

Traitements thermiques des alliages

1- Rappels et prérequis

2- Transformations au chauffage

2-1. L'austénitisation

2-2. Grosseur de grain austénitique

2-3. Mise en solution des précipités

3- Transformations de l'austénite

4- Transformations au revenu

5- Applications

2-1. L'austénitisation

Si l'on veut maîtriser l'état de la matière APRES une trempe, il faut maîtriser l'état de la matière AVANT. Le traitement qui précède une trempe s'appelle l'**AUSTENITISATION**.

L'austénitisation a pour objet de **mettre en solution** le carbone (*et éventuellement les éléments d'alliage précipités sous forme de carbures*). Pour ce faire, il est nécessaire de se placer dans les conditions où le carbone est soluble dans le fer c'est-à-dire de provoquer, **par chauffage**, la transformation du fer α en fer γ .



⇒ Paramètres externes déterminants

Vitesse de chauffage

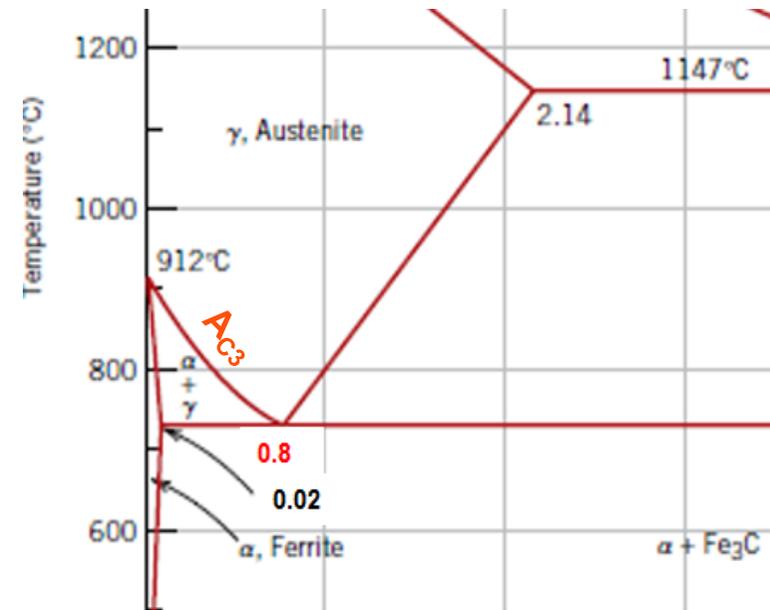
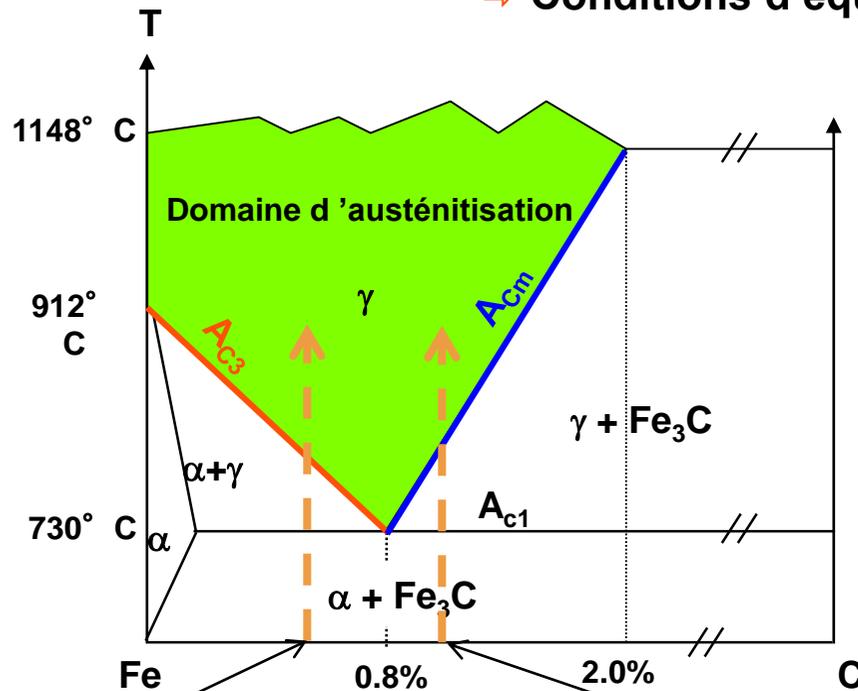
Température et temps de maintien

⇒ Paramètres internes visés

Mise en solution, homogénéisation des phases, grosseur du grain

2-1. L'austénitisation

⇒ Conditions d'équilibre (lent)



Chauffage d'un acier hypoeutectoïde

Chauffage d'un acier hypereutectoïde



2-2. Grosseur de grain austénitique

⇒ La **taille des produits** de transformation de l'austénite lors de la trempe dépend de la taille du grain initial de l'austénite

