



**NGK BERYLCO**

[www.ngk-alloys.com](http://www.ngk-alloys.com)

## Alliages Cuivre-Béryllium

### Guide Technique



Sécurité • Fiabilité • Performance

	<b>Page</b>
<b>Généralités</b>	<b>2</b>
Le béryllium	2
Alliages cuivreux à durcissement structural	2
Traitement thermique et diagramme d'équilibre Cu-Be	3
Etats de livraison	4
Utilisations	5
<b>Les Alliages</b>	<b>6</b>
Le cuivre-béryllium	6
Propriétés physiques	7
Désignation et composition chimique (%)	7
Propriétés physiques après traitement de revenu	7
Spécification de références	7
<b>Les produits</b>	<b>8</b>
Formes des produits standards	8
Bandes et plaques	8
Barres et tubes	12
Fils	13
Produits spéciaux	14
<b>Guide technique</b>	<b>16</b>
Propriétés comparées avec certains alliages	16
Caractéristiques ressort	17
Relaxation des contraintes	18
Résistance à la fatigue	20
Résistance à haute température	21
Propriétés cryogéniques	21
Résistance à l'usure	22
Propriétés magnétiques	22
Conductibilité électrique	23
Résistance à la corrosion	25
<b>Technologie – Mise en œuvre</b>	<b>27</b>
Travail à la presse	27
Traitement thermique	30
Usinage	35
Assemblage	39
Revêtements électrolytiques	40
<b>Environnement</b>	<b>41</b>
Hygiène industrielle	41
Législation	41
<b>Tables</b>	<b>42</b>
Masse linéique des Bandes	42
Masse linéique des Barres	43
Dureté – Table de conversion	44

## Le béryllium

Bien que le principal minéral de béryllium, le béryl, du grec 'Beryllos', était déjà connu 5000 ans avant Jésus-Christ et apprécié comme pierre précieuse, son exploitation industrielle ne commença vraiment qu'à partir de 1941.



La découverte du béryllium a été attribuée à Louis-Nicolas Vauquelin (F) qui, en 1798, à la demande du minéralogiste Hauy, essayait de découvrir une possible similitude chimique entre le béryl et l'émeraude.

C'est en 1828 que Friedrich Whöhler (D) et Antoine Bussy (F) isolèrent le métal. Vauquelin conféra le nom de glucinium, du grec 'glikys', au nouvel élément identifié, en référence au goût douceâtre de certains de ses composés. Le nom de béryllium fut officiellement donné à cet élément en 1957.

Le béryllium (Be) est un minéral extrait du sol le plus souvent à l'état d'oxydes. C'est un métal d'aspect gris-acier qui se trouve principalement dans les minerais comme le béryl ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ), aussi appelé émeraude ou aigue marine selon sa couleur, et le chrysobéryl ( $\text{Al}_2\text{BeO}_4$ ). Le béryllium pur est obtenu par réduction du béryl ou par électrolyse du chlorure de béryllium.

Le béryllium figure en quatrième position sur le tableau périodique des éléments. A l'état pur, le béryllium possède une excellente conductivité thermique et est amagnétique. Le béryllium est un élément léger (densité 1.85 g/cm<sup>3</sup>) qui fond vers 1300°C et qui possède un module de Young très élevé. Les qualités physiques du béryllium en font un élément à usages variés dans les domaines de pointe. En tant que matériau métallique, ses utilisations sont relativement limitées aux industries aérospatiales et nucléaires ainsi que dans le domaine de la défense.

## Alliages cuivreux à durcissement structural

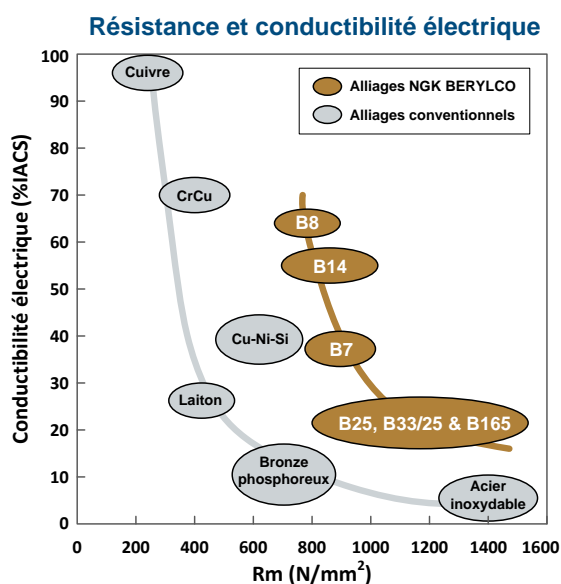
Néanmoins, la propriété la plus intéressante du béryllium, celle qui a été déterminante pour l'élaboration d'alliages industriels, est sa faculté en tant qu'addition de provoquer un durcissement par précipitation au sein d'autres métaux, en particulier le nickel, l'aluminium et surtout le cuivre. Ces deux derniers alliages doivent leur développement au fait que le béryllium allié au nickel ou au cuivre et préalablement mis en solution, peut provoquer un durcissement de l'alliage par précipitation structurale par un traitement de revenu à température basse.

Les alliages de cuivre au béryllium sont élaborés à partir d'un alliage mère cuivre-béryllium contenant 4% de béryllium et obtenu par le processus suivant :

- 1) Traitement chimique du minéral (le béryl) constitué d'un silicate double d'aluminium et de béryllium pour obtenir l'oxyde de béryllium.
- 2) Réduction de l'oxyde de béryllium par calcination dans un four électrique à arc en présence de cuivre par le carbone.

Le cupro-béryllium est un alliage métallique constitué principalement de cuivre et d'une addition de béryllium. Afin d'obtenir des caractéristiques finales spécifiques, les alliages Berylco contiennent de 0,4 à 2 % de béryllium et de 0,2 à 2,7 % d'éléments métalliques tels que nickel, cobalt, fer, ou plomb. Ses

hautes caractéristiques mécaniques sont obtenues après traitement thermique.



Les alliages Berylco concilient un ensemble de propriétés qui en font des matériaux indispensables et idéaux pour la réalisation de très nombreuses pièces utilisées dans les domaines les plus variés tels que l'automobile, l'électronique, la télécommunication, le médical, la pétrochimie, l'aéronautique, l'horlogerie, l'électrochimie, etc.



Un simple traitement thermique de revenu permet par durcissement d'obtenir des caractéristiques mécaniques très élevées et d'améliorer les caractéristiques électriques. Cette propriété des alliages cupro-béryllium est fondamentale :

- Ils peuvent être livrés avec des possibilités de déformations plastiques comparables à celles du cuivre et acquérir, après réalisation des pièces les plus délicates, des caractéristiques mécaniques très élevées.
- Ils ont une excellente résistance à la traction pouvant atteindre 1500 N/mm<sup>2</sup>.

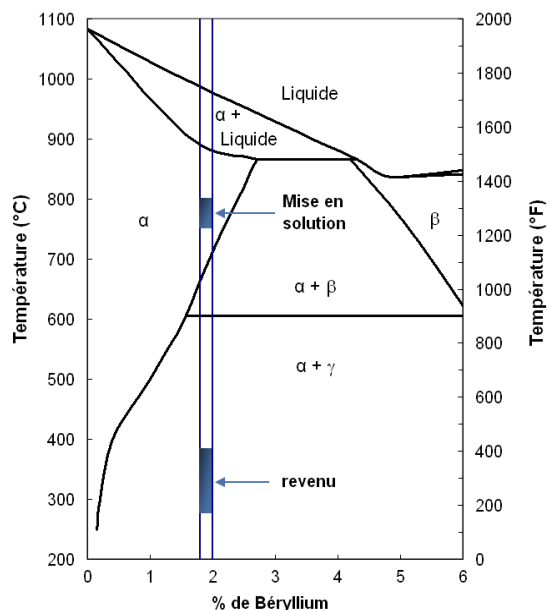
- Ils possèdent une excellente résistance à la fatigue et tout particulièrement à la fatigue alternée et sous vibrations.
- Ils présentent une dureté exceptionnelle dépassant parfois 400 Vickers ou Brinell.
- Ils présentent une grande résistance à l'usure.
- Ils manifestent une absence d'hystérésis lors des déformations élastiques.
- Ils ont une plage de température d'utilisation très étendue plus particulièrement aux très basses températures, mais aussi à des températures nettement supérieures à celles des alliages de cuivre courant.

Parce qu'ils sont des alliages à base de cuivre :

- Ils ont une bonne conductibilité électrique allant de 20 à 70 % IACS suivant l'alliage et l'état.
- Ils sont amagnétiques
- Ils possèdent une grande résistance à la corrosion particulièrement dans les milieux marins et industriels.
- Ils présentent une bonne usinabilité.
- Ils sont anti-étincelants.
- Ils ont une bonne coulabilité.

## Traitement thermique et diagramme d'équilibre Cu-Be

Le diagramme d'équilibre binaire permet de concrétiser les états dans lesquels l'alliage peut se trouver en fonction de la température et de la teneur en béryllium, et ainsi, de mieux comprendre le mécanisme des traitements thermiques.



L'augmentation de la solubilité du béryllium dans le cuivre avec l'augmentation de la température, d'une quantité presque nulle (inférieure à 0.25%) à température ambiante à plus de 2% en poids au-dessus de 800°C, définit une zone à gauche du diagramme dans laquelle l'alliage est une solution solide (phase α) de réseau cubique à faces centrées, comme le cuivre.

Pour l'alliage type : CuBe1.9 (1.8% à 2% de Be en poids), on se trouve en phase α entre 720 et 860°C. Plus précisément, sur le plan industriel, la mise en solution se fait entre 750 et 800°C. En refroidissant suffisamment vite le métal après mise en solution par une trempe, il est possible de maintenir cette solution sursaturée à la température ambiante. Cette opération est toujours effectuée par le fournisseur.

A cet état le cuivre au béryllium est malléable et ductile, et armé pour le durcissement structural. C'est cette opération qui donnera à l'alliage toutes ses propriétés intéressantes. Ce durcissement structural se produira lorsque l'on cherchera à retrouver l'état d'équilibre α + γ. Pour cela il sera nécessaire de chauffer le métal pour accélérer la transformation, car

à la température ambiante, la structure hors d'équilibre en solution sursaturée peut se conserver indéfiniment.

La phase  $\gamma$  est une phase riche en béryllium (1 atome sur 2), ordonnée et de réseau cubique centré. La formation de cette phase  $\gamma$  provoque, ainsi l'appauvrissement de la matrice  $\alpha$  en béryllium, ce qui améliore les conductibilités électrique et thermique. De plus elle provoque une contraction de la matière, qui se traduit par un rétrécissement linéaire moyen, non uniforme, de 0.2%.

Le durcissement structural se produit au cours de la précipitation de la phase  $\gamma$  qui se fait à travers plusieurs phases intermédiaires, et ce sont ces phases intermédiaires qui donnent à l'alliage le maximum de dureté. Le traitement de revenu se fait généralement entre 300 et 400°C pour des temps variant entre 15 min à 4 h, ceci, suivant le type de four utilisé et les caractéristiques recherchées.

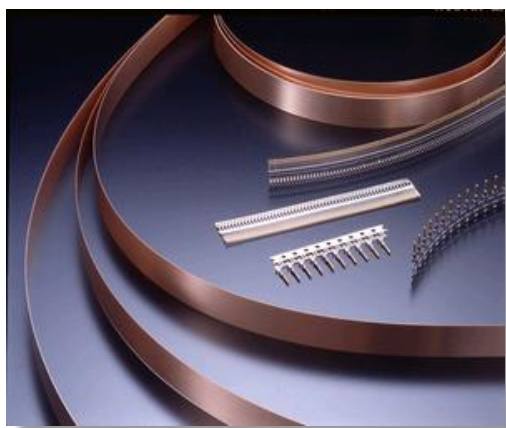
La résistance mécanique la plus élevée est obtenue avec un traitement à 310-330°C et des durées de 2 à 3 h suivant l'état initial du métal.

Les alliages à haute conductibilité (composés béryllium-nickel dans le cuivre) ont une teneur en béryllium comprise entre 0.15 et 0.70%. Dans ces alliages, la majeure partie du béryllium est fractionnée en composés intermétalliques de béryllium. Les composés grossiers formés durant la solidification limitent le grossissement du grain pendant la mise en solution, tandis que les composés fins, formés pendant la phase de durcissement par précipitation, améliorent la dureté.

La mise en solution et le revenu de ces alliages s'effectuent à des températures plus élevées que pour les alliages à haute résistance. La stabilité de la phase de durcissement à température élevée permet d'obtenir une meilleure résistance, pour cette famille d'alliages, au fluage et à la relaxation sous contrainte.

## Etats de livraison

Les propriétés des alliages de cuivre-béryllium dépendent pour partie de la composition chimique, mais l'écroissage et le revenu jouent également un rôle important. Le choix d'un état dépendra avant tout de la mise en forme ou de l'usinage à effectuer sur le semi-produit, car les caractéristiques finales dépendent beaucoup plus du traitement de revenu que de la déformation à froid donnée après la trempe.



La définition des états est précisée dans les normes en vigueur mais des termes tels que '1/2 écroui' ou '1/2 dur' sont couramment utilisés par les fabricants et les utilisateurs. Dans leur état mis en solution, les alliages cuivre-béryllium sont désignés par la lettre 'A' pour

'Annealed', qui correspond en français à l'état trempé mou. Il s'agit de l'état le plus mou dans lequel l'alliage puisse se trouver.

