



TECHNOLOGIE

des LUNETTES

4^e partie : Caractéristiques des métaux et alliages

Poursuivant son remarquable travail de recherche, M. Martin Dion, professeur de chimie au Collège Édouard-Montpetit dévoile, cette fois encore, les secrets technologiques de la fabrication des montures.

AVERTISSEMENT :

L'article qui suit est une lecture créditable au titre de la formation continue. Selon la formule adoptée en accord avec le Comité de la formation continue, le questionnaire correspondant à ce texte vous sera soumis dans la prochaine publication.

Par Martin Dion

Comme en font foi les trois premiers articles de cette série, la fabrication des montures est devenue, avec le développement de la technologie moderne, une aventure très complexe. Bien sûr les techniques de conception, de transformation et d'assemblage, étant de plus en plus raffinées, comptent pour beaucoup dans cette complexification. Il ne faut toutefois pas oublier qu'à la base même d'une monture subsiste un ensemble de matériaux qui, selon leurs propriétés physico-chimiques, conféreront à la monture toutes ses caractéristiques. Ces matériaux ont également abondamment évolué avec le temps. Certes quelques-uns sont utilisés depuis bien longtemps, mais quelques autres sont apparus beaucoup plus récemment.

Le professionnel de l'optique, en tant que lien entre le

fabricant et la population, se doit d'être en mesure de comprendre et vulgariser cette nouvelle technologie afin d'éclairer le client sur les limites des différents matériaux et l'impact qu'ils ont sur les caractéristiques et le prix de la monture. Le présent article se veut un survol des principaux matériaux métalliques utilisés de nos jours en lunetterie. Étant donné le nombre important de ces alliages, nous nous contenterons ici de n'aborder que les cupro-nickels, le bronze, l'acier inoxydable, l'aluminium et les alliages à durcissement structural. Dans la prochaine parution, nous discuterons du titane, des alliages à mémoire de forme et des matériaux de recouvrement. Finalement, le dernier article de cette série traitera des matériaux plastiques.



Les matériaux à la base des montures métalliques

Comme nous en avons déjà discuté, les montures métalliques sont en très grande proportion constituées des différentes couches de métaux. Les matériaux à la base des montures, c'est-à-dire formant en quelque sorte le squelette des lunettes, auront donc comme particularité principale d'être flexibles ou rigides, selon la pièce qu'ils constituent. Par exemple, une grande rigidité sera nécessaire au niveau des cercles afin de permettre une stabilité des lentilles. Toutefois, au niveau des branches et du pont, on mettra plutôt sur un matériau plus souple, permettant un ajustement et présentant la capacité d'absorber les chocs. Les matériaux les plus flexibles ont la propriété de pouvoir se déformer lors d'un impact. L'énergie transmise à ce matériau est alors répartie dans l'ensemble de la masse, ce qui diminue d'autant la probabilité de rupture. En lunetterie, c'est principalement ce facteur et la facilité d'usinage qui sont pris en considération dans le choix d'un matériau de base pour la confection d'une pièce particulière.

Principaux constituants des alliages en lunetterie

Un alliage métallique est une substance qui possède des propriétés métalliques et est composé d'au minimum deux éléments chimiques dont au moins l'un est un métal. Un alliage dont l'un des éléments est le mercure se nomme amalgame. Toutefois, ce type d'alliage n'est pas utilisé en lunetterie. L'utilité des alliages vient du fait qu'aucun métal ne contient intrinsèquement toutes les caractéristiques nécessaires pour jouer un rôle particulier. Par

exemple, on recherchera dans un constituant d'une branche de monture une bonne résistance mécanique, une certaine flexibilité pour absorber des chocs tout en ayant assez de rigidité pour conserver un ajustement. De plus, le matériau devra être hypoallergénique, présenter un fini esthétique, tout en étant léger et inoxydable. Bien peu de métaux possèdent un tel éventail de propriétés. Il devient alors nécessaire de développer des mélanges de différents éléments qui sauront apporter chacun à l'alliage une partie de leurs caractéristiques qui leurs sont propres. Un fin dosage de chaque constituant permettra de maximiser l'ensemble des propriétés de l'alliage.

La présente section présente brièvement les principaux métaux et non-métaux retrouvés dans la majorité des alliages en lunetterie. La section suivante propose un survol similaire de certains de ces alliages.