⇒ Bonnes **propriétés** (R_e , R_m) des structures finales si austénite à grains fins

⇒ Norme ASTM E 112 ou NF EN ISO 643

Détermination de la grosseur de grain moyen apparente à partir de sections micrographiques

Calcul de l'indice G de taille de grain moyen apparente à partir du nombre moyen m de grains pour une surface de 1 mm^2 sur une coupe de l'échantillon :

$$m = 8 \times 2^G$$

Correspondance G – diamètre moyen (μm)

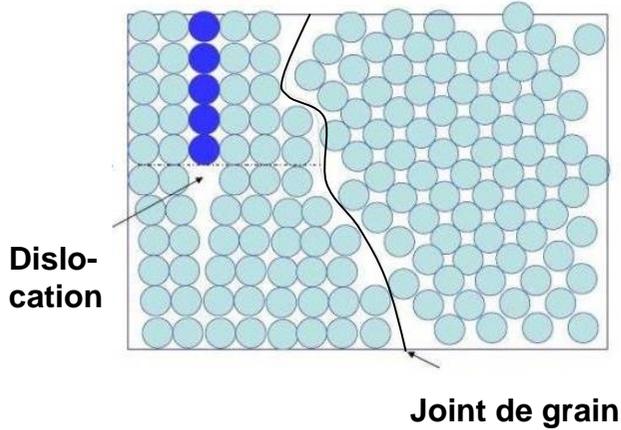
Valeurs des indices de grosseur de grain G	Diamètre moyen d'un grain en μm	Valeurs des indices de grosseur de grain G	Diamètre moyen d'un grain en μm
-7	4000	6	44.2
-6	2828	7	31.2
-5	2000	8	22.1
-4	1414	9	15.6
-3	1000	10	11
-2	707	11	7.8
-1	500	12	5.5
0	354	13	3.9
1	250	14	2.8
2	177	15	2
3	125	16	1.4
4	88.4	17	1
5	62.5		

Grain fin
 $\approx 15 \mu\text{m}$

Grains très fins
 $\approx 5 \mu\text{m}$

Grain grossier $\approx 250 \mu\text{m}$

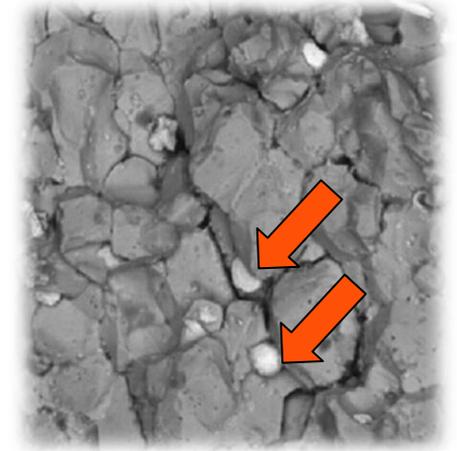
(1)



⇒ La taille de grain influe sur :

- ⇒ Mouvement des dislocations (1)
- ⇒ Germination d'une nouvelle phase
- ⇒ Concentration des éléments ségrégués (2)

⇒ Contrôle de la taille de grain



(2)

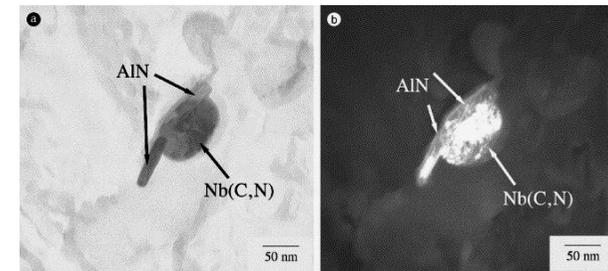
On peut agir sur la taille du grain lors de l'austénitisation

⇒ En choisissant bien la température et le temps d'austénitisation (grossissement du grain thermiquement activé)

Paramètre (P) d'équivalence temps / température d'austénitisation.

$$P = \frac{1}{\frac{1}{T_a} - \frac{2,3R \ln t_a}{\Delta H_a}}$$

⇒ Par blocage des joints de grain (précipitations de fines particules insolubles type AlN, TiN, TiC...)



