

III-Procédés expérimentales

III-1 Introduction

Dans ce chapitre les matériaux étudiés, le mode de préparation des échantillons, les investigations expérimentales utilisées pour l'élaboration des aciers étudiés, les techniques et les équipements utilisés seront présentés. On décrira les différentes conditions des expérimentations réalisées et la méthodologie concernant l'obtention de caractérisation des couches cémentées : les zones formées lors de ces traitements et leurs structures; la nature des phases de dépôt mais aussi le comportement mécanique notamment la dureté parallèle des couches cémentées. L'étude de caractérisation sera réalisée à l'aide de méthodes expérimentales appropriées. Les couches formées lors de ces traitements seront identifiées par l'analyse métallographique à l'aide d'un microscope optique.

III-2 Matériaux étudiés

On utilise quatre types d'aciers faiblement alliés de nuances XC38, 22MC6, 40CD4 80C4 et qui appartiennent à la classe des aciers de cémentation. Ces aciers sont utilisés dans le domaine de mécanique comme éléments: roues coniques, couronnes de différentiels, pignons, arbres vilebrequins, roues dentées, arbres de réducteurs, broches, pièces automobiles et engrenages fortement sollicités ayant une ténacité élevée. La plupart de ses aciers contiennent des éléments d'addition comme chrome, manganèse, molybdène et d'autres éléments en traces négligeables.

III-3 Préparation des échantillons

La préparation des échantillons destinés au traitement de cémentation est divisée en deux étapes, le coupement à froid et le polissage.

III-3-1 Le découpage à froid

On effectue un découpage au jet d'eau (pour éviter tout échauffement du matériau) des pièces d'acier cémentées à l'aide d'une machine de cisailage des métaux figure (III-1). Le but est d'obtenir, après faire la cisaille, des éprouvettes cylindriques avec dimensions déterminées pour les quatre types d'aciers.



Figure (III-1) la machine de cisailage des métaux

III-3-2 Le polissage

Le traitement de polissage réalisé sur les pièces est un polissage mécanique manuel figure (III-2). Le polissage proprement dit a pour buts principaux l'obtention d'une surface plane de rugosité minimale, mais également l'élimination de la couche superficielle de l'échantillon dont la microstructure pourrait être non-représentative du matériau (couches d'oxydes ou écrouissage provenant de la découpe...). Le polissage est l'action de polir, de rendre uni et luisant par le frottement. Il est une composante de la finition des pièces mécaniques par laquelle on s'attache non seulement à respecter les cotes imposées, mais en plus à obtenir un bel aspect, un fini ou un état de surface de haute qualité. Il s'effectue généralement en deux étapes.



Figure (III-2) la machine de polissage

III-4 Techniques de cémentation

L'acier chauffé dans les charbons du four au stade d'austénitisation, absorbe le carbone contenu dans le charbon de bois. Par refroidissement rapide (trempe à l'huile), la structure de cet acier passe d'austénitique à martensitique, structure contenant des carbures de fer durs et cassants. Afin de réduire la fragilité de la martensite, on procède à une opération de revenu des pièces trempées. La réalisation de procédé de cémentation nécessite l'utilisation d'un four maintenu à la température d'austénitisation où se déroule l'enrichissement en carbone, d'un fluide pour la trempe consécutive et d'un four pour le réchauffage des pièces trempées.

III-4-1 Le four de cémentation

Les mises en température sont effectuées dans des fours à atmosphère contrôlée, qui sont destinés à réaliser des traitements thermiques ou thermochimiques. Les traitements purement thermiques sont réalisés sous air ou sous atmosphère protectrice, alors que les traitements thermochimiques nécessitent l'utilisation de gaz chimiquement actifs, c'est le carbone dans l'état de cémentation. Les fours de cémentation sont chauffés par des résistances électriques en contact avec l'atmosphère du four ou isolées de celle-ci.

III-4-2 La trempe

La plupart des traitements thermiques ou thermochimiques nécessitent en fin de traitement l'utilisation de bains de trempe. On a utilisé un bain d'huile froide, où la

température moyenne de l'huile ne dépasse pas 80°C et où la température maximum reste inférieure à 100°C.

