

## Enoncés et solutions

### TD 1-Cours Génie de Surfaces, Nitrocarburation ferritique en bain de sels

Soit un acier de type 25CD4 subissant une nitrocarburation ferritique en bain de sels à la température 580°C/ à des temps allant de 1h à 6h avec une séquence de 1h. Les tests de microdureté Vickers sur des coupes transversales polies et attaquées  $HV=f(\text{Profondeur})$  ont donné le profil suivant (Fig.1, traitement NC).

1. Déterminer pour NC, l'épaisseur conventionnelle de la couche totale nitrocarburee.

Sol: L'épaisseur conventionnelle de la couche totale nitrocarburee est calculée comme suite : a) Nous devons tracer une parallèle à l'axe des X (Profil en  $\mu\text{m}$ ), cette parallèle son intersection avec l'axe de microdureté donne la dureté moyenne de la matrice non affectée par le phénomène diffusionnel.

b). Une autre parallèle par rapport à l'axe X prise comme  $HV = HV_{\text{Matrice}} + 50 - 100HV$

c) L'intersection de la parallèle avec le profil  $H\mu$  en fonction de la distance donne l'épaisseur conventionnelle de la couche Nitrocarburee (en prenant la verticale par rapport à l'axe HV).

2. Donnez les configurations microstructurales pour les temps de diffusion 580°C/1h, 3h et 6h.

Sol: Configurations microstructurales pour les temps de diffusion

580°C/1h: Couche d diffusion formée de  $\alpha$ +Carbures et nitrures de chrome et de molybdène

580°C/3h:  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{N,C,O}) + \gamma'\text{-Fe}_4(\text{N,C,O})$ + Couche d diffusion formée de  $\alpha$ +Carbures et nitrures de chrome et de molybdène

580°C/6h:  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{N,C, O}) + \gamma'\text{-Fe}_4(\text{N,C,O})$ + Couche d diffusion formée de  $\alpha$ +Carbures et nitrures de chrome et de molybdène

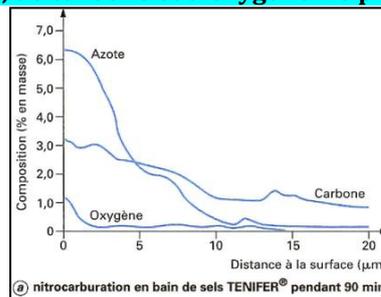
La différence entre 580°C/3h et 580°C/6h, ce sont les mêmes couches qui s forment, la différence réside dans l'épaisseur de couches ou elles sont importantes pour 580°C/6h.

3. Expliquez à quoi est due la diminution de la dureté en extrême surface pour les couches nitrocarburees

Sol: La diminution de la dureté en extrême surface pour les couches nitrocarburees est expliquée par la présence des pores dans la couche de combinaison  $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{N,C,O}) + \gamma'\text{-Fe}_4(\text{N,C,O})$ , elle est importante dans la phase Epsilon, puis la densification augmente avec la profondeur nitrocarburee.

4. Tracez le profil de concentration en fonction de la profondeur des atomes diffusés.

Sol: En nitrocarburation ferritique en bain de sels, l'insufflation de l'air dans le bain de cyanures provoque des réactions de dismutation et de dissociation, ce qui conduit à la libération des atomes d'azote, de carbone et d'oxygène. Le profil est le suivant :



Exemple tiré de l'encyclopédie Techniques d'ingénieur - Matériaux-Nitruration et dérivés

### TD 1- Cours, Génie de Surfaces, Carbonituration gazeuse

1. Tracez le cycle de nitrocarburation gazeuse le plus économique d'un acier de nuance 18CD4 d'une pièce de dimensions importante. Argumenter le choix de votre cycle.

Sol: Cycle de nitrocarburation gazeuse de l'acier 18CD4 : Chauffage à la température inférieure à celle de la température de la transformation eutectoïde du diagramme d'équilibre binaire Fe-Azote (592°C) dans l'intervalle de température 500-580°C pour un temps de diffusion 8h qui nous permettent de former totalement toutes les couches possibles  $\epsilon + \gamma'$ +Carbonitrures/Le chauffage s'effectue dans un four à atmosphère contrôlée, l'introduction de deux types de gaz précurseurs  $\text{NH}_3 + \text{CH}_4 + \text{H}_2$ , pour  $T^\circ\text{C} < 580^\circ\text{C}$ , ces gaz se dissocient et donnent des radicaux de types CN(carbonitrures)qui diffusent à travers la matrice préalablement préparée (Matrice ayant une structure ferrito perlitique ou structure de revenu de type sorbitique ou troostitique). Le refroidissement s'effectue à l'air libre.

**Enoncés et solutions**

2. Quel est le traitement qui suit directement la carbonituration gazeuse ainsi que l'architecture microstructurale établie.

**Sol :** Le traitement qui suit la carbonituration gazeuse : Le revenu à basse température 180-200°C pendant 1 à 2h, refroidissement à l'air libre.

La microstructure établie : Couche de martensite de revenu en présence d'austénite résiduelle et de carbonitrures.

3. De quoi est constituée l'atmosphère de la carbonituration et écrire les réactions chimiques plausibles.

**Sol :** L'atmosphère de la carbonituration gazeuse est formée soit :

de N<sub>2</sub> en présence de CO,  $N_2 \rightarrow 2N_{at}$ ,  $2CO \rightarrow CO_2 + C_{at}$ , En conséquence les atomes d'N + C diffusent dans le domaine austénitique ( $\gamma$ -Austénite, solution solide d'insertion du carbone et de l'azote dans le Fe $\gamma$ ).

de NH<sub>3</sub> en présence de CH<sub>4</sub>,  $NH_3 \rightarrow 2N + 3H_2$ ,  $CH_4 \rightarrow C_{at} + 2H_2$ , En conséquence les atomes d'N + C diffusent dans le domaine austénitique ( $\gamma$ -Austénite, solution solide d'insertion du carbone et de l'azote dans le Fe $\gamma$ ).