La mention 'H' pour 'Hard' désigne un alliage ayant été durci par travail à froid tel que le laminage et étirage. La mention 'T' pour 'Heat Treated' suivant les lettres 'A' ou 'H' signifie que l'alliage a subi un traitement standard destiné à lui conférer ses caractéristiques maximales.

La mention 'M' pour 'Mill Hardened' indique que le métal a été soumis en usine à un revenu spécifique destiné à lui donner des caractéristiques s'inscrivant dans une fourchette spécifique et garantie.

En ce qui concerne les laminés, on aura intérêt à choisir l'état le plus écroui permettant les déformations nécessaires au formage de la pièce à réaliser :

- L'état trempé (A) est recommandé pour les emboutissages profonds, et lorsque cette opération est prévue, il est préférable de le préciser à la commande.
- L'état 1/4 H est recommandé dans tous les cas nécessitant une mise en forme sévère sans emboutissage important.

- L'état 1/2 H permet encore des déformations importantes, mais limitées, alors que l'on réservera l'état H pour des pièces pratiquement planes.

Les états 'revenu à l'usine' présentent l'avantage d'éviter à l'utilisateur tout traitement thermique. Il ne faut cependant pas oublier que le métal possède à l'état de livraison ses caractéristiques d'utilisation, ce qui nécessite que ces dernières soient compatibles

avec la mise en forme de la pièce. Le choix d'une qualité 'revenu à l'usine' fera donc souvent l'objet d'un compromis: caractéristiques à l'utilisation / aptitude à la mise en forme (formage).

Pour les étirés, c'est l'état écroui qui présente la meilleure aptitude à l'usinage et en particulier l'alliage de décolletage B33/25. Ce dernier a un indice d'usinabilité de l'ordre de 60%, alors que l'alliage standard Berylco 25 a un indice d'environ 20%.

## Utilisations



Les alliages Berylco concilient un ensemble de propriétés qui en font des matériaux indispensables et idéaux pour la réalisation de pièces de haute précision et aux formes complexes utilisées dans les domaines et applications les plus variés:

- Connexion dans les industries électriques et électroniques (informatique, télécommunication, aérospatiale, automobile, etc.)
- Lames de contact dans les industries électromécanique, électroménager et automobile.
- Pièces pour l'instrumentation (membranes, capsules, etc.)
- Ressorts et pièces élastiques
- Pièces de frottement et d'usure
- Outils spéciaux anti-étincelants et antidéflagrants
- Moules pour l'injection plastique, etc.

La réussite des défis technologiques de demain, liés aux exigences toujours croissantes en matière de prix, de qualité, de confort, de miniaturisation, de sécurité, d'environnement, de respect des exigences spécifiques de tolérances, des états de surface irréprochable, de formage et de hautes performances, auxquelles est confrontée chacune de ces industries nécessite le recours à des matériaux adaptés tels que le cuivre au béryllium.

### Sécurité – Fiabilité – Performance

■ Haute résistance à la traction	■ Dureté élevée	■ Haute limite élastique	■ Grande résistance à la fatigue	■ Résistance à l'usure	■ Résistance à l'abrasion	■ Résistance à la relaxation	■ Conductibilité électrique et thermique	■ Amagnétisme	■ Excellente résistance à la corrosion	■ Formabilité	■ Anti-étincelant		
Pour les pièces mécaniques ; arbres clavetés, cames, engrenages, billes et cages de roulements nécessitant une bonne tenue à l'usure.		Pour les clips, rondelles, ressorts, diaphragmes, soufflets, suspensions de cardans, exigeant une bonne tenue à la fatigue.		Pour les contacteurs, les relais, les interrupteurs, tous les ressorts soumis aux vibrations prolongées.		Pour les coquilles, les moules et pièces pour injection, les coussinets, les clapets, etc.		Pour les applications automobiles, aéronautiques, spatiales et cryogéniques.		Pour les applications électriques, électroniques, horlogères, d'instrumentation, matériel de soudage.		Pour les ambiances industrielles (pétrochimie en particulier), pour la marine, l'océanologie, etc.	
Pour les outils de sécurité, les applications en atmosphère explosive.													

## Le cuivre-béryllium

NGK Berylco est spécialisée dans la production d'alliages cuivre-béryllium. Ces alliages se différencient en 2 distinctes catégories telles que la **haute résistance** (B25, B33/25 et B165) et la **haute conductibilité** (B14, B7 et B8). L'alliage B14 présente la particularité d'associer haute résistance et conductibilité. Nos alliages sont généralement disponibles à l'état écroui ainsi qu'à l'état revenu usine (Mill-Hardened).

### Berylco 25

Cet alliage, qui contient environ 2% de béryllium, atteint les résistances mécaniques et duretés les plus élevées des alliages de cuivre après traitement thermique de durcissement (1500 MPa). Il présente une excellente aptitude au pliage dans les états mou et légèrement écroui. Le B25 est aussi délivré à l'état durci après revenu usine. Son utilisation à l'état revenu permet d'éviter le traitement thermique de durcissement ce qui supprime aussi toute distorsion des pièces terminées ainsi que la réduction des coûts de production. L'alliage B25 présente des possibilités de combinaisons uniques de caractéristiques mécaniques et électriques, tout en ayant une bonne aptitude au pliage après traitement thermique selon les états. Il se distingue aussi par sa haute résistance à la fatigue et par son excellente tenue à la relaxation thermique.

### Berylco 165

Le B165 possède des propriétés mécaniques et électriques similaires au B25. L'Alliage B165, plus pauvre en béryllium que le B25, est de préférence utilisé en milieu humide. Il offre une bonne résistance mécanique et est recommandé pour des applications marines.

### Berylco 33/25

L'alliage B33/25 correspond à une version du B25 contenant du plomb et atteint les mêmes résistances mécaniques exceptionnelles après durcissement. Sa faible adjonction de plomb lui confère une très bonne usinabilité (fragmentation des copeaux et de l'usure des outils). Livré sous forme de barres et de fils, il est principalement destiné à la réalisation de pièces usinées et au décolletage. Le B33/25, généralement

durci après usinage, se distingue par sa haute résistance à la fatigue, par son excellente tenue à la relaxation thermique et par une combinaison unique de résistance mécanique et de conductibilité. Il peut être recuit localement pour permettre le sertissage après durcissement et est facilement revêtu d'une couche galvanique.

### Berylco 14

L'alliage B14 contient une faible teneur en béryllium. Il est durcissable et présente une excellente conductibilité électrique. Après procédé spécial de fabrication, le B14 S livré dans l'état durci en usine présente une excellente aptitude au pliage. Bien que livré dans l'état durci, le B14 S allie à la fois une excellente conductibilité électrique et une résistance mécanique élevée (valeurs typiques: 55% IACS et 950MPa). Aucun traitement thermique ultérieur des pièces découpées n'est nécessaire, ce qui réduit les coûts de production et évite toute déformation des pièces terminées. Cet alliage se distingue par une formabilité et par une combinaison de résistance mécanique et de conductibilité qu'aucun autre alliage cuivreux de cette gamme de prix ne peut atteindre.

### Berylco 7

Alliage de cuivre faiblement allié en béryllium. Le B7 est livré durci en usine et aucun traitement thermique ultérieur des pièces n'est nécessaire. Il offre un excellent compromis de résistance mécanique élevée, de formabilité, de conductibilité électrique et thermique et exceptionnelle pour cette résistance. Il est préconisé pour de très grandes séries.

### Berylco 8

Cet alliage est le résultat du développement récent du groupe NGK. L'alliage B8 contient du nickel et environ 0.4% de béryllium. L'alliage B8 est livré dans l'état durci en usine, ce qui limite un peu sa formabilité mais qui permet d'éviter le traitement thermique des pièces découpées. Il présente la conductibilité électrique la plus élevée des alliages Berylco (>60% IACS). Alliage combinant une très haute conductibilité électrique et une bonne résistance mécanique, il est utilisé dans toutes les applications qui nécessitent de bonnes propriétés mécaniques à haute température.

## Propriétés physiques

### Désignation et composition chimique (%)

Désignation du matériau				Composition (teneur en masse) en %								
NGK Berylco	ISO/EN Symbole	ISO/EN Numéro	UNS (ASTM)	Béryllium (Be)	Cobalt (Co)	Nickel (Ni)	Nickel (Ni) + Cobalt (Co)	Cobalt (Co) + Nickel (Ni) + Fer (Fe)	Plomb (Pb)	Aluminium (Al)	Cuivre (Cu) + additions	
Haute résistance	<b>B25</b>	CuBe2	CW101C	C17200	1.8-2.0	0.3 max.	-	-	0.6 max	-	-	99.5 mini
	<b>B33/25</b>	CuBe2Pb	CW102C	C17300	1.8-2.0	0.3 max.	-	-	0.6 max	0.2 mini.	-	99.5 mini
	<b>B165</b>	CuBe1.7	CW100C	C17000	1.6-1.8	0.3 max.	-	-	0.6 max	-	-	99.5 mini
Haute conductibilité	<b>B14</b>	CuNi2Be	CW110C	C17510	0.2-0.6	-	1.8-2.5	-	-	-	-	99.5 mini
	<b>B8</b>	CuNi2Be	CW110C	C17510	0.2-0.6	-	1.4-2.2	-	-	-	-	99.5 mini
	<b>B7</b>	CuNi2Be	CW110C	C17530	0.2-0.4	-	-	1.8-2.5	-	-	0.6 max.	99.5 mini

### Propriétés Physiques

Propriétés Physiques après traitement de revenu			B25 B33/25	B165	B14	B8	B7
Plage de fusion	(°C)		865-980	890-1000	1030-1070	1005-1070	1050-1085
Densité	(g/cm <sup>3</sup> )	à 20°C	8,26	8.35	8,75	8,75	8,71
Chaleur spécifique	(Cal/(g.°C))	à 20°C	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Coefficient de dilatation linéaire	(x10 <sup>-6</sup> /°C)	de 20° à 200°C	17,3	17,5	18	17,6	17,6
Résistivité électrique ρ (maxi)	(10 <sup>-8</sup> Ω.m)	à 20°C	7,9	7,8	3,8	3,1	5,4
Conductibilité thermique	(W/m.K)	à 20°C	84-130	90-135	167-260	167-260	148-194
Conductibilité électrique	(% IACS)	à 20°C	25	25	50	63	38
Module d'élasticité	(N/mm <sup>2</sup> )		130 000	128 000	132 000	132 000	127 000
Module de torsion	(N/mm <sup>2</sup> )		50 000	49 000	52 000	52 000	49 000
Coefficient de Poisson			0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Perméabilité magnétique	μ (μ=1+4πk)		1.000042	1.000042	1.000031	1.000031	1.000027
Résistance à la fatigue	(N/mm <sup>2</sup> )	à 10 <sup>8</sup> cycles	≥ 300	≥ 300	≥ 240	≥ 240	≥ 250

### Spécification de références

Organismes	Bandes	Barres et Fils	
EN	Comité Européen de Normalisation	1652, 1654	12163, 12164, 12165, 12166, 12167
ASTM	American Society for Testing & Materials	B194, B534	B196, B197, B442
CDA	Copper Development Association	C17200, C17000, C17510, C17530	C17200, C17300, C17510
AMS	Aerospace Materials Specification	4530, 4532	4533, 4534, 4650, 4651, 4725
SAE	Society of Automotive Engineers	J461, J463	J461, J463
JIS	Japanese Industrial Standard	H3130 C1720 P.R, H3130 C1751 P.R	H3270 C1720 B.W
AFNOR <sup>(1)</sup>	Association Française de Normalisation	A51.109*	A51.114*, A51.414*, NFL14.709
DIN <sup>(1)</sup>	Deutsches Institut für Normung	17666*, 17670*, 1777*	17666*, 17672*
QQ <sup>(2)</sup>	US Federal Specification	QQ-C-533	QQ-C-530
BS <sup>(1)</sup>	British Standard	BS 2870*	BS 2873*

■ Normes remplacées par les normes EN (1) ou ASTM (2). Ces normes sont à utiliser à titre d'information uniquement et ne peuvent être utilisées lors de commandes.

■ Veuillez contacter NGK Berylco afin de déterminer la spécification adéquate.



## Formes des produits standards

Nos alliages cuivre-béryllium sont disponibles sous des formes multiples, et dimensions, afin de satisfaire la demande provenant de la plupart des secteurs industriels. Nos produits les plus standards sont :



- Les bandes (ou feuillards), sont des produits laminés, d'épaisseur inférieure à 1.5 mm et sont livrés en rouleaux.
- Les barres, généralement rondes, sont des produits étirés, extrudés ou forgés variant de 1.4 à 65 mm de diamètres. Ils sont livrés en longueurs courantes de fabrication ou en longueur fixes.
- Les fils, sont livrés en bobines.
- Les plaques sont des produits plats laminés d'une épaisseur supérieure à 1 mm et de 200 mm de large.
- Les tubes sont des produits creux de forme ronde livrés en longueurs courantes de fabrication ou en longueur fixes.