III-4-3 Le revenu

Dans le procédé de revenu, on place la pièce froide dans un four froid au départ et on les chauffe ensemble; dans lequel la chaleur émise par les résistances électriques est absorbée lentement et progressivement par l'acier, même si la température de revenu est très élevée.

III-5 Préparation des échantillons

La figure (III-3) représente les quatre différents échantillons d'acier cémentés et découpés à l'aide de la machine citée ci-dessus.

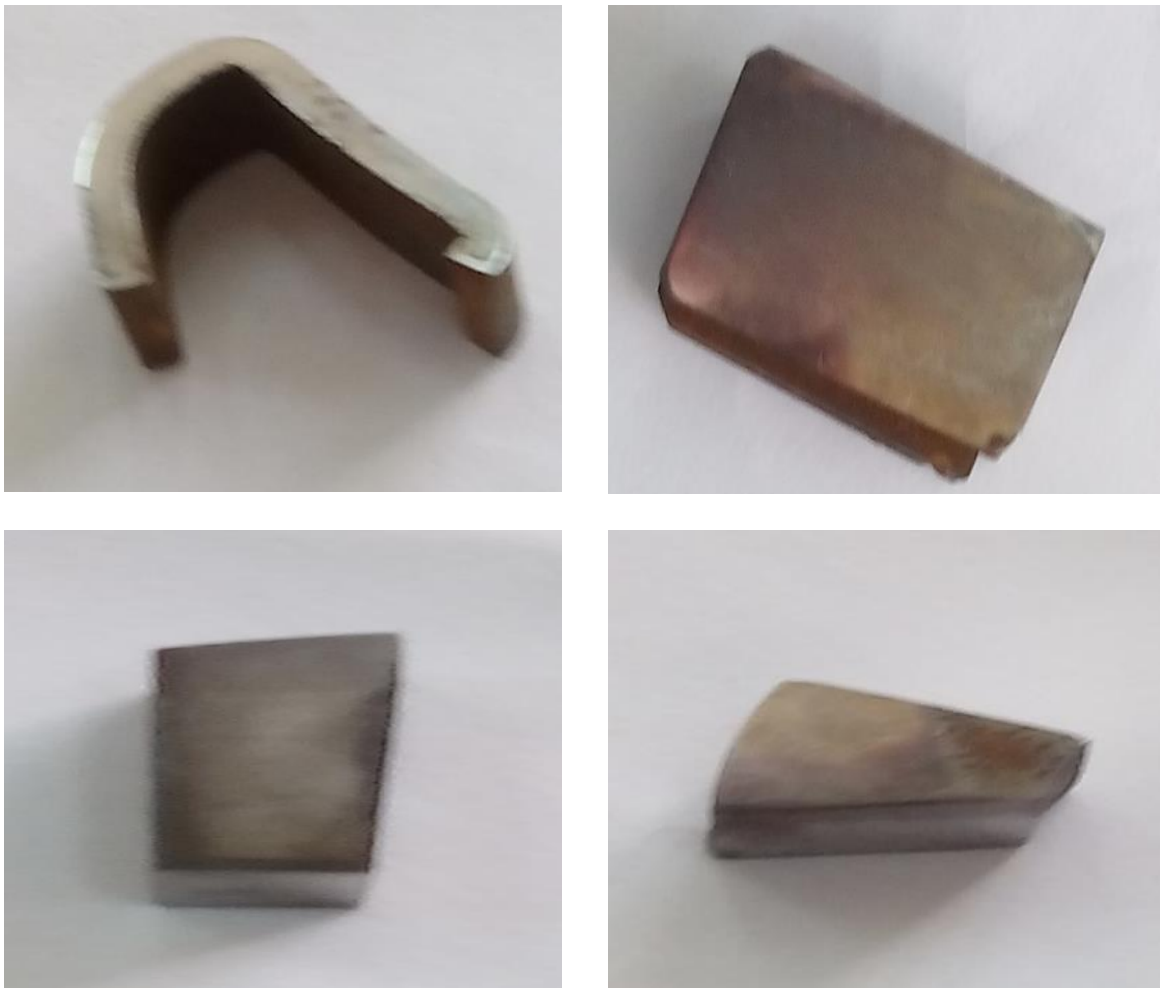


Figure (III-3) les quatre différents échantillons d'acier cémentés

Après avoir préparé par coupage à froid et cémenté des éprouvettes destinées à l'étude microscopique sont monté tout d'abord sur un porte échantillon en acier de forme prismatique creux subissent deux principales opérations :

- le polissage,
- l'attaque révélatrice de la microstructure.