LE CUIVRE

Le cuivre est, avec le nickel, le métal le plus communément retrouvé dans les alliages de lunetterie. On le retrouve à titre majoritaire dans les maillechorts, le bronze, les alliages à durcissement structural ainsi que dans le $CuBe_2$. C'est un métal très ductile, dont la présence facilite la mise en forme et le brasage puisqu'il est un très bon conducteur thermique et électrique. On le retrouve à cet effet dans les circuits électriques résidentiels et comme recouvrement de base des casseroles et chaudrons. Toutefois, le cuivre n'est pas inoxydable et peut se transformer en carbonate de cuivre basique, mieux connu sous le nom de vert-de-gris (figure 1). Le ternissement du cuivre en une couleur brune terne est dû à la réaction avec

l'oxygène de l'air ambiant pour former de l'oxyde cuivreux Cu_2O . Cette réaction peut habituellement être observée après seulement quelques mois. L'évolution subséquente de l'oxydation dépend ensuite surtout du degré d'humidité et de la température. La composition de la couche d'oxyde devient plus complexe et comporte un ou plusieurs sels basiques de cuivre (sulfates, chlorures, carbonates, ...). En particulier, l'hydrolyse du sulfate de cuivre forme le mélange $CuSO_4 - Cu(OH)_2$, puis après quelques années un composé du type $CuSO_4 - 3Cu(OH)_2$. On obtient des structures équivalentes avec des chlorures ou carbonates qui sont tous de couleur dominante verte. C'est donc la pollution, l'humidité et conséquemment la présence d'impuretés qui sont responsables de la formation du vert-de-gris.

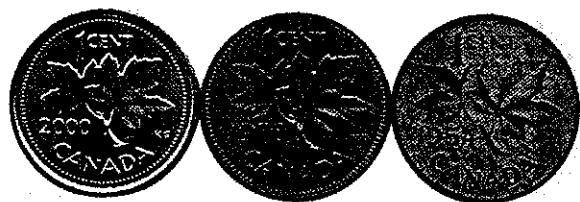


Figure 1 Ternissement et formation de vert-de-gris à la surface de pièces de 1 cent. Le cent de l'an 2000 à gauche présente la couleur normale du cuivre. Celui de 1976 au centre démontre un ternissement alors que celui de droite, datant de 1954, exhibe une couche de vert-de-gris en surface.

Mais comment expliquer que le vert-de-gris se forme surtout dans les plaquettes, sur les bras de plaquettes? C'est simplement dû à la présence dans ces bras de plaquettes d'un alliage riche en cuivre et faible en nickel comme les maillechorts ou le laiton, alliages cuivreux faciles à usiner et malléables, donc aisément ajustables. L'exposition constante à la sueur humide et acide entraîne le phénomène cité plus haut qui est, pour les personnes transpirant beaucoup, presque inévitable.



LE NICKEL

Le nickel peut jouer plusieurs rôles en lunetterie. Il est utilisé comme couche de base avant l'électroplacage de différents métaux puisqu'il forme une couche ductile qui adhère bien au support de base. Au niveau des alliages, le nickel confère à ceux-ci un caractère inoxydable puisque ce métal est passif (figure 2), formant naturellement en surface une couche d'oxyde très dure, inaltérable, qui bloque toute oxydation et corrosion ultérieure de l'alliage. Ce phénomène n'est pas propre au nickel puisqu'on le retrouve aussi chez l'aluminium, le titane et le chrome. De plus, le nickel augmente la résistance mécanique de l'alliage.

Une propriété majeure à considérer dans l'utilisation du nickel en bijouterie et en lunetterie est son caractère hautement allergène. La sensibilité à ce métal n'est pas de nature héréditaire mais est plutôt acquise à la suite du contact chronique avec cet élément. Lorsque le nickel baigne dans un milieu oxydant et humide comme la sueur, il peut larguer des ions Ni^{2+} solubles dans ce milieu. Ces ions peuvent

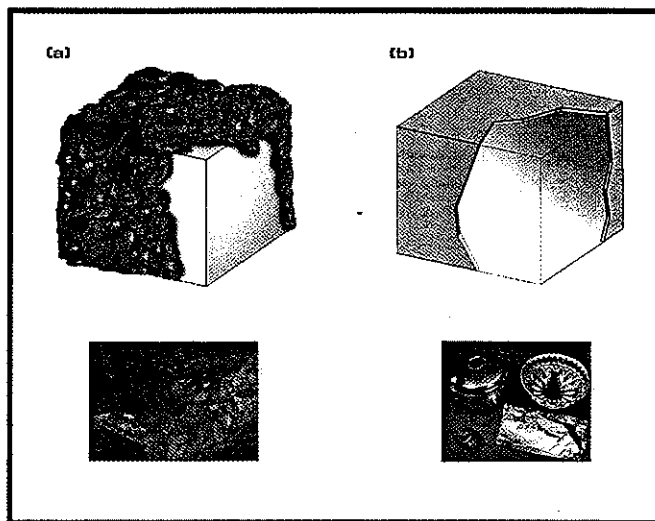


Figure 2 Passivité des métaux. La majorité des métaux forment des oxydes métalliques au contact de l'air ou de différents milieux oxydants. (a) Pour certains, comme le fer, l'oxyde est très friable, occasionnant une destruction rapide de l'ensemble du métal de base. (b) Certains autres comme le nickel, le chrome, le titane et l'aluminium forment plutôt une fine couche d'oxyde très dure, inaltérable. Cette couche ainsi formée, invisible à l'œil nu, protège le métal sous-jacent de toute oxydation ultérieure. L'ensemble devient donc désormais inoxydable.