Formes des produits standards	Désignation NGK Berylco					
	B25	B33/25	B165	B14	B8	B7
Bande	✓	-	✓	✓	✓	✓
Barre	✓	✓	-	✓	-	-
Fil	✓	✓	-	✓	-	-
Plaque	✓	-	-	✓	-	-
Tube	✓	-	-	✓	-	-

## Bandes et plaques



NGK Berylco produit des bandes et plaques en cuivre-béryllium majoritairement destinées à être embouties puis découpées en petites lamelles utilisées dans une vaste gamme d'applications industrielles : des connecteurs à contacts électriques, des membranes à éléments de ressorts, des bandes de contacts pour blindage électromagnétique, etc... Une lamelle en cupro-béryllium dispose naturellement d'un effet ressort, elle peut aussi être, de par sa conductibilité, l'élément actif d'un dispositif conducteur de courant.

Dans un connecteur, un contact en cuivre béryllium règle la force d'insertion, fournit une force suffisante pour minimiser la résistance de contact et maintient la force d'extraction indispensable afin d'assurer l'intégrité du circuit conducteur. Ceci nécessite souvent un contact découpé combinant rigidité et flexibilité pour la même pièce, caractéristiques majeures de nos cuivre-bérylliums.

Nos alliages offrent la garantie de performances élevées. Nos bandes se distinguent par leurs tolérances restreintes aussi bien pour leurs compositions chimiques, pour leurs précisions dimensionnelles que pour leurs propriétés mécaniques. Elles peuvent recevoir un traitement de surface (Nickel, Or, Argent, Etain, etc.) qui augmente leur conductivité afin d'assurer le point de contact ou pour améliorer leur compatibilité électromagnétique avec les surfaces en présence.

**Bandes Berylco alliages à haute résistance**

Caractéristiques mécaniques et électriques										
Alliage	Etat	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	Allongement A50 mini * (%)	Dureté (HV)	Conductibilité électrique (% IACS)	Traitement thermique de revenu	Formabilité R/t pour pliage à 90°		
								Trans.	Trans.	
B25	■ Avant revenu									
	A	TB00	410 - 540	190 - 380	35	90 - 150	15 - 19	---	0,0	0,0
	1/4H	TD02	510 - 610	400 - 560	15	130 - 190	15 - 19	---	0,0	0,0
	1/2H	TD03	590 - 690	510 - 660	8	180 - 220	15 - 19	---	1,0	2,0
	H	TD04	690 - 830	650 - 800	2	215 - 270	15 - 19	---	2,0	5,0
	■ Après un revenu standard									
	AT	TF00	1130 - 1350	960 - 1210	3	350 - 410	21 - 28	3h à 315°C	--	--
	1/4HT	TH01	1210 - 1400	1020 - 1280	3	360 - 430	21 - 28	2h à 315°C	--	--
	1/2HT	TH02	1260 - 1450	1090 - 1350	1	370 - 440	21 - 28	2h à 315°C	--	--
	HT	TH04	1310 - 1520	1130 - 1420	1	380 - 450	21 - 28	2h à 315°C	--	--
	■ Après traitement de revenu en usine									
	1/4HM	TM01	750 - 870	550 - 760	15	235 - 280	19 - 28	M	1,3	1,8
	1/2HM	TM02	830 - 960	650 - 850	12	260 - 310	19 - 28	M	1,5	2,0
	HM	TM04	930 - 1080	750 - 980	9	290 - 350	19 - 28	M	2,3	2,5
	SHM	TM05	1030 - 1150	860 - 1020	9	310 - 360	19 - 28	M	2,5	3,0
	XHM	TM06	1100 - 1250	930 - 1180	4	345 - 395	19 - 28	M	3,0	4,0
	XHMS	TM08	1200 - 1320	1030 - 1230	3	365 - 420	19 - 28	M	4,0	6,0
	■ Après un revenu usine spécifique haute formabilité (Type B)									
	1/2HMB		830 - 930	660 - 860	12	255 - 310	17 - 26	M	0,0	0,0
	HMB		930 - 1030	760 - 930	9	280 - 340	17 - 26	M	1,0	1,0
	XHMB		1070 - 1210	930 - 1170	6	330 - 390	17 - 26	M	2,0	2,0
	■ Après un revenu usine spécifique haute formabilité (Type S)									
HM-TypeS		960 - 1040	790 - 940	9	285 - 370	17 - 26	M	0,5	0,5	
XHM-TypeS		1060 - 1220	930 - 1070	6	315 - 395	17 - 26	M	1,0	1,0	
B165	■ Avant revenu									
	A	TB00	410 - 530	190 - 380	35	90 - 150	15 - 19	---	0,0	0,0
	1/4H	TD02	510 - 610	400 - 560	15	130 - 190	15 - 19	---	0,0	0,0
	1/2H	TD03	580 - 690	500 - 660	8	180 - 220	15 - 19	---	1,8	2,0
	H	TD04	680 - 830	620 - 800	2	210 - 270	15 - 19	---	3,5	5,0
	■ Après un revenu standard									
	AT	TF00	1030 - 1260	890 - 1140	3	330 - 380	21 - 28	3h à 315°C	--	--
	1/4HT	TH01	1100 - 1320	930 - 1170	3	340 - 390	21 - 28	2h à 315°C	--	--
	1/2HT	TH02	1170 - 1380	1030 - 1250	1	360 - 410	21 - 28	2h à 315°C	--	--
	HT	TH04	1240 - 1450	1060 - 1300	1	370 - 440	21 - 28	2h à 315°C	--	--
	■ Après traitement de revenu en usine									
	AM	TM00	690 - 800	480 - 660	16	210 - 250	19 - 28	M	1,0	1,2
	1/4HM	TM01	750 - 870	550 - 760	15	235 - 280	19 - 28	M	1,8	2,0
	1/2HM	TM02	830 - 960	650 - 850	12	260 - 310	19 - 28	M	2,0	2,2
	HM	TM04	930 - 1070	750 - 980	9	285 - 340	19 - 28	M	2,3	2,5
	SHM	TM05	1020 - 1150	850 - 1020	9	300 - 360	19 - 28	M	2,5	3,0
XHM	TM06	1100 - 1250	930 - 1170	4	335 - 385	19 - 28	M	3,0	5,0	

**Note**

- Propriétés – Valeurs applicables pour des bandes d'épaisseurs 0.1mm et plus.
  - M – La mention "Mill Hardened" indique que le métal a été soumis en usine à un traitement particulier destiné à lui donner des caractéristiques s'inscrivant dans une fourchette spécifique et garantie.
  - Formabilité – Les ratios de formabilité R/t donnent les rayons de pliages à 90° admissibles sans fissuration en fonction de la direction de laminage (pliage sens longitudinal et sens transversal), pour les divers états de livraison. Les valeurs typiques R/t sont applicables pour des épaisseurs inférieure à 0.25mm.
- R = rayon de pliage ; t = épaisseur de la bande.

## Bandes Berylco alliages à haute conductibilité

Caractéristiques mécaniques et électriques										
Alliage	Etat	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	Allongement A50 mini (%)	Dureté (HV)	Conductibilité électrique (% IACS)	Traitement thermique de revenu	Formabilité R/t pour pliage à 90°		
								Trans.	Long.	
B14	■ Avant revenu									
	A	TB00	250 - 380	140 - 300	20	60 - 130	22 - 25	---	0,0	0,0
	1/2H	TD03	410 - 530	340 - 480	5	125 - 160	22 - 25	---	1,5	2,0
	H	TD04	480 - 600	370 - 560	2	140 - 185	22 - 25	---	2,0	3,0
	■ Après un revenu standard									
	AT	TF00	680 - 870	550 - 690	8	190 - 250	≥ 45	3h à 480°C	--	--
	1/2HT	TH02	750 - 900	650 - 850	5	215 - 265	≥ 45	2h à 480°C	1,5	2,0
	HT	TH04	750 - 950	670 - 900	5	220 - 270	≥ 45	2h à 480°C	2,0	2,0
	■ Après traitement de revenu en usine (haute formabilité)									
	S780		780 - 930	680 - 850	12	220 - 270	≥ 48	M	0,3	0,3
S880		880 - 1020	780 - 950	10	250 - 310	≥ 48	M	0,7	0,7	
B8	■ Après procédé spécial de fabrication (standard)									
	HT	TH04	700 - 870	600 - 780	5	210 - 260	≥ 60	M	1,0	1,0
B7	■ Après un revenu usine (standard)									
	1/2HT	TH02	670 - 800	550 - 760	10	195 - 250	≥ 38	M	0,0	0,0
	HT	TH04	765 - 900	685 - 830	8	220 - 275	≥ 33	M	0,5	1,0
	EHT		870 - 1000	750 - 930	4	250 - 310	≥ 30	M	1,0	1,5

### Note

- Propriétés – Valeurs applicables pour des bandes d'épaisseurs 0.1mm et plus.
  - M – La mention "Mill Hardened" indique que le métal a été soumis en usine à un traitement particulier destiné à lui donner des caractéristiques s'inscrivant dans une fourchette spécifique et garantie.
  - Formabilité – Les ratios de formabilité R/t donnent les rayons de pliages à 90° admissibles sans fissuration en fonction de la direction de laminage (pliage sens longitudinal et sens transversal), pour les divers états de livraison. Les valeurs typiques R/t sont applicables pour des épaisseurs inférieure à 0.25mm.
- R = rayon de pliage ; t = épaisseur de la bande.

## Possibilités de fabrication

### ■ Epaisseurs

Etat	Mini (tous titres)	Maxi		
		B25	B165	B14
A	0.06	2.00	0.90	1.20
1/4 H	0.055	2.00	0.90	1.00
1/2 H	0.05	2.00	0.80	0.90
H	0.05	1.60	0.60	0.70
Revenu Usine	0.05	0.40*	0.40*	0.40*

\* Pour des valeurs supérieures selon les états souhaités, nous consulter.



### ■ Largeurs

Epaisseurs	Mini (tous titres)		Maxi**					
			B25		B165		B14	
	à l'état	revenu	à l'état	revenu	à l'état	revenu	à l'état	revenu
0.05 à 0.099	3***	4	150	150	150	150	150	150
0.10 à 0.199	3	4	400	170	170	170	400	170
0.20 à 0.299	3	4	430	220	220	220	430	215
0.30 à 0.399	4	4	430	220	220	220	430	215
0.40 à 0.499	5	6	430		220		430	
0.50 à 0.799	6	8	430		220		430	
0.80 à 0.999	8	12	220		220			
1.00 à 1.199	10		220		220			
1.20 à 1.5*	12		220		220			

\* Nous consulter pour le cisailage des épaisseurs supérieures à 1.5mm.

\*\* Pour des valeurs supérieures, nous consulter (délai long).

\*\*\* Nous pouvons faire du refendage petites dimensions, jusqu'à largeur 0.5mm. Pour ces cas spéciaux, nous consulter.

## ■ Tolérances dimensionnelles des bandes

Tolérances bandes sur épaisseur (mm)		
Epaisseurs	Normales	Précision
< à 0.099	± 0.004	± 0.0025
0.10 - 0.149	± 0.005	± 0.0035
0.15 - 0.199	± 0.006	± 0.004
0.20 - 0.249	± 0.007	± 0.005
0.25 - 0.299	± 0.008	± 0.006
0.30 - 0.399	± 0.009	± 0.007
0.40 - 0.499	± 0.010	± 0.008
0.50 - 0.599	± 0.013	± 0.009
0.60 - 0.799	± 0.015	± 0.010
0.80 - 0.999	± 0.030	Sur demande
1.00 - 1.199	± 0.035	Sur demande
1.20 - 1.499	± 0.045	Sur demande
1.50 - 2.000	± 0.050	Sur demande

➔ Pour l'état A, seules les tolérances normales sont possibles.

Tolérances sur largeur (mm)				
Epaisseurs	Largeur	de 3 à 49.9	de 50 à 100	> à 100
≤ 0.80 mm	normales	± 0.08	± 0.10	± 0.15
	précision	± 0.05	± 0.06	± 0.10
> 0.80 mm	normales	± 0.10	± 0.15	± 0.20

Flèche sur chant max. / 1m (mm)	
Rapport : Largeur/Epaisseur (mm)	Tolérance Normale de fo (mm)
8 à 15	8
15.1 à 30	6
30.1 à 60	4
60.1 à 120	3
> 120	2

➔ Lorsque la mesure est faite sur une longueur différente de 1 m soit  $f_1$ , la valeur de  $f_1$  à prendre en compte est :  $f_1 = f_0 \times l_1^2$  ( $l_1$  exprimé en mm).

## ■ Tolérances dimensionnelles des plaques

Tolérances plaques sur épaisseur (mm)			Longueur	Largeur
Epaisseurs <sup>(1,2)</sup>	Tolérance		1200 maxi	200 maxi
	B25	B14		
0.90 – 1.19	± 0.035	± 0.035	+5/-0	+2/-0
1.20 – 1.49	± 0.045	± 0.045	+5/-0	+2/-0
1.50 – 2.00	± 0.050	± 0.050	+5/-0	+2/-0
2.01 – 3.00	± 0.100	± 0.065	+5/-0	+2/-0
3.01 – 5.00	± 0.150	± 0.085	+5/-0	+2/-0
5.01 – 6.00	± 0.180	± 0.100	+5/-0	+2/-0

(1) Pour un état spécifique, nous consulter.