**TD1. Cours Génie de Surfaces, Cémentation en caisse**

1. Citez tous les types d'aciers de cémentation

**Sol :** Aciers de cémentation : Aciers à bas carbone (XC10, XC15, XC18 XC25, 16MnCr5, 18CD4, 25CD4 etc....).

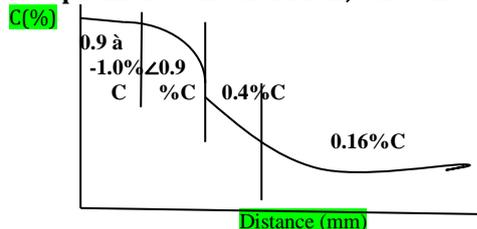
2. Donnez le cycle complet de la cémentation solide d'un acier à grain fin par hérédité (16MnCr5) et écrire la réaction chimique qui se déroule lors du procédé.

Le cycle complet de la cémentation solide de l'acier 16MnCr5 : Ce type d'acier de cémentation contient du manganèse et du chrome qui augmentent respectivement l'étendue du domaine austénitique et la trempabilité. L'acier renferme une structure ferrito-perlitique à grain fin. Le type de ciment BaCO<sub>3</sub> (activateur) et du charbon de bois (source) : A la température AC<sub>3</sub> + 30-50°C (900-920°C) dans le ciment solide ou la pièce est immergée dans le ciment, maintien pour une durée de 2-6h, refroidissement au four. Réactions :  $BaCO_3 \rightarrow BaO + CO_2$ ,  $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ ,  $2CO \rightarrow C_{at} + CO_2$  / En conséquence, le carbone diffuse à travers la surface de l'échantillon pour former une austénite riche en carbone, cette concentration varie en fonction de la profondeur, après refroidissement à l'air libre, pour des vitesses de refroidissement très lentes, y'a formation en extrême surface et en sous couches des structures Perlite + Cémentite secondaire, Perlite et après des aciers hypoeutectoides Ferrite + perlite et enfin la structure de la matrice.

3. Schématiser la microstructure depuis l'extrême surface jusqu'au cœur

Couches : **Perlite+Cm<sup>II</sup>, Perlite, Perlite + Ferrite**

4. Tracez le profil de concentration, Carbone =f(Profondeur)



**TD1. Cours Génie de Surfaces, Boruration**

1. Ecrivez toutes les réactions chimiques pour toutes les phases de la boruration

1. Boruration en phase solide :  $B_4C + SiC + KBF_4 / B_4C + Na_2CO_3$

2. Boruration par voie liquide (électrochimique et chimique dans des sels fondus (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> (850-1050°C), KBF<sub>4</sub> (600-850°C)

3. Boruration par voie gazeuse (Diborane B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> en présence H<sub>2</sub>, Halogénures (BF<sub>3</sub>, BCl<sub>3</sub>, BBr<sub>3</sub>)

2. Boruration en caisse, T°C= 950, temps de diffusion 6h.

2a). Quelles sont les phases possibles qui se forment pour deux types d'aciers 45CD4 et XC45.

45CD4 : FeB+Fe<sub>2</sub>B+Zone de transition+Matrice

XC45 : FeB+Fe<sub>2</sub>B+Zone de transition+Matrice

### **Enoncés et solutions**

La différence réside dans l'épaisseur des couches borurées, en effet, la présence des éléments d'addition tels que le chrome et le molybdène empêchent la diffusion du bore ce qui entraîne un freinage du bore ce qui limite l'épaisseur des couches.

- 3. Tracer les profils Hv et concentration de bore en fonction de (X\_distance) pour ces deux types d'aciers, s'il y'a changement expliquer les raisons.**

Pour l'acier XC45 boruré, l'épaisseur de la couche conventionnelle est importante. En revanche, pour l'acier 45CD4, l'épaisseur est moins importante et cela est due à l'effet des éléments d'addition comme le chrome et le molybdène qui limite les couches borurées.

- 4. Est-ce que le bore a un effet sur le carbone et les transformations de phases lors de la boruration solide.**

En effet, la présence en quantité importante de carbone limite la diffusion du bore et ce dernier entraîne un déplacement du front de carbone vers les sous couches ce qui permet de favoriser la transformation perlitique.

- 5. D'après la figure 1, estimer l'épaisseur totale de la couche borurée (B1 et B2)**

**Epaisseurs B1 (250µm), B2 (280µm)**

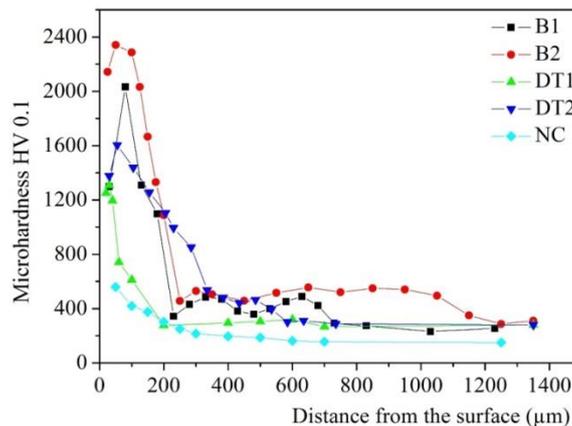


Figure 1. Profil de microdureté Vickers (Fn=50g)

Le chargé de cours, TP, TD  
Pr.Touhami Mohamed Zine  
Département de Métallurgie  
FSI-UBMAnnaba

Le 01/06/2020