alors se fixer à certaines protéines et amorcer une réaction allergique qui entraîne une irritation et des rougeurs cutanées (figure 3). On estime que dans les pays développés, environ 5 % des hommes et 20 % des femmes développent des allergies au nickel. Il semblerait que 5 % de tous les cas d'eczéma soient reliés à des allergies à ce métal. Le taux limite de ressuage de nickel a été fixé à $5 \mu g/cm^2/semaine$ d'ions Ni^{2+} . Il ne semble toutefois pas y avoir un lien direct entre le risque allergène et la teneur en nickel de l'alliage. Par exemple, une concentration de 15 % de nickel dans un acier inoxydable suffit à rendre le matériau allergène alors que 20 % de nickel allié au palladium ne semble pas causer de réactions allergiques.



Figure 3 Cas d'allergie cutanée au nickel causée par une boucle d'oreille.



L'ÉTAIN

L'étain est un métal tendre et gris mat qui présente une bonne résistance à la corrosion et de bonnes propriétés lubrifiantes. Cette dernière permet de faciliter l'écroutissage des pièces, en particulier du matriçage. Plus généralement, environ la moitié de l'étain produit sert au revêtement des aciers destinés à la fabrication de conserves alimentaires. Cet arrangement est plus connu sous le nom de fer-blanc. Au niveau de la lunetterie, on le retrouve surtout dans les bronzes et les alliages à durcissement structural. Sa présence dans les alliages facilite aussi les opérations de brasage.

**L'OR**

L'or, métal noble par excellence, forme une substance excessivement dense (près de 4 fois plus lourde que le titane) et très molle. C'est en fait le plus ductile et le plus malléable des métaux. On peut en effet, à partir d'un seul gramme d'or (dont le volume correspond approximativement à celui d'une petite goutte d'eau) obtenir un fil de plus de 165 mètres de long. L'or est facile à marteler et il est possible d'obtenir des feuilles d'une épaisseur de l'ordre du micron, soit mille feuilles dans un millimètre. C'est de plus un excellent conducteur électrique et thermique, ce qui facilite d'autant son brasage. Mais la caractéristique principale associée à ce métal et qui lui confère une valeur très prisée est sa grande résistance à l'oxydation. De ce fait, il est parfaitement inaltérable et excessivement durable.

Au niveau de la lunetterie, il est toujours utilisé sous forme d'alliage car étant trop mou, il résiste très peu aux chocs et se marque facilement. Il n'est utilisé que comme composante majoritaire dans les alliages dans lesquels il est présent et sa concentration est alors exprimée en carats (K) où un carat correspond à 1/24^e de la masse totale de l'alliage. Il est fréquemment utilisé comme traitement de surface déposé par électroplacage. Sa faible dureté permet un usinage facile de ses alliages. On le retrouve également dans certaines brasures utilisées pour l'assemblage de pièces recouvertes d'or.

**L'ARGENT**

Ce métal reste aujourd'hui très peu utilisé en lunetterie comme matériau de recouvrement car il présente une faible dureté et son vieillissement est mauvais puisqu'il a tendance à ternir. Il est essentiellement utilisé dans les brasures à cause de son bas point de fusion et dans les alliages d'or.

**L'ALUMINIUM**

L'aluminium est le troisième élément et le premier métal en abondance dans la croûte terrestre (7,5 %) derrière l'oxygène (49,5 %) et le silicium (25,7 %). C'est un métal excessivement léger (40 % plus léger que le titane) et très durable puisqu'il est passif. On l'utilise ainsi à grande échelle en aéronautique. Tout comme le titane, on peut facilement l'anodiser pour obtenir différents coloris de surface très résistants (figure 4). On le retrouve aussi dans les alliages de titane comme agent alpha-gène.

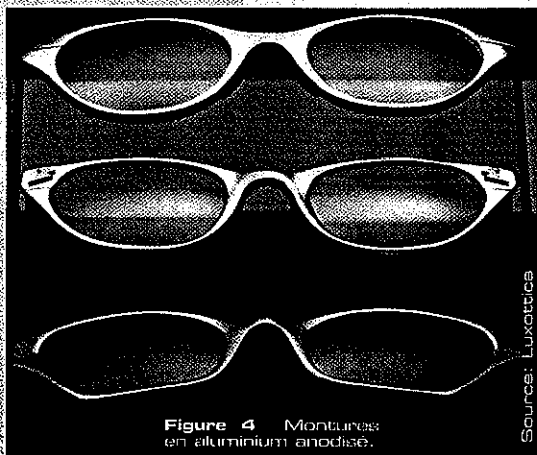


Figure 4 Montures en aluminium anodisé.

