



MARS 2016

IMPORTANCE DE LA METALLURGIE DANS LA HAUTE HORLOGERIE PARTIE 2 : ... la Métallurgie

Bonjour à chacune et chacun d'entre vous,

Pour cette 19^{ème} newsletter, **Métallo Corner** ne perd pas son temps et vous propose de poursuivre son immersion dans **la haute horlogerie**. Les matériaux métalliques jouent un rôle déterminant dans l'innovation puisqu'ils permettent de simplifier les complications d'un mécanisme à condition de choisir les nuances les plus adaptées aux conditions de fonctionnement.

Avant de continuer et suite à la demande de plusieurs « followers », voici quelques précisions concernant le concept de «**haute horlogerie**». Il prend naissance au XIX^{ème} et concerne les montres et des horloges de grande précision, en particulier les chronomètres de marine. Ces produits sont des outils dédiés à l'astronomie, à la navigation marine et à l'étude de la mesure du temps. La plupart des initiés distinguent ce type de produits de «l'horlogerie fine» et de «l'horlogerie courante», qui représentent les montres destinées à la consommation civile.

Comme nous l'avons observé dans la Newsletter N°18, les matériaux métalliques doivent systématiquement répondre à plusieurs exigences :

- De mise en œuvre (aptitude à la découpe, aptitude au formage, facilement usinable, aptitude au polissage, ...)
- De fonctionnement d'ordre mécanique (propriétés mécaniques, comportement tribologique, résistance à l'usure abrasive, propriétés ressorts, tenue en fatigue,...)
- D'ordre physico-chimique (amagnétisme, faible coefficient de dilatation thermique, résistance à la relaxation thermique, résistance à la corrosion atmosphérique et en milieu salin, ...)

I. LA METALLURGIE ET L'INNOVATION HORLOGERE

Depuis l'origine de l'horlogerie, les matières de base sont les cuivreux (laitons, maillechort, ...) et l'acier (construction, inoxydables, ...) et cela n'est pas prêt de s'arrêter ; cependant l'émergence de nouveaux matériaux plus exotiques ont fait leur apparition depuis plusieurs années tels que les alliages de titane et d'aluminium, le silicium ou encore comme nous en avons déjà parlé le « liquidmetal ».

a) Les cuivreux

- Les laitons (CuZn) et maillechorts (CuNiZn)

Ces bases cuivre offrent un bon compromis entre les propriétés mécaniques et la mise en œuvre (usinage et taillage lorsqu'ils contiennent du Pb, polissage, découpage, emboutissage



MARS 2016

si la valeur de Zn n'est pas trop élevée). Ces alliages sont amagnétiques et tribo-compatibles avec des antagonistes en acier. L'augmentation de la résistance mécanique passe par une augmentation de la teneur en Zn mais au détriment de la mise en forme à froid. A titre d'exemple, on utilise sous la forme de bandes du CuZn28, du CuZn37 ou du CuZn39Pb3 pour la fabrication de pièces à parois minces d'aiguilles, de cadrans, de roues, barillet, balancier...

Les caractéristiques mécaniques des maillechorts sont supérieures à celles des laitons, leur résistance à la corrosion est bien meilleure. D'un point de vue mise en forme à froid, les maillechorts monophasés n'ont rien à envier aux laitons. Le CuNi18Zn20 sera donc d'avantage utilisé pour la fabrication des roues d'engrenages.

- Les cupro-beryllium et les cupro-nickel

Avec ou sans plomb pour les pièces de décolletage, à hauteur d'environ 2% de béryllium (anciennement nommé glucinium, pour l'histoire), ces autres bases cuivre CuBe2 et CuBe2Pb tendent à remplacer de plus en plus les aciers trempés revenus puisqu'ils peuvent se durcir soit par traitement thermique (par durcissement structural de 1.5h à 3h à 325°C) ou soit par écrouissage après une mise en solution). Ils peuvent servir à la fabrication d'aiguilles, de roues, de ressorts, de balanciers, ...

Il est possible également de rencontrer des pièces du type CuNi15Sn8 toujours pour la fabrication d'aiguilles, roues, ponts, etc... Leur mode de durcissement, hors écrouissage, est différent puisqu'il met en œuvre après une mise en solution un durcissement par décomposition spinodale (à 370°C pendant environ 3h)

- b) Les aciers : de construction et maraging.

- Les aciers de construction

Les aciers de construction du type (C60, 2C 100, C70+Pb, ...) sont les nuances les plus utilisées au sein de la famille des Fe-C. Ils sont durcis par traitements thermiques (austénitisation / trempe / revenu) à 700HV pour la fabrication d'axes de balancier, de tiges d'ancre et de pignons d'échappement. Malgré leur ferromagnétisme et leur moins bonne tenue à la corrosion, ils peuvent être préférés aux cuivreux dans le cas de système rigide puisque le module d'Young des aciers est pratiquement deux fois supérieur à celui des cuivreux. Pour des raisons tribologiques, on retrouve très souvent le couple pignon en acier et roue en laiton.

- Les aciers maraging

Il s'agit d'acier durcissable par précipitation à faible teneur en carbone (martensite-aging), favorisant la mise en forme facile des pièces découpées / embouties dont les flancs doivent restés parfaitement lisses.



MARS 2016

Après une mise en solution entre 850-1000°C, ces nuances peuvent être durcies au cours d'un revenu de précipitation (~ 480°C pendant quelques heures) afin d'obtenir des résistances très élevées de l'ordre de 2000 N/mm². Le durcissement se fait par l'apparition de phases intermétalliques de type Ni₃Ti ou Fe₂Mo, très stables, semi-cohérentes avec la matrice. Contrairement au durcissement par transformation martensitique caractéristique des aciers de construction, la formation d'intermétallique lors de l'opération de revenu s'effectue pratiquement sans déformation des pièces traitées, compte tenu de l'absence de contraintes d'origine thermique par rapport à ce mode de durcissement. Il est possible, entre l'opération de mise en solution et celle de revenu de précipitation, de réaliser les opérations de parachèvement. On peut encore amplifier l'élévation de la dureté en écrouissant la matière juste avant le revenu. Cet effet sera cumulatif avec la précipitation des phases dures à condition que la température de traitement final soit inférieure à la température de recristallisation.

Les nuances X2CrNiMo 10 10 5 ou X2NiCoMo 18 9 5 peuvent donc servir à la conception de pièces ressorts soumises à de fortes contraintes.

II. CONCLUSION PARTIELLE

Nous avons pu approcher, avec cette 19^{ème} Newsletter, l'importance des alliages de cuivre et de certaines nuances Fe-C. Dans la prochaine missive, nous continuerons notre exploration métallurgique en abordant : les aciers inoxydables austénitiques, les alliages légers (Ti et Al...) et également les technologies associées au silicium.

En attendant, nous vous souhaitons du bien bon temps !

Métallo Corner remercie la manufacture BLANCPAIN pour la documentation technique et les photos mis à disposition