III-5-1 Polissage

La première consiste en un polissage grossier de la surface. Les échantillons sont polis à l'eau (pour éviter tout échauffement du matériau) avec du papier abrasif en passant vers des grains de plus en plus fins (80, 100, 220, 320, 500, 1000, 1200). Entre chaque papier, il faut, croiser la direction de polissage : pour un papier donné, on polit toujours dans le même sens, et on croise les sens d'un papier à l'autre, ce qui permet de faire ressortir les rayures résiduelles de l'étape précédente.

La seconde, appelé polissage fin, est effectuée en présence de la pâte diamant de trois granulométries 6, 3 et 1 micromètre. Le polissage de finition est réalisé sur un drap contenant ces pâtes et réactif chimique qui permet d'aider le polissage. D'une part l'éliminer les rayures (des lignes (stries) sont observées sur la surface de l'échantillon) produites par des arrêtes tranchantes ou (et) des particules abrasifs et d'autre part de conserver une planéité optimale sur tous types d'échantillon.

Pour ces deux stades, le rinçage de l'échantillon, voir ce passage dans un bain à l'eau, est requis à chaque changement de papiers abrasifs et de drap afin d'éviter que des particules de grand diamètre ne polluent le stade de polissage à plus faible granulométrie.

III-5-2 Attaque chimique

L'attaque des échantillons met en évidence la morphologie des grains, les défauts ou irrégularités de la surface, les sous-structures, les précipités, les inclusions, etc. La méthode d'attaque utilisée est l'attaque chimique qui provoque une dissolution

différentielle des cristaux suivant leur orientation, des phases suivant leur nature ou une attaque spécifique aux joints de grains. Pour révéler la structure des couches intérieures des pièces d'aciers cémentés, dans ce travail, on a utilisé le Nital, de composition chimique (HNO_3 (4%) + alcool éthylique), comme réactif. La durée de l'attaque est de 2 à 3 secondes.

III-6 Microscopie optique

Le microscope optique est un instrument d'optique muni d'un objectif et d'un oculaire qui permet de grossir l'image d'un objet de petites dimensions (grossissement) et de séparer les détails de cette image afin qu'il soit observable à l'œil nu. Il est utilisé en métallurgie et en métallographie pour examiner la structure d'un métal ou d'un alliage.

L'avantage de la microscopie optique, outre sa grande facilité d'utilisation, est de permettre l'observation de grandes surfaces et de collecter ainsi une information globale sur l'aspect de la surface observée. Mais compte tenu de sa faible résolution, il n'est pas possible de l'utiliser pour une observation fine d'objets rugueux de petite taille.

L'analyse métallographique des faciès des échantillons est effectuée à l'aide du microscope type Toupview indiqué dans la figure **(III-4)** ce type d'appareil permet l'observation des échantillons, avec un grandissement qui varie de 5 à 1000. Les micrographies ont été acquises numériquement à l'aide d'une caméra CDD. Les images sont observées et enregistrées aussi à l'aide d'un PC connecté



Figure (III-4) : Microscopie optique utilisé

III-7 Résultats et discussion

Dans cette partie de ce chapitre, seront présentés les résultats obtenus et leurs interprétations. Dans un premier temps, nous discuterons les résultats apportés par l'analyse métallographique. Nous examinerons ensuite les résultats obtenus concernant l'épaisseur des couches de cémentation obtenues par l'appareil de mesure utilisée au niveau de l'unité d'algal et confirmé par analyse métallographique.

Notre travail focalise sur l'effet de la nature de l'acier sur la diffusion du carbone ainsi la précipitation de carbures de fer formés au cours de la cémentation. Pour rappeler que les quatre types d'aciers de cémentation ont des compositions chimiques différentes selon leurs nuances d'AFNOR XC38, 22MC6, 40CD4 et 80C4.