Source: Luxettes

**LE BÉRYLLIUM**

Le béryllium est un métal fréquemment employé pour renforcer les alliages. Il est léger et d'une grande dureté mais non résistant à la corrosion. On le retrouve dans la fabrication de montures, essentiellement dans les alliages de CuBe₂.

**LE FER**

Le fer est connu depuis très longtemps. En fait, le développement de la métallurgie du fer remonte autour du premier siècle avant J.-C. Cette époque a, à cet effet, été appelée l'âge de fer. C'est un métal peu coûteux et facile à produire. C'est l'élément principal de l'acier et de la fonte. Ainsi, il n'est jamais utilisé seul puisqu'il est trop mou et surtout qu'il s'oxyde rapidement en formant un composé très friable, la rouille. Très ductile, mais en même temps très résistant, il se travaille facilement à chaud et à froid. On le retrouve comme composante majoritaire dans l'acier inoxydable et à de faibles concentrations dans le monel et certains alliages de titane.

**LE CHROME**

Le chrome est également un métal passif, formant un oxyde de surface très résistant, protégeant ainsi le métal sous-jacent. Cette propriété est mise à profit surtout dans les aciers inoxydables qui doivent en contenir un minimum d'environ 10 % afin d'acquies ce caractère inoxydable. Il est aussi utilisé comme métal de recouvrement déposé par électroplacage en couche très mince et très dure, habituellement sur une base plus épaisse de nickel.

**LE CARBONE**

Contrairement aux autres éléments abordés jusqu'ici, le carbone est un non-métal, c'est-à-dire qu'il ne présente habituellement pas les caractéristiques propres aux métaux comme un fini brillant et de bonnes conductivités électriques et thermiques. On le retrouve naturellement soit sous forme de diamant ou de graphite, ce dernier étant toutefois un bon conducteur électrique sans être pour autant considéré comme un métal.

Sa présence est requise dans les aciers afin d'augmenter leur dureté. Une forte concentration de carbone rend l'alliage plus cassant. On parlera d'acier si la concentration de carbone est inférieure à 2 % et de fonte si celle-ci se situe entre 2 % et 4 %.



LE PHOSPHORE

Ce non-métal est uniquement utilisé comme désoxydant dans les bronzes, évitant ainsi la fragilisation de l'alliage causée par des oxydes internes.



LE TITANE

Le titane, communément désigné dans le milieu de l'optique sous son appellation anglaise titanium, est un métal particulièrement léger avec une masse volumique près de 50 % inférieure à celle du monel ou du maillechort. Bien qu'il soit le quatrième élément de la croûte terrestre, il est relativement coûteux à produire à partir de ses minerais. À l'état pur, il est parfaitement anallergique et biocompatible. Comme il est passif, il offre une excellente résistance à la corrosion, particulièrement en milieu acide. Tout comme l'aluminium, le titane s'anodise en milieu acide pour prendre différentes couleurs très stables.

Toutefois, le titane ne possède pas que des avantages. Ses faibles conductivités électrique et thermique rendent ce métal difficile à braser et demandent un équipement particulier permettant d'atteindre des températures élevées de plus de 1100°C et d'offrir une atmosphère neutre sous argon plutôt que sous azote hydrogéné comme dans la plupart des cas. Le titane réagissant facilement avec l'hydrogène et l'azote serait alors fragilisé lors de l'assemblage par brasure ou soudure. Son caractère passif, impliquant la présence continue d'un oxyde très dur en surface, ne facilite pas non plus les traitements de recouvrement et le brasage. De plus, avec un point de

fusion nettement supérieur aux autres alliages de lunetterie, le titane est difficile à souder avec des sections formées d'autres alliages. Son élasticité correspond approximativement à la moitié de celle de l'acier et il est moins résistant que le monel ou l'acier. Il est donc peu flexible et son usinage reste très difficile. Ces caractéristiques occasionnent donc un coût de fabrication particulièrement élevé. Comme il présente une faible résistance mécanique à l'état pur, on utilise plutôt ses alliages qui lui sont toutefois inférieurs en résistance à la corrosion tout en étant plus coûteux.