⇒ Contrôle de la taille de grain

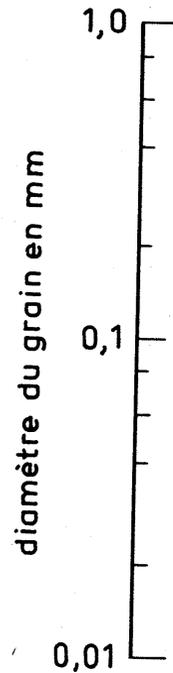
Effet des nitrures et carbonitrures

⇒ Le plus couramment utilisé pour le **contrôle** du grain austénitique est le **nitrure d'aluminium**, mais également les **nitrures et carbures de titane**

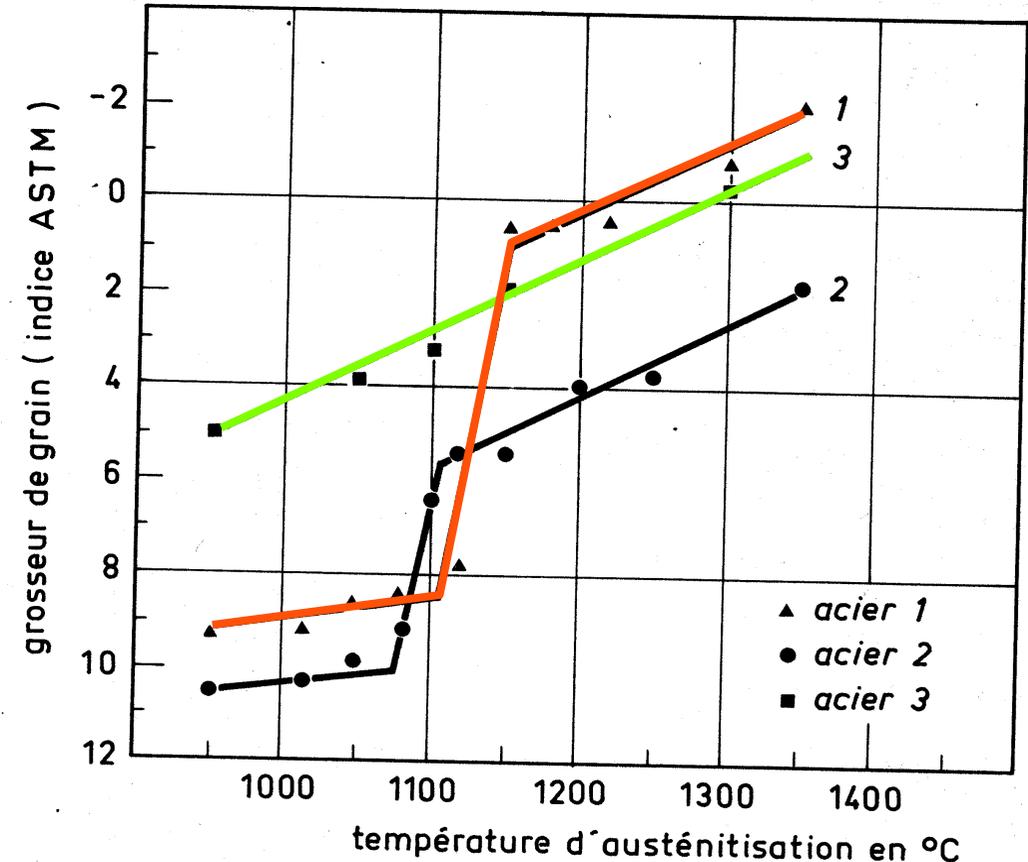
⇒ **Taille de grain** : fonction des précipités et de la température

⇒ Présence de nitrure de titane à coté du nitrure d'aluminium se traduit par :
- **affinement supplémentaire**
- **freinage important du grossissement** aux hautes températures

30 mn de maintien
Acier 1 : avec azote et aluminium
Acier 2 : avec azote, aluminium et titane
Acier 3 : sans élément dispersoïde



Acier soudable
0.18%C, 1.30%Mn, 0.35%Si



Chauffages avec maintien isotherme

Diagramme d'austénitisation IHT (Isothermal Heating Transformation)