(2) Pour des plaques d'épaisseurs supérieures, nous consulter et voir la section 'Produits spéciaux - Moules et Plaques'

## Cas spéciaux

Les tableaux communiqués servent de guide permettant à l'utilisateur de choisir l'état de l'alliage pour obtenir les caractéristiques optimales avant la mise en forme. Les valeurs stipulées ne sont pas figées et, notamment pour le revenu usine, nous pouvons, en fonction du problème posé, étudier les possibilités d'amélioration de la formabilité tout en conservant les performances mécaniques recherchées. Pour ces analyses spéciales, NGK Berylco offre les services de ses ingénieurs et techniciens.

B25 et B165 état A (trempé) : nous pouvons fournir dans cet état une qualité spéciale pour emboutissage profond. Si cette opération est prévue, le préciser à la commande.

## Conditionnement

NGK Berylco peut fournir des bandes dites trancannées c'est-à-dire conditionnées en rouleaux de très grandes longueurs sur bobines – Nous consulter.

Rm	: Charge à rupture
Rp 0.2	: Limite d'élasticité conventionnelle à 0.2% d'allongement
A50%	: Allongement rémanent relatif, après rupture
HV	: Dureté Vickers

## Barres et tubes



Les gamme des barres sous leur aspect étirées ou extrudées est très étendue. La gamme de tubes NGK Berylco s'étend dans des dimensions variant du tube à parois ultra-minces aux tubes forgés de larges dimensions. Les tubes et barres peuvent être livrés à l'état revenu. On les trouve aussi à l'état trempé (A) et trempé revenu (AT), ainsi qu'à l'état écroui (H) ou écroui revenu (HT).




On les utilise pour la fabrication de pièces de décolletage, pour la réalisation de paliers et de parties pivotantes de trains d'atterrissage, de tricones de forage, d'enveloppes de pression pour magnétomètres, et autres instruments. Parmi les principales applications des barres et tubes, citons les paliers et manchons qui ne nécessitent pas d'entretien, des composants de pistolets de soudure, les noyaux et inserts entrant dans la fabrication des moules pour l'injection des matières plastiques et la coulée de métal sous pression, les plaques antigrippage, la boulonnerie décolletée, ainsi que d'instruments fins tels que tubes de Bourdon et Pitot, etc.

### Caractéristiques mécaniques et électriques

Alliage	Etat	Diamètre (mm)	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	Allongement A50 mini (%)	Dureté (HV)	Conductibilité électrique (% IACS)	Traitement thermique de revenu	
B25 & B33/25	<b>■ Avant revenu</b>								
	A	TB00	Toutes dimensions	420 - 600	170 - 270	35	90 - 150	15 - 19	---
	H	TD04	∅ ≤ 25 mm	620 - 900	550 - 800	3	200 - 250	15 - 19	---
	H	TD04	∅ > 25 mm	600 - 800	500 - 750	5	180 - 240	15 - 19	---
	<b>■ Après un revenu standard</b>								
	AT	TF00	Toutes dimensions	1150 - 1350	1000 - 1250	3	360 - 410	21 - 28	3h à 315°C
	HT	TH04	∅ ≤ 25 mm	1300 - 1500	1150 - 1400	1	390 - 440	21 - 28	2h à 315°C
HT	TH04	∅ > 25 mm	1200 - 1500	1050 - 1400	2	380 - 430	21 - 28	2h à 315°C	
B14	<b>■ Après un revenu standard</b>								
	AT	TF00	Toutes dimensions	650 - 800	500 - 670	10	190 - 250	48 - 60	3h à 480°C
	HT	TH04	Toutes dimensions	740 - 900	640 - 800	8	210 - 270	48 - 60	2h à 480°C

### Possibilités de fabrication

En alliage B25, B33/25 et B14, nous fabriquons normalement des barres rondes, étirées à froid, non revenues de diamètres ∅1.4 à 65 mm. La gamme de ces produits est très étendue. Nous fabriquons également (nous consulter) :

- Des barres rondes de ∅ < 1.4 mm ou ∅ > 70mm.
- Des barres , , , des méplats, étirées à froid ou travaillées à chaud suivant dimensions.
- Des barres revenues usine.
- Des tubes jusqu'à ∅ > 70mm. Nous consulter pour diamètres intérieurs.

### ■ Longueurs

Longueurs / Diamètres			
Berylco 25		Berylco 33/25	
∅ (mm)	± (mm)	∅ (mm)	± (mm)
< 25,4	3 m ± 100mm	≤ 3.0	3 m ± 10mm
25,5 à 45	2 m mini	3,1 à 18	3 m ± 50mm
45,1 à 50,8	1,5 m mini	18,1 à 25	3 m ± 100mm
50,9 à 60	1 m mini	25,1 à 40	2 m mini
> 60	Sur Demande		

- ➔ Spécificités de nos barres avant livraison : Pour le Berylco 33/25, CuBe2Pb, les barres sont appointées et chanfreinées jusqu'au ∅16 mm.
- ➔ Il est également possible de livrer des barres après rectification.
- ➔ Pour toute autre demande, nous consulter



Produits semi-fini Berylco

## ■ Tolérances dimensionnelles

Tolérances dimensionnelles*			
Berylco 25 état écroui		Berylco 33/25 état écroui	
Ø (mm)	± (mm)	Ø (mm)	± (mm)
1,4 à 3.0	h9 : +0, -0,025	0,9 à 2,3	h8 : +0, - 0.014
3,1 à 6.0	h9 : +0, -0,030	2.4 à 3.0	h8 : +0, - 0.014
6,1 à 10.0	h9 : +0, -0,036	3.1 à 6.0	h8 : +0, - 0.018
10,1 à 18.0	h10 : +0, -0,070	6.1 à 10.0	h8 : +0, - 0.022
18,1 à 25.0	h10 : +0, -0,084	10.1 à 13.0	h8 : +0, - 0.027
25,1 à 30.0	h11 : +0, -0,130	13.1 à 18.0	h9 : +0, - 0.043
30,1 à 50.0	h11 : +0, -0,160	18.1 à 25.4	h9 : +0, - 0.052
50,1 à 60.0	h11 : +0, -0,190	25.5 à 30.0	h10 : +0, - 0.084
		30.1 à 40.0	h10 : +0, - 0.100

➔ Nous pouvons également livrer des barres profilées (carré, rectangle, hexagonale, méplat) étirées à froid ou travaillées à chaud et des diamètres hors limites.

➔ Barres rondes étirées à froid en mm

\* Pour toute demande de tolérances de barres à l'état revenu, nous consulter.

## ■ Tolérances de forme

La tolérance de forme (circularité pour les produits de section circulaire), définie comme étant la différence entre la plus grande et la plus petite dimension, mesurée sur une même section droite d'une barre ou d'un fil, est égale à la moitié de la tolérance sur diamètre ou sur plat.



## Fils

Les fils constituent l'une des familles de produits les plus intéressantes, avec une gamme d'applications extrêmement variées :

Les ressorts hélicoïdaux, les douilles miniatures obtenues par usinage (Sockets), les boulonneries réalisées en frappe à froid, les câbles toronnés, les écrans tressés, les fils résistant à la corrosion marine et les fils maillés, les montures de lunettes.



### Caractéristiques mécaniques et électriques

Alliage	Etat	Diamètre (mm)	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	Allongement A50 mini (%)	Dureté (HV)	Conductibilité électrique (% IACS)	Traitement thermique de revenu	
B25 & B33/25	■ Avant revenu								
	A	TB00	Ø ≥ 0.30	390 - 540	140 - 250	35	---	---	---
	1/2H	TD03	Ø ≥ 0.10	550 - 780	470 - 750	10	---	---	---
	H	TD04	Ø ≥ 0.10	750 - 1140	610 - 960	2	---	---	---
	■ Après un revenu standard								
	AT	TF00	Ø ≥ 0.30	1130 - 1300	980 - 1200	3	---	> 22	3h à 315°C
	1/2HT	TH02	Ø ≥ 0.10	1200 - 1450	1100 - 1350	2	---	> 22	2h à 315°C
	HT	TH03	Ø ≥ 0.10	1270 - 1550	1200 - 1460	1	---	> 22	2h à 315°C

## Possibilités de fabrication

### ■ Tolérances dimensionnelles

Diamètre (mm)	0.10 - 0.25	0.26 - 0.30	0.31 - 0.50	0.51 - 2.00	2.10 - 3.50	3.60 - 4.50	4.60 - 9.50	9.60 - 12.0
Tolérances normales (mm)	± 0.005	± 0.008	± 0.010	± 0.020	± 0.030	± 0.040	± 0.050	± 0.100
Tolérances de précision (mm)	Sur demande	Sur demande	± 0.005	± 0.010	± 0.015	± 0.020	± 0.030	± 0.050

avant revenu      Ø : de 0.20 à 0.50 mm      Suivant état (nous consulter)  
                          Ø : de 0.50 à 9.50 mm      Tous états  
                          Ø : de 9.50 à 12.0 mm      Suivant état (nous consulter)

Des fils carrés ou méplats peuvent également être fabriqués.

## Produits spéciaux

Outre les semi-produits bandes, fils et barres, la gamme des alliages Berylco comprend aussi des alliages de fonderie (lingots et alliages mères à 4%), des Chill-Vents (tirage d'air massif), mais aussi des barres forgées, des plaques, des profilés, des outils, des blocs, etc.

### Alliages de fonderie

Les alliages de fonderie de cuivre au béryllium (lingots, et alliages mères à 4% de béryllium) sont utilisés pour couler des pièces sous d'autres formes ou dans des



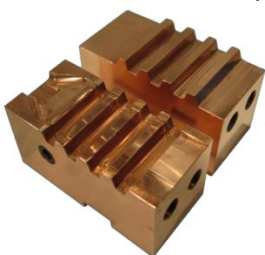
moules de formes diverses (barres, formes complexes, etc.). Les alliages mère à 4% servent aussi à contrôler

la composition lors de l'élaboration des divers alliages commerciaux contenant du béryllium ainsi que par exemple, comme protection contre l'oxydation et l'inflammation lors de la fusion du magnésium.

Les lingots sont utilisés dans des opérations de coulées en sable ou en cire perdue, pour la coulée sous pression ou par centrifugation. La présence du béryllium dans le cuivre augmente la fluidité du mélange et la propreté. La reproduction des détails par moulage est excellente et le cuivre-béryllium, de par son excellente résistance mécanique et thermique, accroît la longévité et bonne régulation thermique des moules.

### Chill-Vent

Le C-Block est un Chill-Vent (tirage d'air massif) standard en cuivre-béryllium créé et produit par NGK.



Event & Simplification - L'utilisation du cuivre-béryllium avec une conductivité thermique cinq fois plus grande que l'acier, procure au Chill-Vent NGK la capacité de refroidissement idéale

permettant de résoudre les problèmes majeurs de la coulée d'aluminium sous pression :

- Réduire les porosités et soufflures
- Eliminer les risques d'éruption de l'aluminium
- Eliminer les réactions entre l'aluminium et le bloc de tirage d'air massif

- Eliminer la nécessité d'équipement externe de ventilation d'air.
- Simplifier le design du moule et en réduire la taille
- Simplifier le contrôle du refroidissement en utilisation sous vide

Le C-Block réduit remarquablement les coûts de production associés aux pièces rejetées et au coût des moules. Les Chill-Vents NGK sont disponibles en plusieurs dimensions et sous 2 configurations pour système de coulée sans vide et avec vide. Notre département R&D est à votre disposition afin d'étudier et de produire des Chill-Vents adaptés à vos besoins spécifiques.

### Safety Tool

Les outils de sécurité (Safety tool) Berylco possèdent d'uniques propriétés :

- Anti-étincelants
- Amagnétiques
- Résistants à la corrosion
- Haute résistance mécanique

Les outils anti-étincelants Berylco procurent une excellente protection contre les feux et explosions dans les environnements où solvants inflammables, essences, matériaux, gaz et résidus sont présents. Seuls les alliages de cuivre au béryllium ont des caractéristiques mécaniques et de duretés supérieures aux métaux non-ferreux anti-étincelants tels que l'aluminium, le bronze et le laiton.



Les propriétés d'amagnétisme et de résistance à la corrosion de nos outils conviennent parfaitement à des utilisations industrielles et de hautes technologies. Quels que soient les besoins de sécurité pour vos salariés ou votre entreprise, les outils de sécurité Berylco vous apporteront la durabilité, la performance et le rapport qualité/prix que vous souhaitez.

## Moules et Plaques

NGK Berylco propose 3 types d'alliages pour les moules et les inserts utilisés dans l'injection plastique :

- Berylco Plus – Alliage C17510 à haute conductivité et faible dureté.
- Berylco Supra – Alliage C17200 à moyenne conductivité et dureté.
- Berylco Ultra – Alliage C17200 à basse conductivité et haute dureté.



NGK Plus, Supra et Ultra sont reconnus pour être les meilleurs alliages pour la fabrication de moules et d'inserts grâce à une combinaison optimum de propriétés telles que dureté, résistance à l'usure, résistance à la fatigue et conductivité thermique.

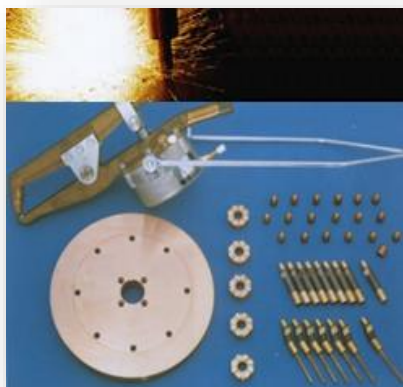
### Plaques et barres

	épaisseur (mm)	Tolérance (mm)	Largeur Max. (mm)	Longueur Max. (mm)
Plaque	20 – 300	+1 / 0	500	2000
Barre	20 – 300	-	-	2000

\*D'autres épaisseurs sont également disponibles.