Le titane subit une transformation de structure à 882°C. Sous cette température, il existe sous une forme qualifiée d'alpha alors qu'à des températures supérieures, on le retrouve sous la forme bêta. Les propriétés du titane sont directement reliées à sa structure. Ainsi, la phase alpha est moins dure, conserve une bonne résistance mécanique même à haute température et possède une meilleure soudabilité que la phase bêta. Toutefois, seule la phase bêta peut être durcie par traitement thermique. Différents métaux sont ajoutés au titane pur afin de favoriser une phase plutôt qu'une autre. Ces alliages ainsi formés sont abordés plus loin dans l'article.



LE VANADIUM

Le vanadium est un élément utilisé dans les alliages de titane afin de stabiliser celui-ci dans sa phase bêta. Il permet d'augmenter la ductilité, particulièrement dans le cas des branches. Toutefois, il réduit la résistance à l'oxydation du titane. C'est le plus cher des éléments d'alliage courants.



LE ZINC

Le zinc est utilisé dans les maillechorts pour augmenter la ductilité et la résistance mécanique de l'alliage.

NOM	Or	Fer	Aluminium	Chrome	Etain	Zinc	Nickel	Cuivre	Titane
Symbole	Au	Fe	Al	Cr	Sn	Zn	Ni	Cu	Ti
Couleur	jaune	gris	blanc mat	blanc bleuté	gris mat	gris clair	blanc brillant	rouge-jaune	gris
Densité	19,5	7,9	2,7	8,9	7,2	7,1	8,8	8,9	4,5
T° de fusion (°C)	1064	1530	660	1857	232	420	1450	1084	1660
T° de recuit (°C)	600	850	250	900	3'	250	900	600	700
Résistance à l'oxydation	excellente	mauvaise	bonne ¹	correcte ¹	correcte	bonne à froid	bonne ¹	mauvaise	bonne ¹
Possibilité d'usinage	bonne	bonne	bonne	mauvaise	correcte	correcte	difficile	bonne	difficile
Possibilité de brasage	bonne ¹	correcte	mauvaise	mauvaise ²	correcte	correcte	bonne	bonne	difficile ²
Aptitude au reboulage	bonne	correcte	bonne	correcte	bonne	mauvaise	correcte	bonne	difficile
Aptitude au polissage	très bonne	bonne	correcte	bonne	mauvaise	mauvaise	bonne	bonne	difficile
Ductilité (après recuit)	très bonne	bonne	bonne	mauvaise	mauvaise	assez bonne	bonne	bonne	bonne
Malleabilité (après recuit)	très bonne	assez bonne	bonne	assez bonne	bonne	bonne	assez bonne	bonne	assez bonne
Dureté (après écrouissage)	faible	bonne	faible	très bonne	faible	faible	bonne	moyenne	très bonne
Ténacité (après écrouissage)	assez faible	bonne	assez faible	très bonne	faible	assez faible	bonne	moyenne	très bonne
REMARQUES	'se soude facilement à lui-même		'Métal passif	'Métal passif 'Les traces d'oxydation gênent la tenue de la brasure	'Température de recristallisation inférieure à la température ambiante, donc pas de recuit possible		'Métal passif Découpage et matriçage difficiles	'Métal qui gagne le plus en propriétés mécaniques par écrouissage	'Métal passif 'Les traces d'oxydation gênent la tenue de la brasure



Principaux alliages en lunetterie

Les éléments métalliques et non-métalliques précédemment abordés sont mis à contribution afin de créer des alliages permettant la mise en forme de différentes pièces composant une monture à partir de fils (figure 5). On recherchera selon la section fabriquée des caractéristiques comme l'élasticité, la ductilité, la résistance mécanique ou le caractère inoxydable par exemple. La présente section brosse un portrait des principaux alliages rencontrés dans le monde de l'optique lunetière. Chaque description de l'alliage est

accompagnée d'une figure illustrant la teneur en ses différentes composantes. Le tableau 4 présente les propriétés physico-chimiques de ces alliages.

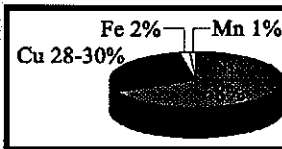
Figure 5. Alliages sous forme de différents fils pour la fabrication de branches, ponts, cercles, etc.

Les matériaux métalliques employés dans la fabrication de montures de lunettes sont souvent des alliages cuivre/nickel appelés cupro-nickels. Les deux principaux alliages de ce groupe utilisés en lunetterie sont le monel et le maillechort. D'autres alliages, tels que les aciers, les bronzes, les alliages de titane et d'aluminium, le doublé or et les alliages à durcissement structural, sont aussi utilisés, mais à une moindre échelle.

