1°) NOTIONS GENERALES SUR LA METALLURGIE

A- Définitions

Homogénéité : un matériau est dit homogène s'il possède, en tous points, les mêmes propriétés chimiques et physiques. C'est le cas de la plupart des métaux et alliages, mais pas du bois et des composites (qui sont hétérogènes).

Elasticité : caractérise l'aptitude qu'a un matériau a reprendre sa forme et ses dimensions initiales après avoir été déformé.

Plasticité : caractérise un matériau ne reprenant ni sa forme, ni ses dimensions initiales après avoir été l'objet d'une déformation.

Ductilité : aptitude d'un matériau à se déformer sans se rompre ; mesurée en pourcentage d'allongement.

Malléabilité : c'est la ductilité appliquée à la compression. Très importante pour l'or.

Dureté : de symbole général H, elle caractérise la capacité d'un matériau à résister à l'usure, à l'érosion et au marquage (empreinte, rayure).

Trempabilité : aptitude d'un métal à accepter le processus de trempe sans se déformer ni casser ou présenter de fissures.

B- Mesures de dureté

La dureté peut être évaluée en mesurant une empreinte laissée en surface par un poinçon agissant sous l'action d'une force connue : c'est le cas des essais Brinell, Vickers ou Rockwell.

La « dureté Brinell », notée HB, est obtenue par calcul : on mesure l'empreinte laissée par une bille polie, ainsi que la valeur de la charge F appliquée pour obtenir cette empreinte.

La « dureté Vickers », notée HV, est obtenue par calcul : le principe est identique au précédent, mais la bille est remplacée par une pyramide en diamant à base carrée. Elle mesure donc une résistance à l'abrasion.

La « dureté Rockwell » est la plus connue : elle est obtenue par lecture directe d'une longueur d'enfoncement d'un pénétrateur (bille acier ou cône diamant). Notation : HRc pour les métaux ferreux, mesuré avec une pointe. Elle mesure une résistance à la pénétration. Plus cet indice est élevé, plus le métal est solide.

Ainsi, le titane brut (non travaillé) est à HRc 28 mais à HV 280…

2°) LES ACIERS ET LES ALLIAGES

A- Le fer et le carbone

Le fer perd ses propriétés magnétiques au-dessus de 768° (point de Curie), et existe sous plusieurs formes en fonction de la température : alpha, gamma et delta. Fer gamma et carbone forment l'austénite.

Le carbone fond à 3500° et cristallise sous 3 formes possibles : graphite, diamant, noir de fumée.

Alliées avec le fer, les atomes de carbone remplissent plus ou moins les interstices (ou vides) laissés entre les atomes de fer de chaque maille. Les propriétés sont modifiées, et selon les

proportions, on obtient acier (0,008% à 1,7% carbone) ou fonte (1,7% à 6,67% carbone).

Selon la température et le pourcentage de carbone, on obtient plusieurs composés, qui peuvent coexister: perlite, ferrite, cémentite, austénite…. Les opérations diverses effectuées sur les aciers ont pour seul enjeu de maîtriser le plus finement possible les proportions de ces composants, car ils définiront par la suite les propriétés physiques de l'acier. A noter : l'état austénitique nécessite une température supérieure à celle des autres états.

B- Refroidissement et retraitements

Les aciers, au fur et à mesure qu'on les chauffe, atteignent tous (après différents stades) l'état austénitique. Un refroidissement lent et contrôlé permet de choisir le type de conversion que va subir l'austénite, et on a alors 3 catégories : acier eutectoïde, hypoeutectoïde ou hypereutectoïde (à retenir pour être d'un obscur pédantisme dans les dîners mondains). On obtient alors perlite, ferrite…Nous ne rentrerons pas dans les détails, sachez seulement que ces divers aciers sont les plus courants, mis à part celui employé chez Rolex (d'où les prix pratiqués). Nous y reviendrons par la suite.

On peut par la suite retraiter l'acier néoformé : le traitement thermique est l'opération qui consiste à conférer à l'acier la dureté nécessaire pour l'usage choisi. Cette dureté atteinte sera fonction de l'acier, et un traitement thermique raté rend nul les possibilités d'usages du métal.

La TREMPE vise à éviter la transformation de l'austénite en divers composés, ou du moins à la contrôler : à la température de l'état austénitique, on refroidit brutalement l'acier. Si l'eau est glacée, l'austénite n'a pas le temps de perdre ses atomes de carbone, on a alors la martensite, cassante au possible et inutilisable telle quelle, bien que la dureté soit extrême. Si par contre l'eau est tiède, ou qu'on emploie l'huile ou l'air, la martensite peut coexister avec d'autres composés aux noms barbares, voire même leur céder totalement la place. Tout dépend du but final… On notera que les aciers alliés subissent sans problème la trempe, et par voie de fait, ils y sont quasiment prédestinés.

