

Chapitre I

ACIERS A OUTILS

ACIERS A OUTILS

INTRODUCTION :

Les aciers à outils sont utilisés, dans tous les procédés de mise en forme des matériaux au sens le plus large. Il peut s'agir d'opérations d'usinage, de mise en forme à froid et à chaud, de moulage, de filage et d'extrusion. Les aciers à outils font partie intégrante du domaine des aciers spéciaux, mais ils diffèrent sensiblement des aciers de construction mécanique, tant par les conditions de leur utilisation que par les critères d'emploi qui servent à les définir. En effet, dans le cas d'un outil de qualité, on recherche le maximum de durée, sans fixer de limite supérieure [1]

Par ailleurs, l'outil est sollicité dans la plupart des cas au niveau de sa surface qui doit supporter les contraintes les plus sévères alors que les sollicitations d'un acier de construction intéressent l'ensemble du matériau. Il en résulte que les aciers à outils ne peuvent pas être définis au moyen de lois de comportement simples et qu'il est nécessaire d'avoir une connaissance la plus précise possible des conditions de sollicitations pour apporter des critères de choix réalistes. Les solutions adoptées sont la conséquence d'une démarche essentiellement pragmatique et constituent des compromis entre des exigences souvent contradictoires [1].

I.1 CONSTITUTION DES ACIERS A OUTILS :

I.1.1 Eléments d'alliage

Lors des opérations de mise en forme, les outils sont soumis à des sollicitations extrêmement complexes et les propriétés requises au niveau des aciers pour de tels emplois sont les suivantes :

- grande dureté, pour résister aux déformations généralisées ou localisées de la surface lors du travail.
- bonne résistance à l'usure.
- absence de fragilité.
- bonne résistance aux chocs thermiques.
- bonne trempabilité pour que la structure soit homogène sur de très grandes épaisseurs après le traitement thermique de trempe [2].

Ces propriétés sont possibles avec un choix judicieux de la composition chimique pour assurer des niveaux de dureté et de ténacité plus élevés à froid et à chaud que ceux des aciers de construction. En terme de composition chimique, on retrouve principalement les éléments d'addition énumérés ci-dessous. Les éléments d'additions qui interviennent dans les aciers à outil sont le carbone, le chrome, le molybdène, le nickel, le vanadium, le cobalt et le tungstène.

I.1.1.1 Carbone

Cet élément est nécessaire pour durcissement de l'acier. La variation de la dureté HRC en fonction de la teneur en carbone d'un acier non allié après transformation martensitique est illustrée par la figure I-1 [3].

Il faut noter que l'augmentation progressive de la teneur en carbone conduit à un abaissement de la température du liquidus et du solidus et, par voie de conséquence, à une réduction des domaines de température correspondant à la transformation à chaud et au traitement thermique.

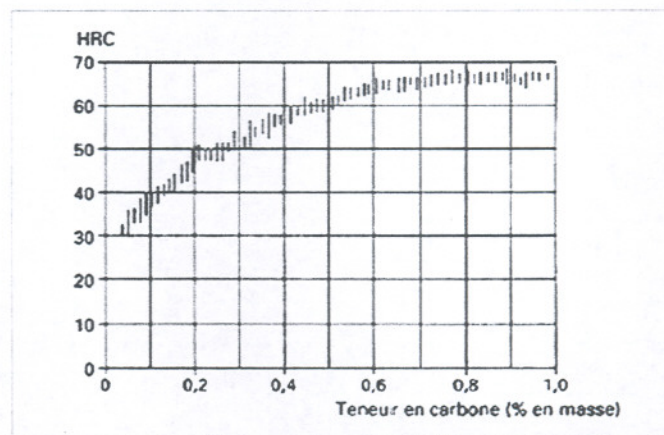


Figure 1 - Dureté Rockwell C de la martensite (dureté maximale possible de l'acier) en fonction du taux de carbone

I.1.1.2 Éléments carburigènes [2,4]