LES ALLIAGES CUPRO-NICKELS

Essentiellement représentés en lunetterie par les maillechorts (cuivre, nickel et zinc) et de monel (nickel et cuivre), les alliages cupro-nickels présentent comme principal avantage l'obtention d'un excellent compromis entre résistance mécanique et facilité d'usinage ou de mise en forme. La résistance mécanique évolue dans le même sens que la teneur en nickel, tandis que le cuivre par son caractère ductile, accroît la plasticité de l'alliage. Par ailleurs, ces composés étant sensibles au traitement thermique tel que le recuit, ils offrent la possibilité d'ajuster sur une large plage les propriétés mécaniques finales du produit formé par écrouissage.

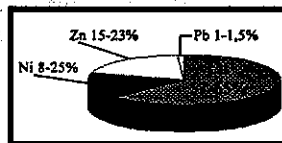
En outre, les cupro-nickels sont facilement décorés grâce à un vaste choix de traitements galvaniques (or, nickel, palladium, ruthénium, chrome, etc). La présence de cuivre rend le matériau particulièrement bon conducteur thermique et électrique, ce qui facilite les opérations d'assemblage par brasage en résistance ou en induction (haute fréquence) à des températures moyennes (600-700°C) pendant des temps de chauffe très courts.



LE MONEL

Le monel est un alliage relativement dur et très peu flexible mais ductile. La forte concentration de nickel dans ce matériau le rend résistant à la corrosion. Il doit toutefois être recouvert étant donné la possibilité d'allergies causées par ce métal. Le nickel confère à l'alliage une couleur blanchâtre, masquant la couleur du cuivre s'il est concentré à plus de 12 %.

Le monel offre également par sa teneur en nickel de bonnes résistances mécaniques. Ces propriétés sont meilleures que celles des bronzes, mais restent inférieures à celle des aciers inoxydables. Il résiste particulièrement bien aux acides et aux bases, à l'eau de mer et à la pollution atmosphérique. Il est surtout utilisé là où on admet peu de déformations, c'est-à-dire les cercles car ceux-ci ne doivent pas créer des tensions sur la lentille et entraîner éventuellement des distorsions. C'est le principal alliage pour cette section avec le titane et l'acier. On peut aussi l'utiliser dans la fabrication des ponts, charnières, branches et embouts, quoiqu'il soit moins justifié d'utiliser le monel dans ces sections. Le cuivre est ajouté pour faciliter la mise en forme car le nickel est très dur. Il permet aussi d'abaisser le prix de revient tout en assurant, à ces concentrations, la conservation de la résistance à la corrosion propre au nickel.



LES MAILLECHORTS

Les maillechorts ont été développés par Maillot et Chorier (d'où le nom) dans le but de fournir des alliages moins dispendieux. Il en existe de multiples variétés, mais en général, ils sont formés de cuivre, de nickel et de zinc et parfois de plomb pour en faciliter l'usinage. En lunetterie, les principales concentrations rencontrées sont de 58 % Cu, 20 à 24 % Ni et le reste Zn ou 55 % Cu, 24 à 28 % Ni et le reste Zn avec dans chaque cas des traces de plomb. À cause de leur forte teneur en cuivre, les maillechorts sont plus facilement usinés que le monel. Ils sont utilisés dans la confection de pratiquement toutes les sections de la monture à l'exception des cercles qui demandent une rigidité plus importante. Dans le cas des tenons et des charnières, on utilise plutôt un maillechort de décolletage contenant du plomb, donc plus mou, présentant conséquemment une résistance mécanique et une élasticité plus faible que le maillechort régulier (figure 6). On évite ainsi d'user prématurément les outils. Le pont peut aussi être en maillechort, mais pas de décolletage, avec plus de nickel car cette section exige plus de résistance.

Les maillechorts doivent être protégés de la corrosion, surtout si la concentration en nickel est faible. Une altération de la couleur en superficie de l'alliage est possible à la suite du contact d'ammoniac ou d'humidité. Ce matériau exige donc un revêtement protecteur. L'addition de nickel à l'alliage cuivre-zinc lui confère une coloration bleu-argent agréable. Ils imitent ainsi l'argent, d'où leur nom anglais de « nickel silver ».

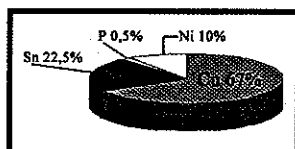
Figure 6. Décolletage d'un tenon. Les multiples étapes d'usinage nécessaires au décolletage des tenons durcissent beaucoup le métal et finissent par affecter les outils. L'utilisation d'un maillechort de décolletage, plus mou, permet d'éviter cette usure prématurée.



LES ALLIAGES SANS NICKEL

Ces alliages, essentiellement constitués de cuivre et d'étain (bronze), de fer et carbone et chrome (acier inoxydable) ou de titane, aluminium et vanadium (alliages de titane), possèdent des propriétés mécaniques légèrement inférieures à celles des alliages cupro-nickels. Toutefois, pour certains d'entre eux, des éléments tels que le manganèse, le fer, l'aluminium, le silicium ou le plomb, peuvent être ajoutés afin de conférer à l'alliage une amélioration, tantôt de la résistance mécanique, tantôt de l'aptitude au polissage ou encore au brasage.