III-8 Micrographie

Les traitements de cémentation, de trempe modifient la structure globale des pièces d'aciers traités. Donc, nous allons analyser les changements structuraux provoqués par ces traitements en utilisant le microscope optique, et on va examiner la microstructure des couches ainsi leurs épaisseurs formés après faire ces traitements. La mesure des profondeurs de cémentation par observation métallographique est une autre méthode d'évaluation performante. Des résultats expérimentaux obtenus

sur des aciers faiblement alliés cémentés et durcis sur des épaisseurs variables sont finalement présentés.

III-8-1 Pour l'acier XC38

En coupe transverse, sur un témoin de l'acier XC38 cémenté à 930°C pendant 2heures, la micrographie de la figure (III-5), montre la formation d'une zone superficielle avec des concentrations en carbone très élevés à cause de processus d'enrichissement et de diffusion qui transfère le carbone du ciment à la surface de la pièce. Puis une zone contient du carbone à cause de processus de diffusion de carbone de la surface vers les couche intérieures, qui se trouve avec des concentrations diminue à mesure que la distance entre l'extrémité et le noyau décroît, c'est la zone de diffusion. Enfin une zone qui représente le substrat où il n'y a pas de diffusion.

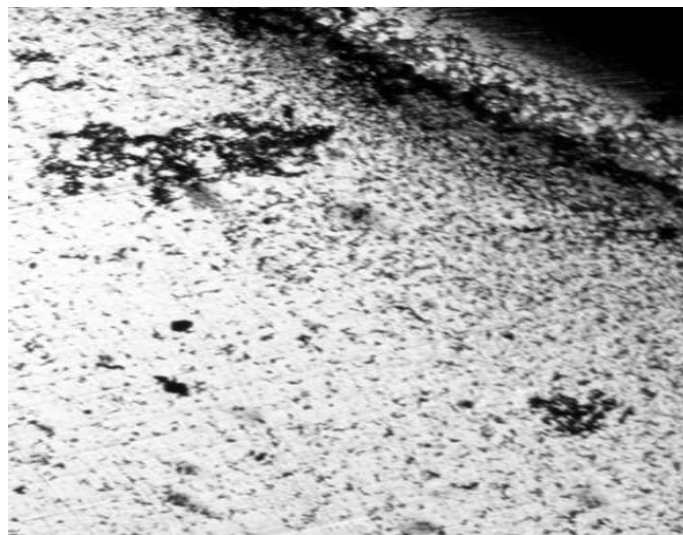


Figure (III-5) : micrographie de l'acier XC38 cémenté

Les micrographies optiques, obtenues sous un grossissement de 50 (figure III-5)), de l'acier XC38 cémenté montrent que, l'épaisseur des couches composées sur l'échantillon cémenté, mesuré sur l'écran du microscope optique, s'est trouvé constante sur le même échantillon. La profondeur mesurée est de valeur de 1.2 mm. Il peut également voir que le noyau d'échantillon demeure inchangé par la cémentation.

III-8-2 Pour l'acier 22MC6

Les micrographies optiques (figure (III-6)) des sections perpendiculaires aux surfaces des pièces de l'acier 22MC6, cémentées selon différentes conditions de traitement de température et de temps de maintien, montrent l'apparition des zones situées à l'extrémités des pièces qui résultent de la diffusion de carbone, et que le noyau de ces pièces reste inchangé.

Ces micrographies, obtenues sous un grossissement de X5 et X10, montrent aussi que les profondeurs des zones formées près de surface sont d'autant plus élevées par rapport à l'acier faiblement allié XC38. La profondeur mesurée est de valeur de 1.5 mm pour les mêmes conditions de traitements. Il peut également voir que le noyau d'échantillon demeure inchangé par la cémentation.