Les éléments carburigènes tels que le Chrome, le Tungstène, le Molybdène et le Vanadium, ajoutés séparément ou conjointement à l'acier au Carbone, ont des influences communes sur le comportement qui se résument dans :

- ❖ Difficulté de remise en solution complète des carbures lorsque les proportions de l'élément métallique et du Carbone augmentent, ce qui rend difficile et même impossible l'affinage des carbures par traitement thermique
- ❖ Présence de carbures insolubles qui gênent le grossissement du grain austénitique
- ❖ Précipitation de carbures spéciaux par revenu entre 500 et 600 °C, ce qui entraîne le durcissement secondaire.

I.1.1.2.1 Vanadium

Il est utilisé essentiellement comme élément générateur de carbures. C'est un élément d'alliage important dans les aciers rapides pour l'obtention d'une bonne dureté à chaud et d'une bonne résistance à l'usure en raison de la présence de particules très dures de carbures de Vanadium. De petites additions, voisines de 0,2 % en masse, sont très efficaces pour éviter le grossissement du grain lors du traitement thermique. Le Vanadium est rarement utilisé seul dans les aciers à outils, mais la plupart du temps en association avec le Chrome, le Molybdène et le Tungstène.

La teneur en Vanadium est étroitement associée à la teneur en Carbone.

I.1.1.2.2 Chrome

Cet élément est utilisé dans la plupart des aciers à outils, en quantité allant de 0,5 à 17 %. Cet élément alphagène joue un rôle essentiel dans l'augmentation de la trempabilité. Bien qu'ayant un pouvoir carburigènes inférieur à celui du Tungstène, il forme des carbures du type M_7C_3 qui participent à la résistance à l'abrasion et s'opposent au grossissement du grain lors de l'austénitisation. Il provoque, par ailleurs, un certain retard à l'adoucissement lors du revenu, ce qui améliore la résistance à chaud.

I.1.1.2.3 Tungstène

Il a été l'un des éléments d'alliage les plus employés dans le domaine des aciers à outils en raison de son pouvoir carburigènes très important.

Le Tungstène ne se met que très peu en solution dans la cémentite, mais donne naissance à des carbures de haute dureté conférant aux aciers une grande résistance à l'usure. De plus, il offre la possibilité de durcissement secondaire. En effet, des aciers trempés à haute température (1050 à 1200 °C) présentent au revenu un durcissement secondaire, ce qui leur

donne, pour des températures allant de 500 à 600 °C, la possibilité de ralentir l'effet d'adoucissement au revenu.

Cet élément permet donc aux aciers à outils de résister à l'abrasion. Plus la teneur en Tungstène est élevée, plus la température de fusion de l'alliage est augmentée. Aussi, la température de mise en solution peut-elle être plus élevée, ce qui laisse une grande liberté dans le choix de la température d'austénitisation.

Par la présence de carbures primaires, formés lors de la solidification, cet élément diminue la tendance des aciers au grossissement du grain par surchauffe. Mais sa forte masse atomique et donc la masse moléculaire élevée de ses composés en font un élément très ségrégué, d'où une augmentation sensible de l'hétérogénéité de l'acier. Les aciers à outils au Tungstène sont peu sensibles à la décarburation, mais ont une résistance au choc thermique assez faible.

I.1.1.2.4 Molybdène

Dans les aciers à outils, cet élément a un comportement analogue à celui du Tungstène; il est très carburigène et se substitue au Tungstène. La vitesse de diffusion de cet élément dans le fer est quatre fois supérieure à celle du Tungstène, ce qui entraîne une moins grande sensibilité de cet élément au phénomène de ségrégation.

Par la présence de carbures primaires, formés lors de la solidification, cet élément s'oppose au grossissement du grain lors de la trempe. Il augmente de plus la trempabilité, mais à condition que la température de trempe soit suffisante pour assurer la dissolution partielle ou totale des carbures.