## Electrode RWMA

Les barres et tubes en cupro-béryllium sont largement utilisés pour la fabrication des électrodes de soudure par résistance, car cet alliage répond à la nécessité d'avoir une bonne dureté alliée à une conductibilité électrique suffisante garantant la durée d'utilisation des électrodes. Les facilités de pliage et d'usinage contribuent à la rentabilité de cette application.



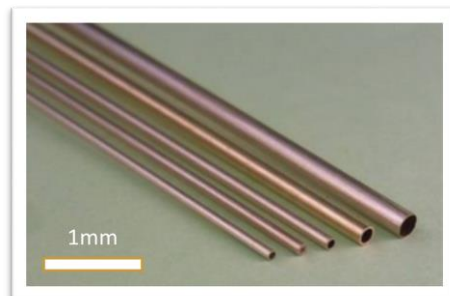
Les équipements de soudage manuel ou automatisé continuent de répondre aux besoins d'assemblage à haute compétitivité de l'industrie d'aujourd'hui. Les fortes cadences d'assemblage réclament des matériaux des plus performants combinant

d'excellentes propriétés telles que résistance mécanique, conductivité, endurance et fiabilité. Un ralentissement des cadences engendré par un choix de matériau moyen aura une conséquence économique non négligeable. C'est la raison pour laquelle les alliages Berylco sont les matériaux de premier choix pour ce type d'application.

## MicroTuBe

Nos MicroTuBes bénéficient des avantages naturels des alliages cuivre-béryllium et ont pour spécificité une longue durée de vie:

- Haute-Précision
- Bonne résistance à la corrosion
- Non-magnétique et non-étincelant
- Surface interne et externe lisse
- Excellente circularité



Ils sont disponibles en diverses dimensions ( $\varnothing_{ext}$  0.1 à 3mm). Les principales applications sont les tubes de transfert de chaleur, les tubes de précision pour sondes de contact, les câbles coaxiaux semi-rigide, les terminaux, les antennes RFI, etc...

## Roue de coulée (Dam Block)

Nos Dam Blocks pour la coulée continue de cuivre bénéficient des avantages naturels des alliages cuivre-béryllium. NGK Berylco a spécifiquement développé l'alliage C17510 afin d'optimiser le cycle de vie des roues de coulée par rapport aux stress particuliers des machines et des opérations. Comparé aux cuivreux classiques, les Dam Blocks NGK permettent ainsi d'obtenir un cycle de vie plus long et d'améliorer la conductibilité thermique. NGK Berylco peut fournir des rouleaux de coulée pour tous les types d'installation selon les projets et les dimensions demandées.





## Propriétés comparées avec certains alliages ressorts

Propriétés comparées avec certains alliages ressorts										
Désignation		Etat	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	A% sur 50mm	Dureté (HV)	R. à la fatigue	Module E (GPa)	Conductibilité électrique (% IACS)	Densité (g/cm <sup>3</sup> )
Aciers Inox	X10CrNi18-8	ressort	1800	--	--	500	--	195	2.5	7.9
Nickel Béryllium	NiBe2	1/2 HT	1700	1400	9	500	660 <sup>(1)</sup>	200	7.5	8.4
Cuivre Béryllium	CuBe2	1/2 HT	1350	1200	1.5	390	300	128	22	8.3
Cupro-Nickel	CuNi20Mn20	1/2 HT	1250	1200	0.5	390	300	157	3	8.3
Cupro-Nickel	CuNi15Sn8	ressort	1240	1170	3	370	--	127	8	8.9
Aciers Inox	Z10CN18.09	H	1200	1050	20	--	--	196	2.5	7.9
Cuivre Béryllium	CuBe1.7	1/2 HT	1190	1020	1.5	360	280	128	22	8.3
Cuivre Titane	CuTi4	1/2 HT	1160	1120	4	350	290	130	15	8.6
Aciers Carbone	XC75	ressort	1150	1100	8	400	--	210	10	7.85
Cupro-Nickel	CuNi8Sn5	ressort	1000	930	6	335	--	124	15	8.3
Cuivre-Béryllium	CuNi2Be	S880	960	880	12	270	270	131	55	8.7
Laiton	CuZn22Al3.5	extra ressort	900	800	2	250	255	117	17	8.2
Cuivre- Béryllium	CuCo2Be	1/2 HT	820	750	5	240	250	131	50	8.7
Bronze	CuSn9P	ressort	820	800	0.5	250	--	108	12	8.8
Maillechort	CuZn27Ni18	ressort	800	670	2	210	220	126	5	8.7
Bronze	CuSn8	ressort	800	750	2	235	220	110	12	8.8
Cupro-Silicium	CuNi3Si	ressort	800	655	5	240	--	130	45	8.8
Bronze	CuSn6P	ressort	770	740	1	235	215	118	13	8.8
Inconel 600	NiCr16Fe7	H	730	630	--	--	--	217	1.7	8.5
Bronze	CuSn5	ressort	720	620	2	215	210	112	14	8.9
Bronze	Cu Sn2Zn9	ressort	680	--	--	215	--	126	20	8.8
Cupro-Nickel	CuNi9Sn2	ressort	680	640	0.5	205	--	122	11	8.9
Cupro-Nickel	CuNi44Mn1	H	680	600	3	180	--	150	3.5	8.9
Cuivre au Fer	Fe1.5CoSn	extra ressort	680	660	--	--	200	121	50	--
Cupro-Nickel	CuNi2Si	TH4	670	620	6	210	245	130	40	8.9
Laiton	CuZn36Pb2	extra ressort	660	610	3	190	--	109	26	--
Laiton	CuZn9.5Sn2	ressort	645	620	2	215	--	126	28	8.8
Laiton	CuZn30	ressort	600	480	3	180	160	112	28	8.5
Laiton	CuZn10	extra ressort	540	480	1	165	152	112	44	8.8
Cuivre au Cadmium	Cd0.8Sn0.6	extra ressort	530	480	1.5	180	--	119	60	--
	CuFe2P	F 50	500	430	5	150	--	123	75	8.80

 (1) pour 10<sup>7</sup> cycles à l'état AT

## Caractéristiques ressort

Si l'on considère le ressort en général, quelle que soit son utilisation, ce sont les propriétés élastiques du matériau qui sont primordiales tels que la limite élastique, le module d'élasticité, la résistance à la fatigue ou la stabilité de ces propriétés dans le temps.

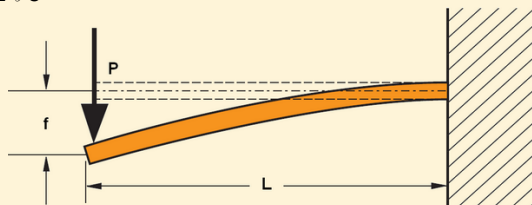
- Le tableau ci-contre compare les caractéristiques mécaniques et électriques d'alliages ressorts.
- Dans le tableau ci-dessous figurent les équations à appliquer pour les calculs de ressorts plats dans deux cas de figure :

■ **Lame ressort de section rectangulaire, encastrée à une extrémité avec une charge à l'extrémité opposée :**

$$f = \frac{4PL^3}{E \ell e^3}$$

$$\sigma = \frac{6PL}{\ell e^2}$$

$$\sigma = \frac{3fEe}{2L^2}$$



- f = Flèche (mm)
- E = Module d'élasticité (N/mm<sup>2</sup>)
- e = Epaisseur (mm)
- P = Charge (N)
- L = Longueur (mm)
- ℓ = Largeur (mm)
- σ = Contrainte (N/mm<sup>2</sup>)

■ **Lame ressort de section rectangulaire, en appui aux deux extrémités avec une charge centrale :**

$$f = \frac{PL^3}{4E \ell e^3}$$

$$\sigma = \frac{3PL}{2\ell e^2}$$

$$\sigma = \frac{6fEe}{L^2}$$

La flèche est :

- Inversement proportionnelle au module d'élasticité.
- Inversement proportionnelle au cube de l'épaisseur.

La contrainte est :

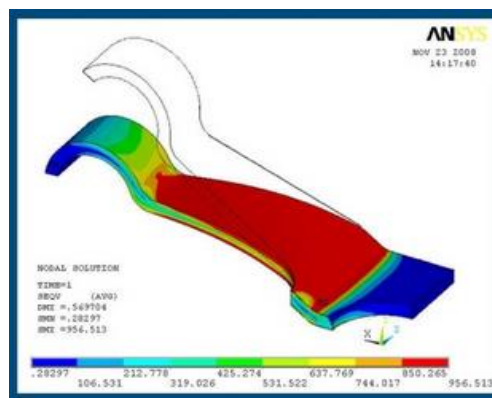
- Inversement proportionnelle au carré de l'épaisseur.
- Directement proportionnelle au module et la flèche.

Si l'on considère deux lames ressorts de mêmes dimensions respectivement en acier et en cuivre au béryllium, on aura pour la même charge un déplacement pratiquement deux fois plus important de la lame en cuivre au béryllium, ce faible module allié à une haute limite élastique font du cuivre au béryllium un matériau idéal pour les capteurs et les membranes.

identique puisque les modules sont très proches. Cependant, la contrainte admissible sera beaucoup plus élevée avec le cuivre au béryllium grâce à sa haute limite élastique. Cela signifie qu'un ressort en cuivre au béryllium exercera une force de contact plus forte. Ces caractéristiques ressort exceptionnelles pour un alliage cuivreux pourront être exploitées lorsque l'on recherche notamment à miniaturiser des contacts, des relais ou des connecteurs.

Désignation	Rp0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	Module E (GPa)	Ratio
Cu Be 1.9	1120	127	8.81
Acier à ressort XC 75	1100	210	5.23
Bronze CuSn8	750	110	6.81
CuNi3Si	650	130	5

Si l'on compare le cuivre au béryllium au bronze phosphoreux et autres alliages cuivreux dans les mêmes conditions, la déflexion sera pratiquement



Le ratio de la limite élastique sur module de Young E des alliages Berylco est plus grand que celui de l'acier et du phosphore bronze, ce qui signifie qu'une plus grande déflexion et force de contact peuvent être appliquées.

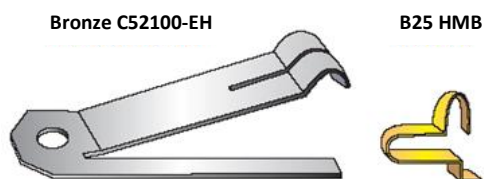
## Miniaturisation des pièces

La demande de performance maximale des matériaux s'est accrue du fait de l'assemblage plus compact et de la miniaturisation des composants électriques.

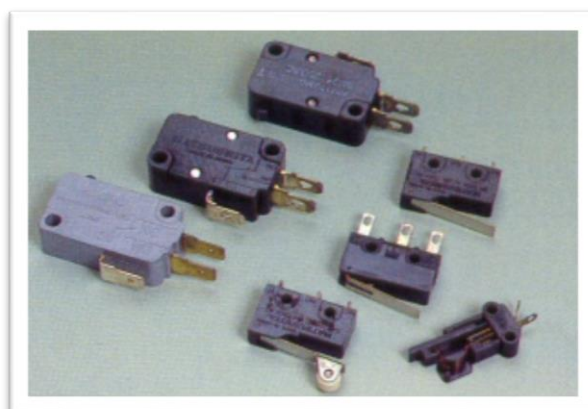
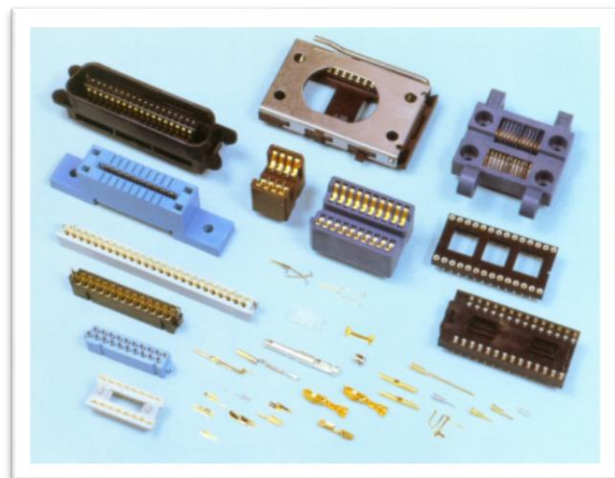
Grâce aux excellentes caractéristiques ressort du cuivre-béryllium, il est possible de miniaturiser toute pièce ressort originellement en bronze phosphoreux et en cupro-nickel tout en conservant une haute force de contact similaire voire supérieure. Ce qui conduit à réduire l'ensemble de la pièce, des matières premières environnantes (métal, plastique, résine, revêtement, etc.), ainsi que le coût total.

Le cuivre au béryllium contribue grandement à la miniaturisation et à l'amélioration de nos produits du quotidien. Il permet ainsi une évolution du design, proposant des formes plus complexes à épaisseur plus faible, tout en conservant de hautes caractéristiques mécaniques et de conductivité.

Il est essentiel pour les connecteurs de puissance (Board to-Board), interrupteurs, capteurs ou relais des composants automobiles, domotique, aéronautique télécommunication, etc.



