

TD 9 : Microstructures (quelques exercices sur les matériaux inorganiques)

Exercice 1 : Energie de surface d'une structure cubique à faces centrées

On se propose ici de calculer l'énergie de surface d'une structure cubique à faces centrées, formée d'une seule espèce chimique, en équilibre avec sa propre vapeur. On note L_s la chaleur latente de sublimation et ϵ l'énergie de liaison.

1. En s'appuyant sur la structure cristallographique, estimer l'énergie de surface pour les plans $\{111\}$, $\{200\}$ et $\{220\}$ de cette structure. Exprimer le résultat (analytiquement) en J/atome de surface, puis en J/m².
2. Quelles sont les hypothèses posées pour faire ce calcul ? Conduisent-elles à surestimer ou à sous-estimer la valeur de l'énergie de surface ?

Exercice 2 : Morphologie des alliages eutectiques et eutectoïdes

Introduction

De nombreux diagrammes d'équilibre binaire contiennent un point eutectique, où la température de fusion du mélange est inférieure à celles des constituants et où le liquide est en équilibre avec deux phases solides (cf. point cerclé E_1 sur la Figure 1). Lorsque la phase stable à haute température n'est pas un liquide, mais un solide, on parle d'eutectoïde. Un des eutectoïdes les plus courants est rencontré dans le diagramme d'équilibre Fe-Fe₃C, largement utilisé pour les aciers (point cerclé E_2 sur la Figure 1).

Les microstructures d'alliages refroidis en passant par le point eutectique (ou eutectoïde) prennent des morphologies très variées, selon la vitesse de refroidissement et les fractions relatives des deux phases. Dans cet exercice, on détermine dans quelles conditions la phase minoritaire prendra la forme de bâtonnets (cf. Figure 2b : composite TaC – superalliage base nickel élaboré in situ par solidification eutectique) ou de lamelles (cf. Figure 2a : acier perlitique).

Exercice

En supposant que les lamelles sont infiniment longues et larges et que les bâtonnets sont infiniment longs et disposés selon un réseau hexagonal régulier, déterminer la morphologie la plus stable en fonction de la fraction de phase minoritaire. On supposera que l'énergie d'interface entre les deux phases est isotrope.

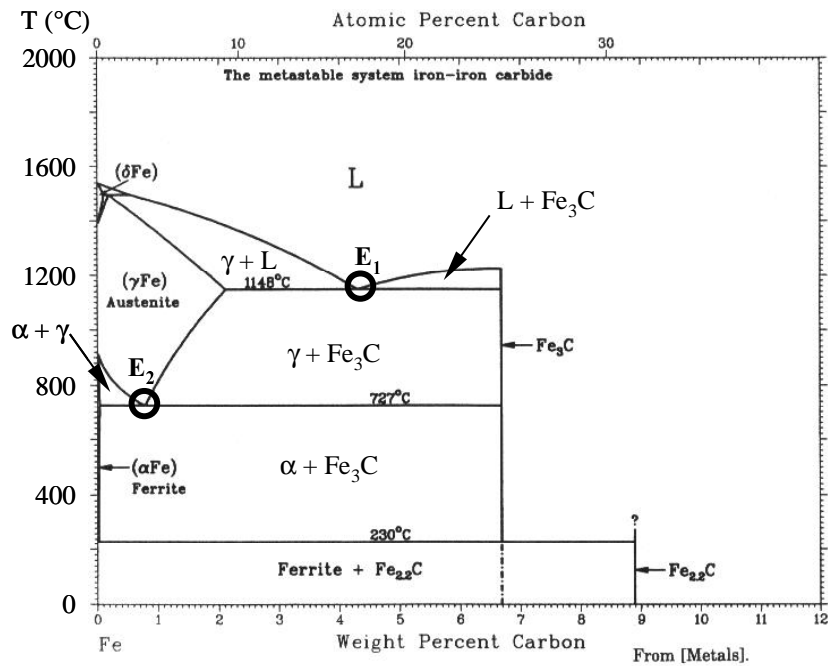


Figure 1 : Diagramme d'équilibre Fe-Fe₃C, d'après T. Massalski (éditeur), *Binary Phase Diagrams*, ASM International, Materials Park, Ohio, 1990.

Note : le diagramme d'équilibre Fe-C est peu utilisé car dans la pratique Fe₃C, phase métastable, se forme plus rapidement que les nodules de graphite pour la plupart des alliages fer-carbone.

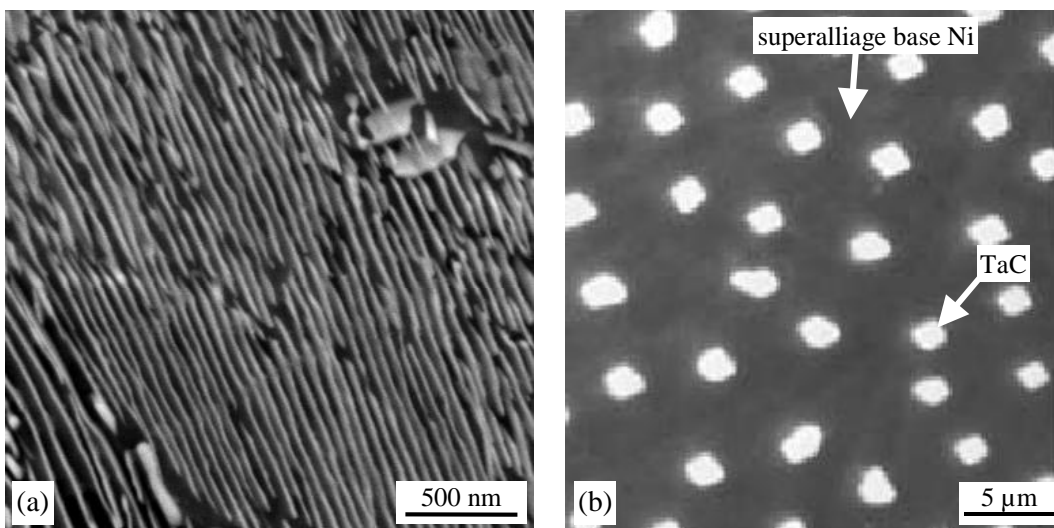


Figure 2 : (a) Morphologie lamellaire d'un eutectoïde (α en noir, Fe₃C en blanc) dans un acier Fe-1%C-1,5%Cr (utilisation typique : cordes à pianos) ; (b) morphologie en bâtonnets d'un alliage Ni – 10 Cr – 5 Al – 13,9 Ta – 0,9 C étudié pour les aubes de turbines aéronautiques. Microscopie électronique à balayage, contraste (a) topographique et (b) chimique . Source : (a) cliché Centre des Matériaux ; (b) J. Yu, J. Zhang, F. Wang, J. LI, H. Fu, *Materials Science and Engineering A311* (2001), p. 202.