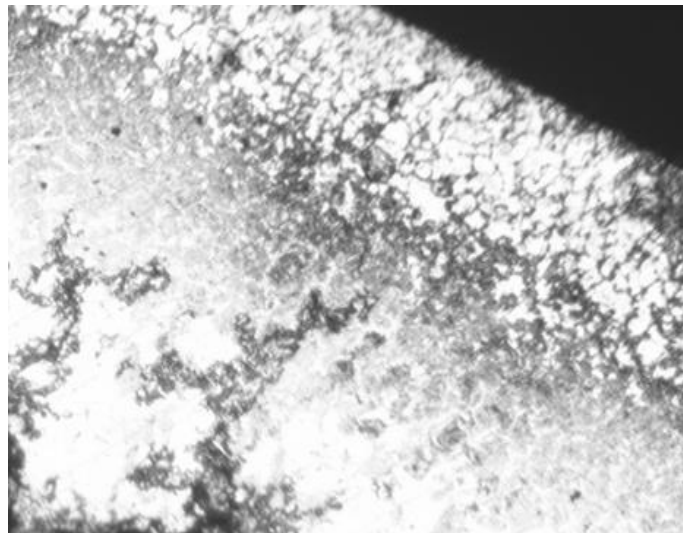


Figure (III-6) : micrographie de l'acier 22MC6 cémenté

III-8-3 Pour l'acier 40CD4

La figure (III-7) la micrographie de la coupe transversale de l'acier 40CD4 cémenté selon les conditions opératoire des autres types d'acier. La micrographie montre la formation d'une zone superficielle avec des concentrations en carbone

moyennement élevés à cause de l'aptitude de diffusion de l'élément de carbone du ciment à la surface de la pièce ainsi la précipitation des carbures de fer formés.

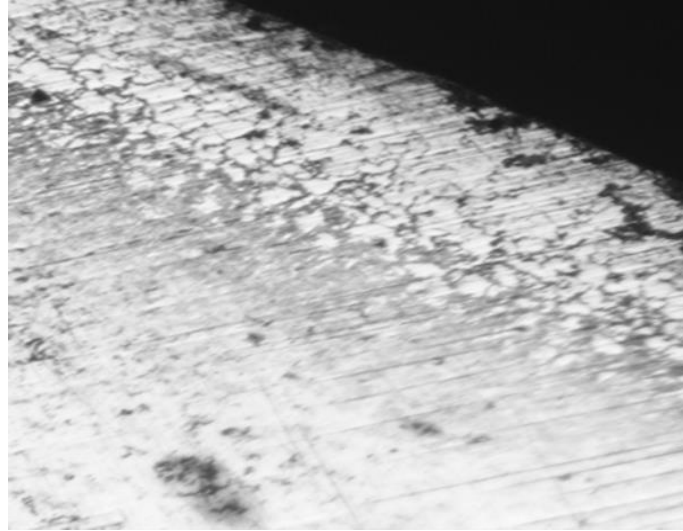


Figure (III-7) : micrographie de l'acier 40CD4 cémenté

L'épaisseur de la zone de cémentation observée est également plus élevée par rapport aux précédents aciers traités et ceci est dû principalement à la composition chimique de l'acier traité. La profondeur mesurée est de valeur de 1.7 mm. Il peut également voir que le noyau d'échantillon demeure inchangé par la cémentation.

III-8-4 Pour l'acier 80C4

La micrographie optique (figure (III-8)) de la section perpendiculaire à la surface de la pièce de l'acier 80C4, cémentées selon des conditions de traitement de température et de temps de maintien pour une trempé à l'huile et revenu, montre l'apparition des zones situées à l'extrémité des pièces qui résultent de la diffusion de carbone, et que le noyau de ces pièces reste inchangé. Ces micrographies, obtenues sous un grossissement de X5 et X10, montrent aussi que les profondeurs des zones formées près de surface sont d'autant plus élevées que les autres types d'aciers. La profondeur mesurée est de valeur presque de 2 mm.