Désignation	Poids de la pièce (g)	Ratio
B25 HMB	1.14	0.14
Bronze C52100-EH	1	0.12



## Relaxation des contraintes

La tendance à la miniaturisation et à l'augmentation des intensités et des températures a conduit à considérer la résistance à la relaxation sous contrainte comme un élément de plus en plus critique.

Comme tous les matériaux, le cuivre-béryllium est sujet à une relaxation des contraintes dans le temps qui est accentuée par la température. Cette relaxation est de beaucoup inférieure à la plupart des autres alliages cuivreux, en particulier le laiton ou le bronze phosphoreux, mais elle est suffisamment importante

pour qu'il soit nécessaire d'en tenir compte dans certaines applications.

Les matériaux doivent rester stables en fonctionnement, spécialement lorsqu'ils sont sous contrainte pendant de longues périodes. Un ressort conducteur doit conserver ses caractéristiques en service et il est important, de ce fait, de connaître les caractéristiques de relaxation des matériaux utilisés. Un matériau avec une résistance trop faible perdra sa force de contact. Dans le temps ceci peut se traduire

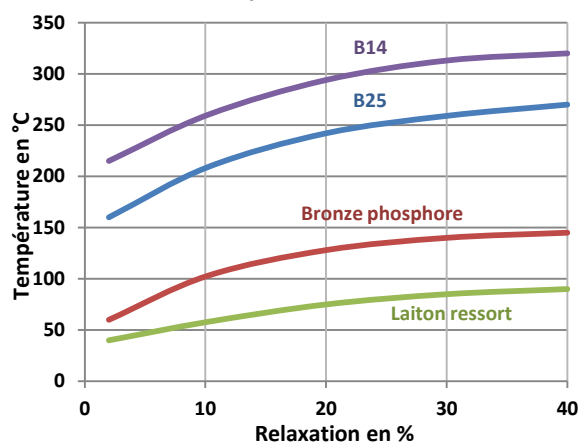
par une résistance de contact accrue, un échauffement plus important et finalement la rupture. Le tableau ci-après donne des valeurs comparatives du pourcentage de relaxation après 1000 heures.

Les composants électroniques étant généralement testés à 150°C, on constate que les alliages B25 et B14 restent, à cette température, parfaitement stables sous contrainte pendant de longues périodes.

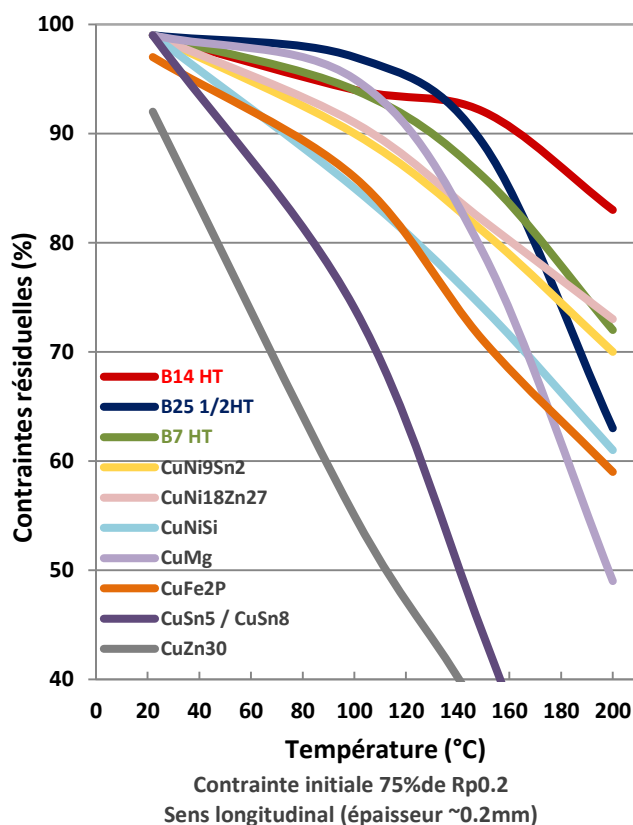
L'obtention des caractéristiques de ces alliages par durcissement structural respectivement à 320°C et 480°C, est à l'origine de cette stabilité qui permet à un ressort conducteur de conserver ses caractéristiques en service.

L'alliage cuivre-béryllium est largement utilisés pour des applications de ressorts conducteurs parce qu'il présente une excellente combinaison de propriétés : résistance mécanique, tenue à la fatigue, conductibilité électrique et résistance à la corrosion. La demande pour une performance maximale des matériaux s'est accrue du fait de l'assemblage plus compact et de la miniaturisation des composants électriques fonctionnant à des températures plus élevées.

Relaxation sous 350 MPa de contrainte de divers alliages aux températures élevées



Relaxation sous contrainte de divers alliages à des températures de 0 à 200°C (1000h)



Contrainte initiale 50% de la limite élastique			
Désignation	Température Ambiante	100°C	150°C
Laiton 70/30	7	45	64
Bronze CuSn5	1	26	56
Bronze CuSn8	2	25	55
Berylco 25 - XHM	0	3	11
Berylco 25 - 1/4 HT	0	4	12
Berylco 14 - AT	2	5	10
Berylco 14 - HT	0	6	8

## Résistance à la fatigue

La résistance à la fatigue se définit comme la contrainte maximale pouvant être appliquée pour un nombre défini de cycles sans rupture. Cette résistance aux contraintes cycliques est une des caractéristiques remarquables du cupro-béryllium. Ces contraintes sont générées par flexions unilatérales ou alternées, des contraintes axiales, ou encore des flexions rotatives. Les alliages cuivre-béryllium résistent à la rupture par fatigue grâce à leur résistance statique, à leur ténacité et leur aptitude à augmenter leur résistance par le travail à froid.

La capacité de résistance à la fatigue est illustrée par les courbes ci-contre. Le rapport R (contrainte minimale / contrainte maximale), ou rapport de contrainte, définit les conditions de l'essai. La résistance à la fatigue sera plus grande dans le cas d'une déflexion unidirectionnelle (R=0) que dans le cas d'une flexion alternée (R=1). Les essais classiques mesurent la résistance à la fatigue sur éprouvettes plates ou rondes.

La limite de fatigue pour le Berylco 25 écroui revenu est en moyenne de :

- 420 N/mm<sup>2</sup> à 10<sup>6</sup> cycles
- 300 N/mm<sup>2</sup> à 10<sup>8</sup> cycles
- Sur produits laminés : La résistance à la fatigue est peu modifiée par les traitements thermiques. Cependant, les nuances les plus écrouies et revenues au maximum de dureté sont plus sensibles aux défauts de surface et aux tensions internes, bien que leur

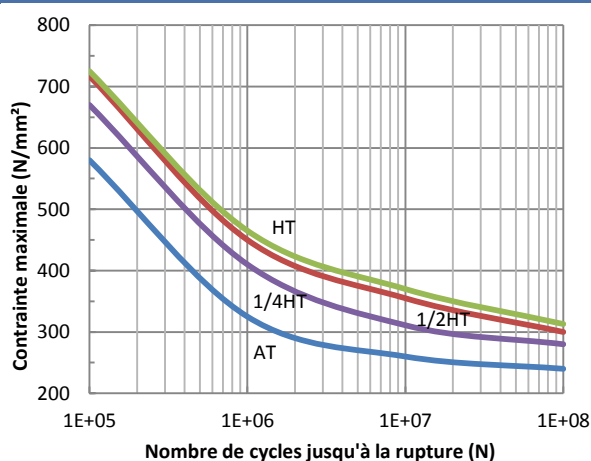
limite de fatigue soit légèrement plus élevées. En flexion plane pour des tôles de 1.5mm d'épaisseur, à l'état trempé mou et revenu, une limite de fatigue à 10<sup>8</sup> cycles de 300 N/mm<sup>2</sup> peut être adoptée.

■ Sur produits filés : Dans des essais de flexion rotative à 10<sup>8</sup> cycles, une limite de fatigue de 270 N/mm<sup>2</sup> a été relevée sur des demi-produits filés trempés et revenus. L'état de surface joue naturellement sur les caractéristiques de fatigue. C'est ainsi que dans des essais faits sur du métal demi-dur ou dur à l'état revenu, l'augmentation de la limite de fatigue par décapage est de l'ordre de 15 N/mm<sup>2</sup> et par polissage ou bufflage.

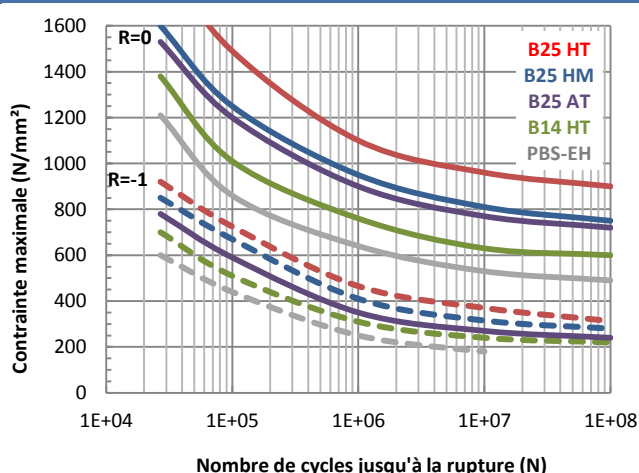
Cette limite est une des plus élevées pour des cuivreux, ce qui explique l'intérêt du Berylco 25, sous forme de fils et feuillards, pour fabriquer des connecteurs, des ressorts de contact et toutes les pièces destinées à travailler sous contraintes cycliques. On les utilise aussi pour la réalisation de composants plus lourds tels que des bagues de trains d'atterrissage, de certains éléments de roulements et de certains équipements utilisés dans les techniques de forages pétroliers.

Ces chiffres mentionnés sont indicatifs car les performances dépendent des qualités de surface et des conditions de service. Il faudra veiller à obtenir la meilleure surface possible, en particulier aux angles et rayons de filets, pour tirer le maximum d'avantages de ces alliages.

### Résistance à la fatigue à la flexion alternée



Alliage Berylco 25 - Après revenu (320-340°C) d'après l'étude de la publication ASTM N°367



## Résistance à haute température

A température élevée, il se produit un effet de sur-revenu donc d'adoucissement pour les alliages à haute résistance. On peut alors considérer que pour une utilisation en continu de la température ambiante jusqu'à des températures de l'ordre de 200-250°C, les caractéristiques mécaniques du Berylco 25 ne s'altèrent que très lentement. Pour une utilisation

intermittente, on peut atteindre voire même dépasser 300°C. Les alliages à haute conductibilité (B14 et B8) gardent leur résistance jusqu'aux environs de 350-400°C. La dureté de ces alliages conduit à les utiliser pour les éléments de moules pour injection plastique ou les électrodes de soudeuse.

Propriétés mécaniques à chaud du Berylco 25							
Température	maintien	trempe-revenu			trempe-écroui-revenu		
		Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	A%	Rm (N/mm <sup>2</sup> )	Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	A%
20°C	--	1265	1065	6.8	1325	1275	2
250°C	500h	1260	1005	3.9	1325	1080	2
300°C	500h	1020	750	3	1040	770	3



Electrodes de soudeuse RWMA

## Propriétés cryogéniques

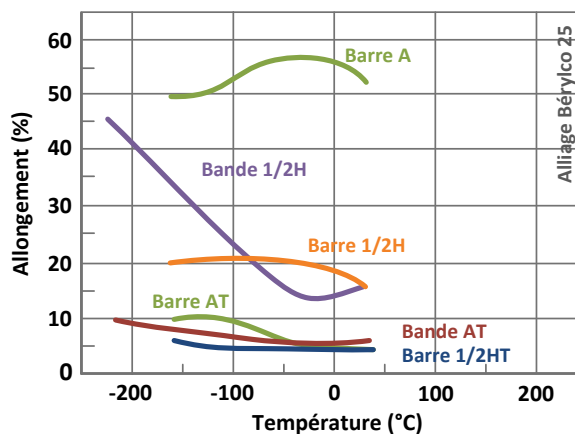
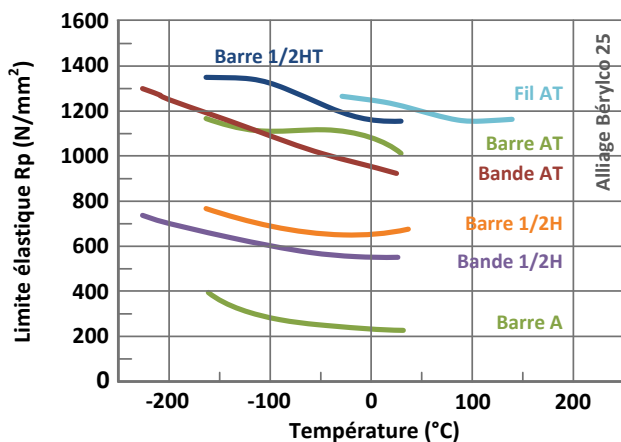
Comme de nombreux cuivreux, le cuivre-béryllium est cryogénique, c'est-à-dire qu'il n'a aucune fragilité aux basses températures et même, ses caractéristiques ont plutôt tendance à s'améliorer. On l'utilise dans l'hydrogène et dans l'oxygène liquide car il garde ses

propriétés de résistance et de ténacité en milieu cryogénique. Les cupro-bérylliums ne présentent pas de température de transition d'une phase de ductilité à une phase de fragilité.