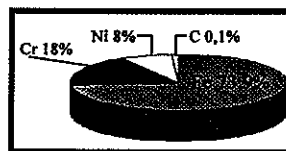
Selon leurs caractéristiques mécaniques, ces différents alliages sont proposés en remplacement soit du monel, soit des maillechorts. Bien que plus chers que ces alliages classiques, les alliages sans nickel présentent un léger avantage en termes de poids car ils ont une masse volumique voisine de 8 g/cm³, à l'exception des alliages de titane beaucoup plus légers tout en ne présentant pas les risques d'allergie propres au nickel.



LE BRONZE

Le bronze est un alliage à base de cuivre auquel on a ajouté entre 5 % et 25 % d'étain. Afin d'améliorer ses propriétés mécaniques, on lui ajoute du phosphore, de l'ordre de moins de 1 %. Étant donné son élasticité et, conséquemment sa résistance aux chocs, il est souvent utilisé dans la fabrication des branches. Il est de plus facile à déformer et à usiner surtout à cause de sa forte teneur en cuivre. Le bronze est toutefois peu résistant à la corrosion, surtout à de faibles concentrations d'étain. C'est donc un matériau qui nécessite un recouvrement. On ne doit pas le confondre avec le laiton chez qui on a remplacé l'étain par le zinc dans des proportions variant entre 25 % et 30 %. Ces deux alliages sont parmi les plus vieux connus. On parle d'ailleurs de l'âge du bronze, époque où les hommes fabriquaient des armes et des outils en bronze car la métallurgie du fer leur était inconnue (III^e millénaire avant J.-C.). Pour sa part, le cuivre contribue pour une bonne part à améliorer la ductilité et la conductibilité thermique de l'alliage.

Plusieurs types de bronzes sont utilisés en lunetterie comme le bronze Orane (avec addition de zinc et nickel) et le bronze KZ. Pour sa part, le bronze blanc (66 % Cu, 23 % étain, 10 % zinc et 1 % plomb) peut être utilisé comme traitement de surface et imite très bien l'argent par sa couleur et sa brillance. Cet alliage est très résistant à la corrosion par sa forte concentration d'étain et économiquement avantageux à produire puisqu'il ne contient pas de métaux précieux.

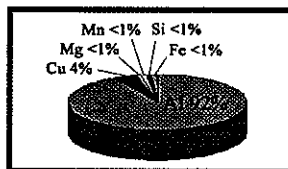


L'ACIER INOXYDABLE

Les aciers sont des alliages de fer contenant du carbone à des concentrations inférieures à 2 %. Un des aciers les plus fréquemment rencontrés contient au moins 10 % de chrome, ce qui le protège de l'oxydation atmosphérique. On parle alors d'acier inoxydable. À la suite de leur découverte en 1913 par H. Brearly, plusieurs types d'acier inoxydable ont été développés. Ces alliages connaissent de nombreuses utilisations dans le domaine industriel et en optique. La grande flexibilité et la résistance mécanique de ce matériau permettent de faire des montures plus minces et plus légères.

La propriété de résistance à la corrosion est due au fait que les alliages d'acier comportant plus de 10 % de chrome sont passifs, c'est-à-dire qu'ils forment une mince pellicule adhérente et stable d'oxyde de chrome Cr₂O₃ protégeant la structure sous-jacente de l'acier. Les aciers inoxydables, aussi abrégés sous l'appellation inox, peuvent subir des écrouissages s'ils contiennent de faibles teneurs en carbone puisque ce dernier élément durcit l'alliage et à plus fortes concentrations le rend plus cassant.

La principale gêne à l'emploi des aciers inoxydables, réside dans l'assemblage car ces matériaux sont reconnus comme difficiles à braser. C'est pourquoi cette opération nécessite une attention particulière, surtout en ce qui concerne le phénomène de corrosion intragranulaire à haute température qui fragilise grandement la brasure. De plus, cet alliage possède une mauvaise conductivité thermique et présente à sa surface une couche d'oxyde qui interfère avec la brasure.