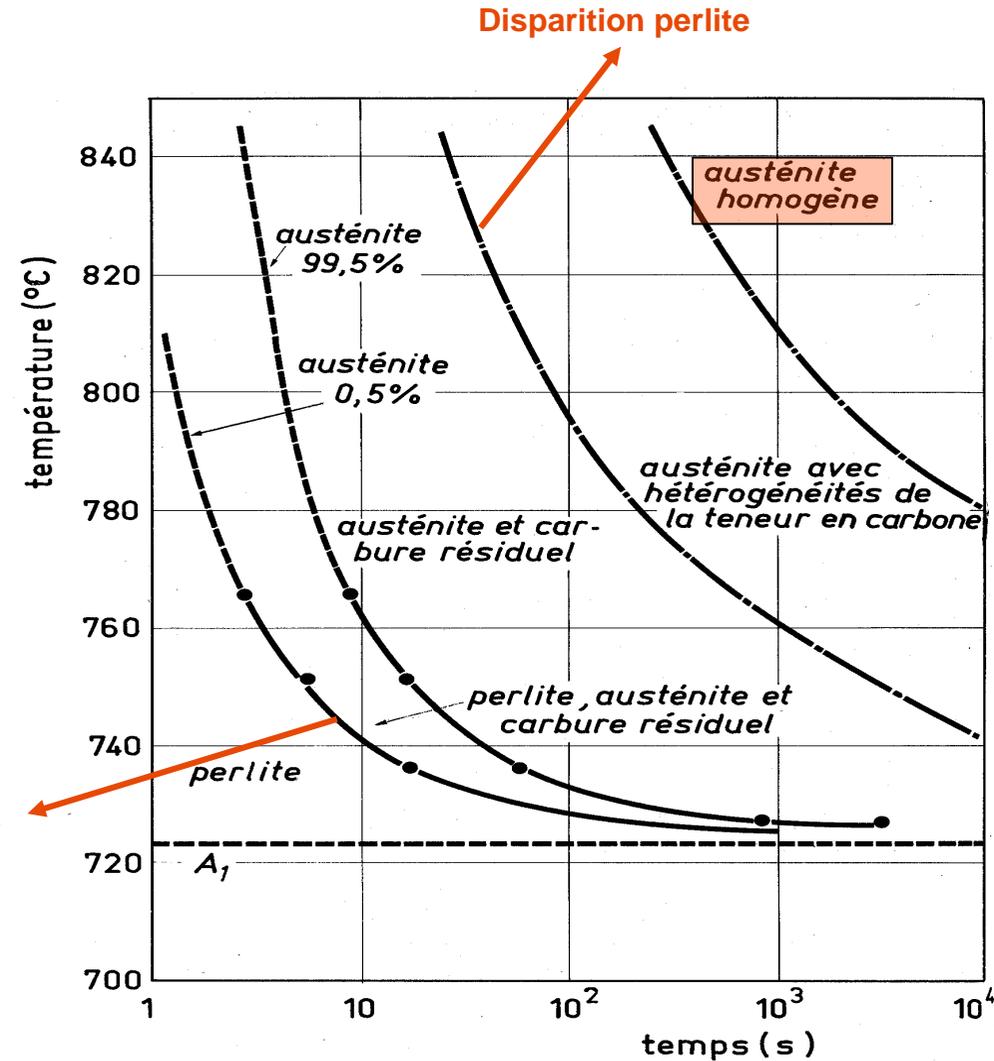
En général : **chauffage** pas très rapide jusqu'à une température déterminée suivi d'un **maintien** à cette température

Choix des conditions optimales (T , t_m) permet d'assurer un bon compromis entre austénite **homogène** et **grain** austénitique suffisamment **fin**

Méthodes d'étude (analyse dilatométrique et micrographique)

Diagramme IHT

Début et fin de disparition des constituants
Transformations se poursuivent au cours des maintiens et se terminent pour des temps de séjour d'autant plus courts que la température est élevée



Acier eutectoïde

2-3. Mise en solution des précipités



La température d'austénitisation doit être choisie de telle sorte qu'après le maintien, non seulement le **carbone soit en solution** mais aussi que cet élément d'alliage soit bien **réparti** dans l'austénite afin que puisse être acquis *in fine* un **durcissement homogène**.

⇒ Mise en solution des carbure influencée par :

- la **température**,
- la forme et les dimensions (aire de l'**interface ferrite-carbure**) des carbures
- la nature et la teneur des **éléments d'alliages** (tendance à donner des carbures (*voir ci-dessous*), freiner les interfaces de transformation)

Si - Al - Cu - Ni - Co - **Fe** - Mn - Cr - Mo - W - V - Ti - Nb

éléments
non-carburigènes

éléments
carburigènes



Résumé

L'**austénitisation** a pour objet de **mettre en solution le carbone** et, éventuellement, les éléments d'alliage précipités sous forme de carbures.

Pour ce faire, il est **nécessaire de se placer dans les conditions où le carbone est soluble dans le fer** c'est-à-dire de **provoquer, par chauffage, la transformation du fer α en fer γ** .

Dans le cadre des traitements thermiques dans la masse, l'austénitisation comporte deux étapes :

- **un chauffage** jusqu'à la température dite température d'austénitisation,
- **un maintien** à cette température.

Les conditions dans lesquelles ces deux opérations doivent être réalisées peuvent être définies à l'aide de diagrammes tracés en conditions isothermes (cf. p.7)

La température d'austénitisation doit être choisie de telle sorte qu'après le maintien, le **carbone** soit en **solution** mais aussi **bien réparti dans l'austénite** afin que puisse être acquis un durcissement homogène.

Ce résultat peut être obtenu si la **température d'austénitisation est supérieure à A_{c3}** (acier hypoeutectoïde) tout en ne s'élevant pas trop pour **éviter le risque de grossissement des grains d'austénite**. Les conditions optimales sont donc définies après examen des spécificités du chauffage et du maintien.