Caractéristiques sur métal trempé mou et revenu	Température en °C				
	20°C	-50°C	-100°C	-150°C	-200°C
Rm (N/mm <sup>2</sup> )	1340	1360	1380	1400	1490
Rp 0.2 (N/mm <sup>2</sup> )	980	1060	1080	1110	1170
A% sur 25mm (%)	5	6	8	9	9
Module d'Young E (N/mm <sup>2</sup> )	123000	125000	131000	131000	134000
Résilience Charpy (N/mm <sup>2</sup> )	5.5	6.9	6.9	8.3	9.6

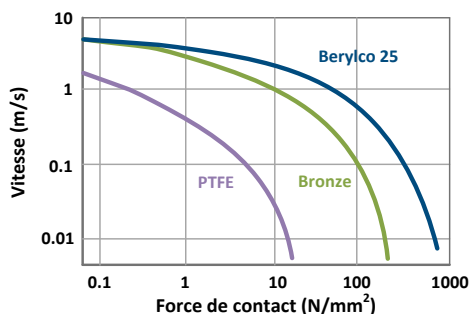


Application Satellite



## Résistance à l'usure

Le coefficient de frottement du cuivre au béryllium non lubrifié est analogue à celui des bronzes ordinaires, il diminue sensiblement lorsque la dureté de l'alliage augmente. Son excellente résistance au grippage est due à une dureté élevée, à une aptitude à l'autolubrification, à la présence d'un film de surface et à une conductibilité thermique élevée.



Avec lubrification, le coefficient de frottement du cuivre-béryllium est considérablement réduit (0.02 – 0.06) et l'usure reste faible même sous des

contraintes élevées (500 MPa) que ne pourrait pas supporter les autres alliages de cuivre.

On les utilise pour la réalisation de composants plus lourds. C'est le cas par exemple des bagues de trains d'atterrissage, de certains éléments de roulements et de certains équipements utilisés dans les techniques de forages pétroliers.

Des essais d'usure de quelques cuivreux sur acier traité, effectués dans les mêmes conditions, ont permis de déterminer les valeurs du coefficient de frottement suivantes :

■ Bronze au silicium	0.71
■ Bronze au phosphore	0.67
■ Cupro Aluminium	0.66
■ Cuivre	0.51
■ Cuivre au béryllium trempé écroui	0.40 – 0.53
■ Cuivre au béryllium trempé revenu	0.44 – 0.54
■ Bronze au manganèse	0.26

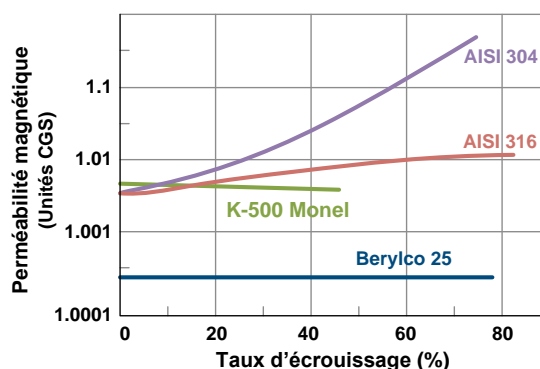
## Propriétés magnétiques

A teneur en nickel constante, des additions croissantes de fer font passer l'alliage B25 du diamagnétisme au paramagnétisme. Dans ce cas, la valeur de la susceptibilité dépend de la température de mise en solution de béryllium et diminue lorsque cette température augmente.

Les courbes du graphique ci-contre illustrent ce phénomène ; ces résultats montrent qu'il est possible, pour certaines applications, d'avoir un cupro-béryllium ayant une susceptibilité magnétique très faible.

La perméabilité magnétique de l'alliage B25 soumis à un champ magnétique d'une intensité de 1000 Gauss est comprise entre 0.997 et 1.003 (une perméabilité de 1 représente la transparence pour des champs à variation lente). Cette propriété n'est pas affectée par l'écroutissage ou le travail à froid, à l'inverse d'autres alliages non magnétiques qui peuvent le devenir à la

suite d'opérations d'usinage ou de pliage. Combinées avec une résistance ou une ténacité à la rupture élevée, et une bonne stabilité dimensionnelle, ces propriétés permettent une utilisation, par exemple, comme enveloppe de protection des instruments de mesure de champs magnétiques.



## Conductibilité électrique

### Définition

La conductivité électrique relative C est le pourcentage de conductivité du matériau considéré par rapport à un cuivre de référence de résistivité  $\rho_{20}$  égale à  $1,7241 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$  (ou de conductivité 58,0 MS/m) à 20°C à l'état recuit. Il s'agit d'un fil de cuivre recuit de 1m de longueur et d'un poids de 1g ; il présente une conductibilité de 100%. Cette grandeur particulière aux cuivreux s'exprime en %IACS (International Annealed Copper Standard) :

$$C (\%IACS) = \frac{1.7241}{\rho_{20}} \times 100$$

avec  $\rho_{20}$  ( $\mu\Omega \cdot cm$ ) résistivité électrique de l'alliage à 20°C.

Berylco 25 & 165	
■ avant revenu	15 à 18 % IACS
■ après revenu standard	22 à 23 % IACS
■ revenu en usine	20 à 28 % IACS *
Berylco 14 & 8	
■ avant revenu	22 à 25 % IACS
■ après revenu standard	45 à 48 % IACS
■ revenu en usine	45 à 65 % IACS *

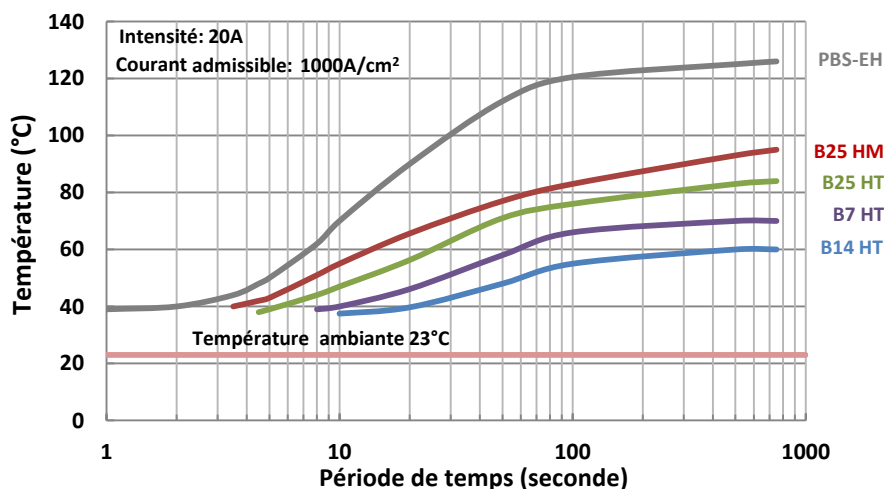
\* Selon les états

### Dissipation de chaleur

Un ressort en cupro-béryllium est souvent l'élément actif d'un dispositif conducteur de courant. Dans un connecteur, un contact en cuivre au béryllium règle la force d'insertion, fournit une force suffisante pour minimiser la résistance de contact et maintient la force d'extraction indispensable afin d'assurer l'intégrité du circuit conducteur tout en assurant le passage de courant.

Les conductibilités thermiques et électriques des alliages cuivre-béryllium favorisent l'emploi de ces alliages pour des applications nécessitant une dissipation de chaleur et une capacité de conduction du courant élevé jusqu'à 30A. Par exemple, à 20A, ils chauffent deux fois moins qu'un bronze phosphoreux et restent quasiment stables pendant de longues périodes. Le choix d'un alliage moins résistant risque d'engendrer un vieillissement prématuré des pièces.

La montée en température de la matière engendrée par sa résistivité peut provoquer la relaxation des contraintes en service. La sélection d'un matériau conducteur résistant à de fortes intensités dans le temps est essentielle pour les interrupteurs, capteurs ou relais des composants automobiles, aéronautique et domotique. La demande de performance maximale des matériaux s'est accrue du fait de l'assemblage plus compact et de la miniaturisation des composants électriques fonctionnant à des intensités plus élevées.



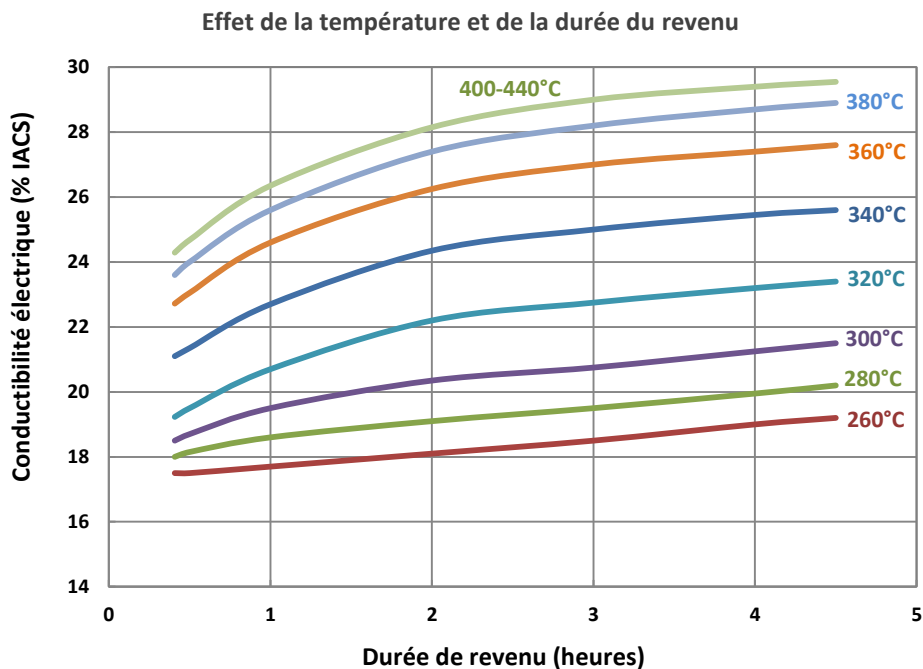
Résistance au passage d'un courant de 20A et dissipation de chaleur des alliages cuivre-béryllium.  
(Dimension éprouvette : 0,2 x 10 x 75 mm)



### Conductibilité du Berylco 25

La conductibilité électrique du Berylco 25 revenu est de 22 à 28 %IACS ( $\psi_{20} = 7$  à  $8.5 \mu\Omega\text{cm}$ ). Bien que n'étant pas le quart de celle du cuivre, elle est supérieure à celle des autres alliages cuivreux à haute résistance mécanique.

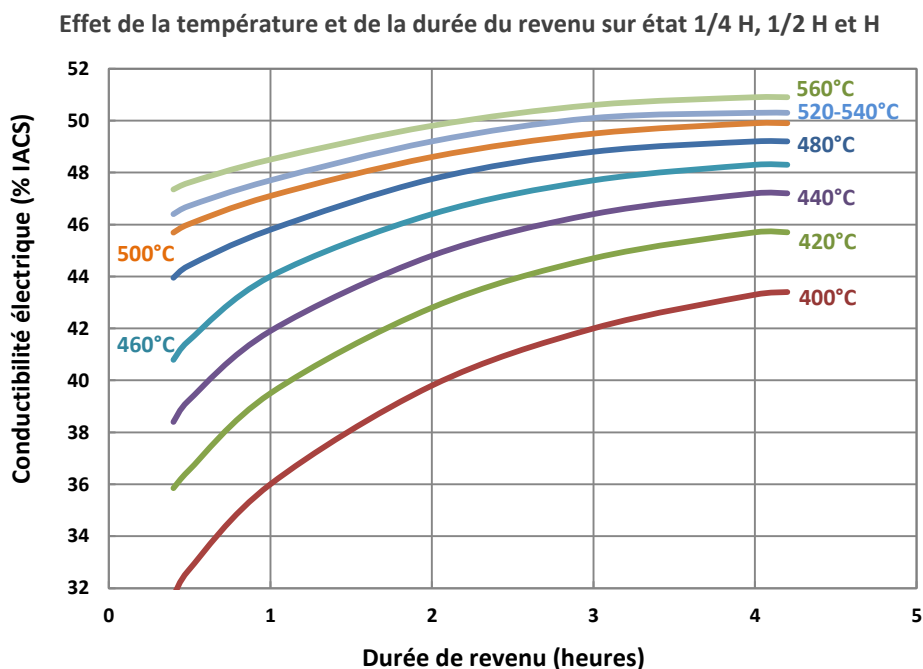
Cupro-Béryllium – Alliage Berylco 25  
Conductibilité électrique en %IACS



### Conductibilité du Berylco 14

L'alliage Berylco 14 (Cuivre-Nickel-Béryllium) a une bonne conductibilité puisqu'elle dépasse 45 % IACS ( $\psi_{20} = 3.6 \mu\Omega\text{cm}$ ) et peut même pour certains états, atteindre 60 % IACS ( $\psi_{20} = 2.9 \mu\Omega\text{cm}$ ). L'alliage B8 atteint les 65 %IACS.

Cupro-Béryllium – Alliage Berylco 14  
Conductibilité électrique en %IACS



## Résistance à la corrosion

Sur un plan général, on peut admettre que le cuivre au béryllium résiste à la corrosion d'une manière similaire au cuivre et aux autres alliages à haute teneur en cuivre.

Le cuivre au béryllium résiste bien à la **corrosion atmosphérique** et bien qu'un ternissement se produise surtout dans les atmosphères humides, il n'y a pratiquement aucune influence sur les propriétés

mécaniques. La présence d'halogènes gazeux non anhydres accélère la corrosion ; de même, l'ammoniac humide est corrosif.