L'ALUMINIUM

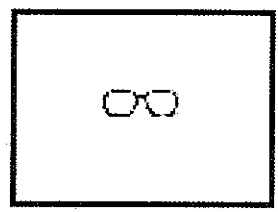
Grâce à l'excellente aptitude à l'usinage de l'aluminium, ses alliages (4 % Cu et moins de 1 % des éléments suivants: Mg, Mn, Si et Fe) peuvent être utilisés dans la fabrication des montures de lunettes en employant la technique de découpe analogue à celle pratiquée avec les plastiques. Par ailleurs, l'aluminium est un matériau appréciable pour son extrême légèreté (masse volumique de 2,7 g/cm³) et son excellente résistance à la corrosion étant donné son caractère passif. Toutefois, il présente des caractéristiques mécaniques trop modestes pour être utilisé sans élément d'alliage. C'est ainsi qu'il est associé au magnésium, au vanadium, au cuivre, au nickel ou au cobalt pour accroître ses performances mécaniques. Ces alliages sont très ductiles et malléables et se coulent très facilement. Il est possible de former un revêtement relativement épais d'oxyde sur l'aluminium et ses alliages par anodisation. On produit ainsi un revêtement clair, transparent et poreux que l'on peut teinter au besoin dans de multiples couleurs.

Quand on soude les ponts, cercles et tenons, la matière chauffée devient molle. Avec les matériaux trempants, on resolidifie la matière grâce à une trempe à 370°C après leur mise en forme, pour retrouver des caractéristiques mécaniques importantes, ce qui permet d'obtenir la dureté désirée de l'alliage et permet donc la conception de montures très fines.

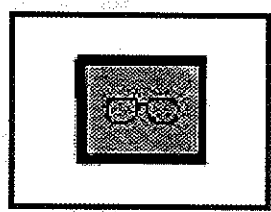
Une particularité singulière du cuivre-béryllium $CuBe_2$ est qu'il se coule à environ 1000°C et se durcit à la chaleur. Il peut aussi être usiné mais le moulage par le principe de cire perdue est moins onéreux à grande échelle (figure 8).

FIGURE 8
Principe du moulage selon le principe de la cire perdue.

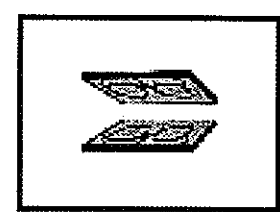
MOULAGE PAR CENTRIFUGATION



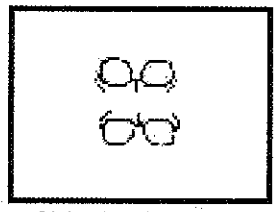
1 Modèle étalon en laiton à l'échelle



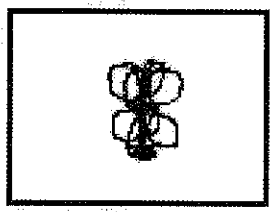
2 On coule des demi-coques en silicone, autour de l'étalon



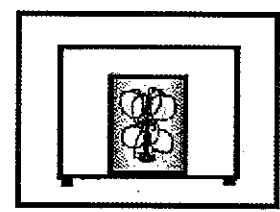
3 Séparation des demi-coques et retrait de l'étalon. On obtient la forme négative de l'original



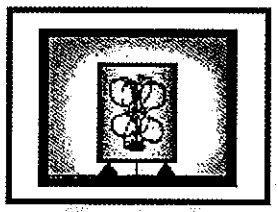
4 Injection de cire dans la coque pour obtenir des modèles



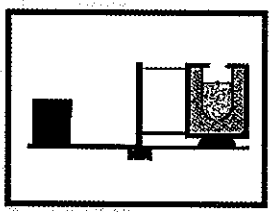
5 Les modèles en cire sont réunis en grappes



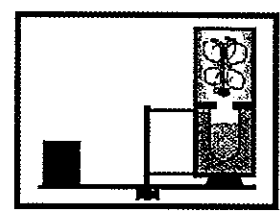
6 Ils sont enrobés d'une masse semblable à du plâtre, tassée par vibration



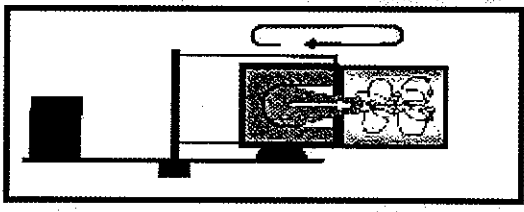
7 La grappe de modèles en cire fond et s'écoule de la masse d'enrobage qui a durci



8 Fusion des composantes de l'alliage de la monture dans un creuset



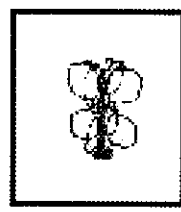
9 Le moule est fixé sur le creuset de la centrifugeuse



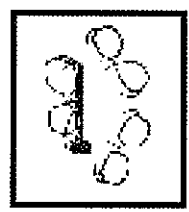
10 Le métal liquide est transféré par la force centrifuge contre les parois du moule en rotation



11 Le moule est ensuite cassé pour extraire la grappe de montures. Ce moule n'est utilisé qu'une seule fois.



12 Grappes de montures avant le découpage



13 Les montures sont séparées des canaux de coulée

