). Il pourra être appliqué pour les aciers et aussi pour les fontes moulées. Il pourra :

- T_r ~~à A_{C3}~~ varie en fonction de la nature de la pièce. Les contraintes diminuent si $T_r \uparrow$ et $t_m \uparrow$. Il pourra être effectué en plusieurs phases :

c-1 : recuit de régénération :

La surchauffe de l'acier (après homogénéisation, cémentation, forgeage à chaud, soudage) doit être corrigée par ce recuit pour affiner les grains :

- chauffage à T_r légèrement supérieure à $\left. \begin{array}{l} - A_{C3} \rightarrow \text{hypo} \\ - A_{C1} \rightarrow \text{hyper} \end{array} \right\}$
- $t_m \approx 15-30 \text{ mn}$ selon la dimension de la pièce
- Refroidiss. contrôlé pour éviter le grossissement des grains de α .

Ce recuit conduit à une bonne ductilité de l'acier

C-2 : recuit de recristallisation

(7)

Les pièces déformées mécaniquement à chaud et à froid (forgeage, laminage, tréfilage, ...) ~~présentant~~ des grains écrasés et orientés suivant le sens de la déformation $\rightarrow$ elles ne peuvent plus supporter de nouvelles opérations de déformation (écrouissage max.). L'élimination de cet état est réalisée à travers le recuit de recristallisation (ré-equilibrage).

- T_R : $500 - 700^\circ\text{C}$ (peut être sous atmosphère contrôlée pour éviter l'oxydation).
- t_m : $\sim 48\text{ h}$
- Refroid. lent.

a) Recuit de diffusion ou d'homogénéisation

Après coulée et à cause de vitesses de refroidissement relativement élevées, on obtient des pièces chimiquement hétérogènes : les éléments d'alliage ne sont pas distribués de manière uniforme $\rightarrow$ ségrégation au niveau des joints de grains conduisant à des propriétés mécaniques irrégulières. Le recuit d'homogénéisation permet de remédier à ce pb :

- T_R : $\left\{ \begin{array}{l} - A_{C3} + 200^\circ\text{C} \text{ pour les aciers hypo.} \\ - A_{Cm} + 200^\circ\text{C} \text{ " " hyper.} \end{array} \right.$

- t_m : relativement lent et est calculé selon le taux de diffusion des éléments d'alliage et les dimensions des pièces.

- Refroid. lent.

Après cette opération, la pièce est homogène mais surchauffée $\rightarrow$ recuit de régénération.