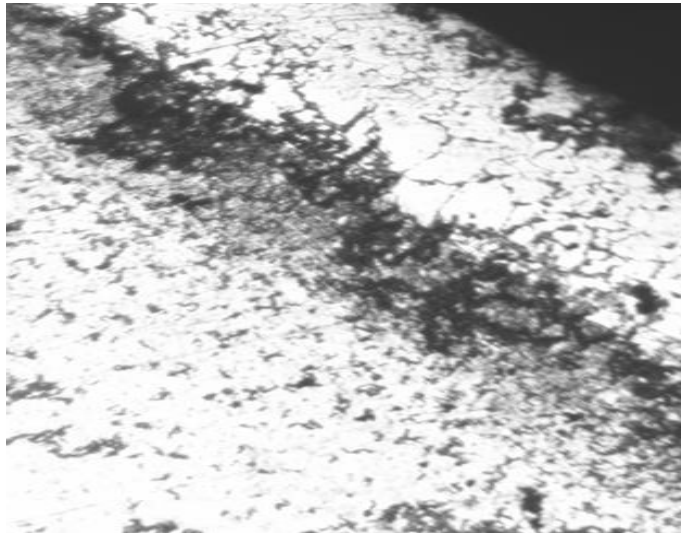


Figure (III-8) : micrographie de l'acier 80C6

La formation des carbures de fer étant liée à la diffusion du carbone de l'atmosphère environnant dans la matrice de l'acier de base qui mise en solution solide interstitielle dans l'austénite qui par un refroidissement rapide grâce à la trempe étagée effectuée à l'huile puis à l'aire, se transforme à la martensite. Cette dernière initiale riche en carbone (α') qui a une structure quadratique se décompose, dans la première étape, en donnant un epsilon-carbure et la martensite à faible teneur de carbone (α'').

III-9 Profondeur de la couche cémentée

La mesure des profondeurs de cémentation par observation métallographique est une autre méthode d'évaluation performante. Des résultats expérimentaux obtenus sur des aciers faiblement alliés cémentés et durcis sur des épaisseurs variables sont finalement observés et calculés à l'aide d'une analyse métallographique. Les épaisseurs des couches de cémentation correspond aux différents types d'acier étudiés sont présentés dans la figure (III-9).

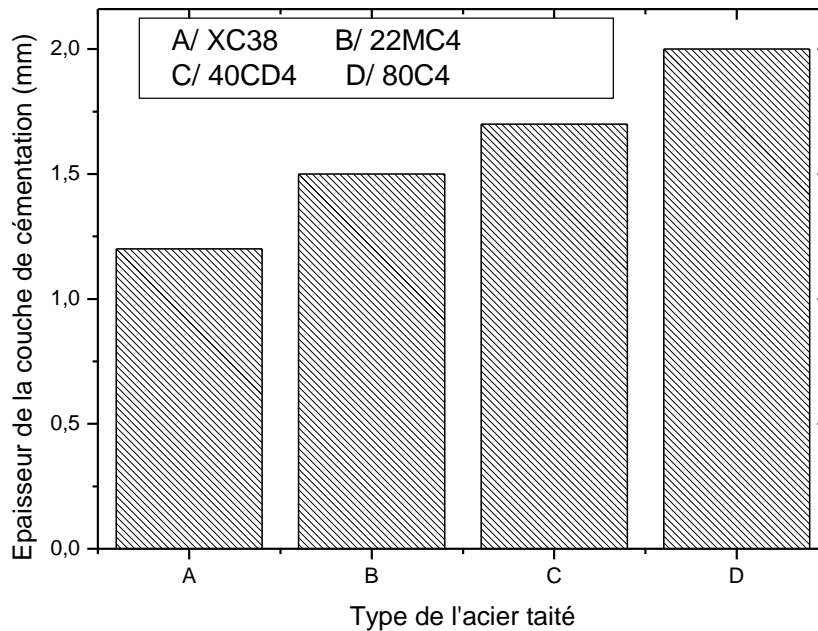


Figure (III-9) : Les épaisseurs des couches de cémentation correspondent aux différents types d'acier étudié

Nous remarquons qu'à partir des figures de l'analyse métallographique et de la figure de présentation des épaisseurs de la zone de cémentation que la profondeur de cette couche est augmentée respectivement pour les aciers suivants A, B, C et D et ceci est dû tout à fait à la composition chimique des aciers

III-10 Conclusion

Nous avons présenté, dans ce troisième chapitre, les diverses techniques utilisées pour réaliser le traitement de cémentation et décrire les moyens de caractérisation pour faire l'étude des propriétés des dépôts correspondants. Ce chapitre décrit aussi la présentation des résultats ainsi la description de ces analyses qui touche dans cette étude l'analyse métallographique des sections transversales des échantillons d'acier cémentés.