I.1.1.3 Nickel

Le Nickel, à l'exception de certains aciers d'outillages à chaud, se trouve simplement comme élément résiduel dans les aciers à outils, à des teneurs inférieures à 0,3 %. En raison de son influence directe sur le taux d'austénite résiduelle après trempe, cet élément entraîne des difficultés de traitement thermique au revenu dans les aciers à outils chargés en carbone et éléments carburigènes.

I.1.1.4 Cobalt

Il est communément ajouté en quantités variables entre 3 et 15 %, notamment dans les aciers rapides qui travaillent dans des conditions sévères.

I.1.2 Désignation des aciers à outils

La désignation des aciers à outils fait actuellement l'objet de travaux européens. La norme NF A 35-590, homologuée le 20 novembre 1992 [5], se situe dans le cadre de l'Euronorme EN 10027-1.

Les nuances d'aciers à outils sont rangées, selon leur mode de travail, en quatre classes :

- Les aciers non alliés pour travail à froid (Classe 1)
- Les aciers alliés pour travail à froid (Classe 2)
- Les aciers alliés pour travail à chaud (Classe 3)
- Les aciers rapides (Classe 4)

I.1.2.1 Aciers à outils alliés pour travail à froid (classe 2)

Suivant leur composition en élément d'addition et leur utilisation, les aciers de cette classe sont divisés en 5 en cinq groupes :

- Les aciers résistant à l'usure ;
- Les aciers à très haute résistance à l'usure ;
- Les aciers résistant aux chocs ;
- Les aciers à haute limite d'élasticité.
- Les aciers résistant à certaines corrosions ;

Ils sont caractérisés par des niveaux de dureté élevés à la température ambiante (entre 56 et 63 HRC), mais par une résistance à l'adoucissement faible ; ils ont des teneurs massiques en carbone élevées ($> 0,6\%$), mais des teneurs massiques en éléments fortement carburigènes tels que Tungstène, Molybdène et Vanadium assez basses ($W \leq 2\%$, $Mo \leq 1\%$, $V \leq 5\%$)

I.1.2.2 Aciers à outils alliés pour travail à chaud (classe 3)

Ils sont caractérisés par des niveaux de dureté moyens à la température ambiante, compris entre 44 et 55 HRC, ils ont des teneurs massiques en Carbone comprises entre 0,3 et 0,6 %, avec des additions plus ou moins importantes d'éléments carburigènes tels que le Chrome, le Molybdène, le Tungstène et le Vanadium et, dans certains cas, une addition complémentaire de Cobalt.

Ces aciers doivent avoir une résistance à la déformation suffisante lors des traitements thermiques. Les propriétés essentielles que doivent avoir les aciers pour travail à chaud sont de bonnes caractéristiques de traction à chaud compatibles avec une ténacité suffisante, ce qui limite leur teneur en carbone à une valeur inférieure à 0,6 %.

Ces aciers sont partagés d'après la norme NF A 35-590 en cinq groupes :

- Les aciers résistant aux chocs mécaniques ;
- Les aciers résistant aux chocs thermiques ;
- Les aciers résistant à l'usure aux températures élevées ;
- Les aciers résistant aux très hautes températures ;
- Les aciers résistant à certaines corrosions.

I.1.3 Diagrammes d'équilibre. Influence des éléments d'addition

I.1.3.1 Diagramme Fer-Carbone

Les structures de solidification des aciers à outils sont en général relativement complexes, notamment dans le cas des nuances hautement chargées en Carbone et éléments carburigènes [6]. Le Carbone est l'élément dont l'influence sur la structure est la plus marquée.

Il est bon de prendre comme base d'étude les deux diagrammes Fer-Carbone connus, et représentés sur la figure I-2 : le diagramme dit stable Fer-Graphite (lignes en tirets) et le diagramme dit métastable Fer-Cémentite (traits pleins). Nous nous intéressons uniquement au diagramme métastable qui est le plus proche de la réalité.