On effectue ensuite le REVENU, dans le but de corriger la fragilité excessive de la martensite : on amène et on maintient la pièce d'acier à moins de 700°, puis on refroidit très lentement. Selon la température de réchauffage, on peut détruire totalement la trempe (si on dépasse 700° notamment, ce qui est alors un RECUIT), ou bien au contraire potentialiser la martensite et la rendre stable. On profite alors de son incroyable dureté…

C- Influence des éléments d'addition

Aluminium : désoxydant, augmente un peu la trempabilité, diminue le grain.

Bore : améliore la trempabilité des aciers à faible et moyen pourcentages de carbone.

Chrome : élément augmentant le plus la résistance à la corrosion et à l'oxydation.

Cobalt : permet une grande dureté à température élevée.

Manganèse : neutralise la fragilité engendrée par les sulfures et augmente fortement la trempabilité.

Molybdène : augmente fortement la trempabilité, neutralise en partie la fragilité due à la trempe, augmente résistance, dureté à chaud, résistance à l'abrasion et à la corrosion des inox, favorise un grain plus fin.

Nickel : renforce la résistance des aciers non trempés ou recuits, rend austénitiques les aciers ayant un pourcentage de chrome élevé.
Phosphore-souffre : facilite l'usinage par créations d'imperfections et d'impuretés.
Silicium : diminue le magnétisme de l'acier.
Tungstène : améliore fortement la dureté et la résistance à l'abrasion, en usage normal ou à températures élevées.
Vanadium : favorise un grain plus fin, augmente la trempabilité.
Remarque : on appelle acier allié le mélange fer+carbone+autres éléments…et in inox contient au moins 13% de chrome…

D- Et l'horlogerie… ?
Rolex utilise un « acier inoxydable austénitique, groupe nickel chrome », qui présente les caractéristiques suivantes : tenue aux températures élevées et à l'écaillage, ductilité élevée, soudure et forge aisés, usinabilité médiocre, degré de dilatation élevé, faible conductivité thermique. De par sa structure moléculaire, le nickel n'est pas en contact de la peau, ce qui en fait donc un acier anallergique.
A l'inverse, tout le reste de la production horlogère utilise des « aciers inoxydables ferritiques », dont la principale caractéristique est une grande facilité à être étirés, forgés, pliés, roulés, formés. L'usinabilité reste médiocre, la soudure se fait sous certaines conditions, et le risque de rupture aux températures élevées est marqué. Autre problème, il y a un risque d'allergie, tout particulièrement l'été, où la sueur constitue une première agression du derme.
J'en profite pour parler du « maillechort » : c'est un alliage non-ferreux, fait de cuivre, de zinc et de nickel (souvent dans ces proportions, respectivement : 55%, 27%, 18%). C'est une sorte de laiton auquel on aurait rajouté du nickel, et qui serait peu coûteux…

E- Exemples de duretés HRc des principaux aciers (brut-trempé)
154CM : 59-61
12C27 : 54-56
420: 52-56 (tendre mais très résistant à la corrosion)
440A: 55-57 (équivalent au 316 AISI)
440C: 58-60
ATS-34: 59-61
AUS-6: 57-58 (les lettres AUS abrègent le mot austénite)
AUS-8: 58-59
CPM440V: 55-57
D2: 59-63
M-2: 60-65
VG-10: 58-60

3°) LE TITANE

A dimensions identiques, il est 40% plus léger que l'acier, et est par ailleurs complètement résistant à la corrosion. On remarquera qu'il est amagnétique, et s'il est utilisé en alliage, il offre une résistance à l'abrasion correcte, et pourra atteindre 47 HRc. La résistance mécanique est améliorée par l'aluminium et le vanadium.

Schématiquement, le titane se présente sous deux structures cristallines, avec passage réversible à 882° : alpha et béta (le second étant le moins dense).

Le titane présente une résistance exceptionnelle à la corrosion et aux attaques chimiques du fait de la formation d'un film protecteur d'oxyde, sorte de pellicule protectrice. Par contre, les solutions très chaudes ou très concentrées (sel ou acide) ont tendance à l'attaquer, ceci dit bien moins que certains métaux ou alliages.

Le titane possède d'autre part une bio compatibilité bien supérieur à celle des autres métaux.

Les différents alliages de titane (comme d'autres aciers d'ailleurs) sont nommés « nuances », et on en distingue 3 principales : T40 (résistance à la corrosion), T60 (résistance mécanique accrue), TA6V (bonne tenue mécanique, soudable).

Sa bio compatibilité s'explique par sa conductivité électrique nettement inférieur à celle des autres métaux, et à l'absence de l'ion titane dans l'organisme humain.

En conclusion, je parlerai donc des céramiques….que ce soit les couteaux ou les lames, la réalisation se fait par moulage dans des céramiques hi-tech, les « oxydes de zirconium ». Eh oui, les strass, les faux diamants… le zirconium est un métal particulièrement instable (tel le sodium), mais son oxyde est de structure cristalline, et sa dureté juste après celle du diamant (mais loin devant l'acier). Les réalisations en céramique présentent certains avantages indéniables : amagnétique, insensible aux changements de température, non conducteur d'électricité, énorme résistance à l'abrasion/érosion, résistance totale aux attaques chimiques. En contre-partie, les chocs, petits ou grands, sont susceptibles de faire céder la pièce.

Guardala