En **milieux aqueux**, eau douce ou eau de mer, sa résistance est excellente, ses caractéristiques étant très peu affectées. Dans le cas de brouillards salins ou d'embruns, sa résistance est meilleure que celle du cuivre et du bronze phosphoreux.

### Corrosion galvanique

Le cuivre au béryllium est très peu sensible à la corrosion galvanique car comme métal noble à potentiel élevé, il n'est pas attaqué en présence des matériaux les plus utilisés dans l'industrie comme l'acier et l'aluminium.

Si la surface du cuivre au béryllium en présence est importante par rapport à celle de ces matériaux, il peut se produire une corrosion galvanique de ces derniers.

Le tableau ci-dessous donne un classement dans l'échelle des potentiels pour certains métaux et alliages courants dans l'eau de mer.

Les métaux et alliages qui sont anodiques par rapport au cuivre au béryllium risquent d'être corrodés en sa présence et, inversement, le cuivre au béryllium risque d'être corrodé en présence des métaux et alliages cathodiques

#### Classement galvanique en eau de mer (extrait du "metals handbook")

##### Coté anode

1. Magnésium et ses alliages	9. Plomb et étain
2. Zinc et acier galvanisé	10. Laiton biphasé (Muntz – Naval)
3. Aluminium et alliages	11. Nickel et inconel activé
4. Cadmium	12. Cuivre et alliages : laitons 70/30 – 85/15 Amiraute, cupronickel, cuivre au béryllium, etc.
5. Alliages d'aluminium contenant du cuivre	13. Nickel et inconel passivé
6. Aciers doux, forgé, moulé	14. Monel et titane
7. Acier au chrome activé	15. Acier au chrome et inox passivé
8. Acier inoxydable 18/8 activé	16. Métaux précieux et graphite

##### Coté cathode

Le **milieu industriel** est généralement peu corrosif pour le cuivre au béryllium sauf cependant dans certaines industries chimiques en présence d'acides oxydants, ou d'ammoniac et dans l'industrie du caoutchouc du fait de la corrosion par le soufre.

En présence de métaux liquides, le comportement du cuivre au béryllium n'est pas considéré comme bon. Sa résistance à la corrosion en présence de métaux fondus tels que le plomb, le bismuth, l'étain, le cadmium, l'aluminium, est considérée comme

mauvaise. Cependant, l'expérience acquise en fonderie sous pression par l'utilisation des alliages de cuivre au béryllium au contact d'alliages de zinc et surtout d'aluminium fondus, montre que cette corrosion n'est pas très rapide.

Les alliages de cuivre au béryllium ne sont pas susceptibles à la **corrosion sous tension**, notamment au "season cracking" comme certains laitons. Ils résistent bien à la fatigue sous corrosion et ne sont pas sensibles à la **fragilisation par l'hydrogène**.

## Résistance à la corrosion du cuivre au béryllium en présence de divers produits et atmosphères

<b>E : Excellente</b>	■ Pas de problème dans des conditions normales d'utilisation
<b>B : Bonne</b>	■ Légère corrosion ne gênant généralement pas l'utilisation
<b>L : Limitée</b>	■ Utilisation possible avec un risque de corrosion non négligeable
<b>M : Mauvaise</b>	■ Utilisation déconseillée

Acétique (acide) dilué	E	Chlorhydrique (acide) > 5%	E	M	Oxalique (acide)	B
Acétique (acide) > 2.5%	B	Chloroforme sec	E		Oxygène	E
Acétique (anhydride)	B	Chromique (acide)	E	M	Palmitique (acide)	B
Acétone	E	Cidre	E		Paraffine	E
Acétylène		Citrique (acide)	E		Phénol	L
Alcools	E	Coton (huile)	E		Phosphore	E
Alchydres	E	Créosote	E	B	Phosphorique (acide)	L
Alumine	E	Cuivre (chlorure)		L	Picrique (acide)	M
Aluminium (chlorure)		Cuivre (nitrate)		L	Plomb fondu	M
Aluminium (hydroxyde)	E	Cuivre (sulfate)	B		Potasse	B
Aluminium (sulfate)	B	Cyanhydrique (acide)		M	Potassium (bichromate)	M
Aluminium fondu	L	Eau de condensation	E		Potassium (carbonate)	B
Alun	B	Eau de mer	E	B	Potassium (chlorure)	B
Ammoniaque humide		Eau de mines (acide)		L	Potassium (cyanure)	M
Ammoniaque sec	E	Eau oxygénée (diluée)		L	Potassium (sulfate)	E
Ammonium (chlorure)		Eau oxygénée > 10%	B		Potassium fondu	B
Ammonium (hydroxyde)	M	Eau potable		M	Propane	E
Ammonium (nitrate)	M	Eaux usées	E		Résine	E
Ammonium (sulfate)	L	Essence	E	B	Ricin (huile)	E
Amyle (acétate)	E	Etain fondu	E		Saumures	B
Amylique (alcool)	E	Ethers	E		Savons (solutions)	E
Aniline	L	Ethyle (acétate)	E		Sodium (bicarbonate)	E
Aniline (teintures)	L	Ethyle (chlorure)	E	B	Sodium (bichromate)	M
Argent (sels)		Ethylène (glycol)	E		Sodium (bisulfate)	B
Asphalte	E	Ethylène (alcoool)	E		Sodium (carbonate)	E
Atmosphères industrielles	E	Ethylène (chlorure)	E	B	Sodium (chlorure)	B
Atmosphères marines	E	Ethylène (sulfate)	B		Sodium (chromate)	E
Atmosphères rurales	E	Ferrique (chlorure)		M	Sodium (cyanure)	M
Azote	E	Ferrique (sulfate)		M	Sodium (hypochlorite)	L
Barium (carbonate)	E	Fluor humide		L	Sodium (nitrate)	B
Barium (chlorure)	B	Fluor sec	E		Sodium (peroxyde)	L
Barium (hydroxyde)	E	Fluorhydrique (acide)		L	Sodium (phosphate)	E
Barium (sulfate)	E	Fluosilicique (acide)	E	B	Sodium (silicate)	E
Barium (sulfure)		Formaldéhyde	E		Sulfate (sulfate)	E
Benzène	E	Formique	E	B	Sulfure (sulfure)	M
Benzine	E	Fréon	E		Sodium (thiosulfate)	M
Benzoïque (acide)	E	Fruits (jus)	E	B	Sodium fondu	B
Benzol	E	Fuel	E		Solvant pour laques	E
Betterave (sirop de sucre)	E	Furfural	E		Soude	B
Bière	E	Gallium fondu		M	Soufre humide	L
Bismuth fondu		Gaz naturel	E		Soufre sec	B
Borax	E	Gélatine	E		Soufre fondu	M
Borique (acide)	E	Glucose	E		Soufre (chlorure) humide	M
Boullie bordelaise	E	Glycérine	E		Soufre (chlorure) sec	E
Brome humide		Goudron	E		Stéarique (acide)	E
Brome sec	E	Hydrobromique (acide)	E	L	Sucre (solution)	E
Butane	E	Hydrocarbones	E		Sulfureux (acide)	B
Butylique (acide)	B	Hydrogène	E		Sulfureux (anhydride) humide	B
Butylique (alcool)	E	Hydrogène sulfuré, humide	E	M	Sulfureux (anhydride) sec	E
Cadmium fondu		Hydrogène sulfuré sec	E		Sulfurique (acide) dilué	B
Café	E	Indium fondu	E	M	Sulfurique (acide) concentré, froid	B
Calcium (bisulfate)	B	Kérosène	E		Sulfurique (acide) de 40 à 80%	L
Calcium (bisulfure)	B	Lactique (acide)	E	B	Sulfurique (anhydride) sec	E
Calcium (chlorure)	B	Lait	E		Tannique (acide)	E
Calcium (hydroxyde)	B	Laques	E		Tartrique (acide)	E
Calcium (hypochlorite)	L	Lin (huile)	B		Térébenthine	E
Canne (sirop de sucre)	E	Lithium fondu		M	Thallium fondu	M
Carbone humide (tétrachlorure)	B	Magnésium (chlorure)	E	B	Toluène	E
Carbone sec (tétrachlorure)	E	Magnésium (hydroxyde)	E		Trichloracétique (acide)	B
Carbonique humide ou sec (gaz)	E	Magnésium (sulfate)	E		Trichloréthylène Humide	B
Cétones	E	Mais (huile)	E		Trichloréthylène sec	E
Chaux	E	Mélasses	E		Vapeur d'eau	E
Chaux (chlorure)	L	Mercurure et sels		M	Vernis	E
Chaux (sulfure)	M	Méthyle (chlorure), sec	E		Vinaigre	B
Chloracétique (acide)	L	Mouillants (agents)	E		Whisky	E
Chlore humide	L	Nickel (chlorure)		L	Zinc (chlorure)	L
Chlore sec	E	Nickel (sulfate)		L	Zinc (sulfate)	E
Chlorhydrique (acide) dilué	L	Oléique (acide)	B		Zinc fondu	L

### Répéteur téléphonique avec éléments de fixation en cuivre au béryllium

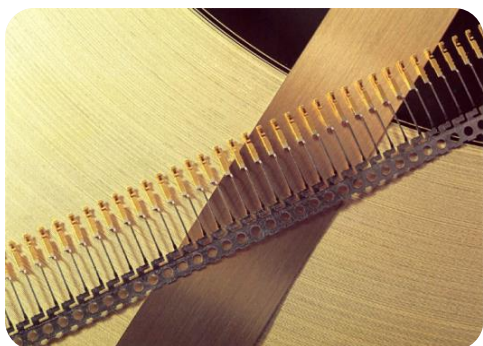
Les signaux des câbles de télécommunication sous-marins par fibre optique deviennent faibles plus le signal avance. Dans le but d'éviter cette perte de signal, des répéteurs (amplificateurs de signal) sont placés à des intervalles de 40 à 100km. De par ses propriétés de résistance à la corrosion à l'eau saline et de très hautes résistances mécaniques (jusqu'à 8000m de profondeur), le cuivre au béryllium B165 est l'alliage principalement utilisé en tant qu'élément de fixation qui permet d'établir des liaisons intercontinentales et d'assurer la connexion aux réseaux de communication terrestre.



## Travail à la presse

### Découpage

Le cuivre au béryllium à l'état écroui présente des découpes plus nettes et avec moins de bavures qu'à l'état trempé. Le jeu entre matrice et poinçon sera alors compris entre 5 et 10% de l'épaisseur du produit à découper, mais, si l'on est obligé d'utiliser le métal à l'état trempé, le jeu sera limité à 5 ou 6% pour éviter une usure trop rapide des outillages. Si les bandes ont été stockées pendant une longue période dans un environnement susceptible de provoquer de l'oxydation (humidité par exemple), il sera préférable de les décaper avant découpe.



La durée de vie des outillages de découpe du cuivre au béryllium est comparable à celle des outillages de découpe du bronze phosphoreux. Le matériau des outils dépend de l'importance des séries à effectuer. Des aciers trempés à 12% de chrome conviennent pour les fabrications normales. Les outils carbure peuvent être utilisés dans le cas de travaux délicats demandant un très bon fini ou une grande précision dimensionnelle pour de très importantes séries. Il faudra veiller à garder les outils bien affûtés. L'utilisation d'un lubrifiant, émulsion d'huile soluble ou huile minérale, réduit l'usure des outils.

### Emboutissage

Suivant l'importance de l'embouti, la qualité à choisir variera du trempé mou au 1/2 dur. Le tableau ci-dessous indique des valeurs de profondeur d'emboutis de l'essai ERICHSEN qui peuvent donner

quelques indications sur les possibilités de formage du cuivre au béryllium.

Pour des emboutissages profonds, seul l'état trempé mou (état A) convient. Le cuivre au béryllium s'écrouissant assez rapidement, plus vite que les alliages cuivreux en général, il peut même être nécessaire pour des emboutis particulièrement importants d'effectuer des traitements intermédiaires d'adoucissement entre les passes d'emboutissage. L'adoucissement se fera par une mise en solution et une trempe. Cette opération demande un four suffisamment précis, la température devant être comprise entre 770 et 790°C. Il est important de ne pas dépasser la température maximum et surtout de ne pas prolonger le temps de chauffe (de 3 à 10 minutes suivant l'épaisseur) pour éviter un grossissement important du grain dans les zones où l'écrouissage dû à la passe précédente est inférieur à l'écrouissage critique. Le produit sera soigneusement décapé avant la passe suivante.

Aussi, il sera préférable d'utiliser une presse à double effet car la périphérie du flan sera maintenue pendant toute l'opération, ce qui évitera le plissage, en particulier pour des produits fins. Le dessin des poinçons et des matrices ne pose pas de problème ; cependant les outils seront plus robustes que ceux utilisés pour l'emboutissage du laiton car la puissance nécessaire est plus grande. Le jeu entre poinçon et matrice se situe entre 5 et 10% de l'épaisseur du métal.

Les outils "carbure" ou chromés donnent les meilleurs polis et un meilleur aspect des pièces finies.

Le choix du lubrifiant est également important et dans de nombreux cas, une pâte de savon, plus ou moins lourde selon la sévérité de la déformation, donnera de bons résultats. Dans le cas de l'utilisation d'huiles minérales sulfurées, on veillera à rincer soigneusement les pièces aussitôt après formage de façon à éviter la formation de tâches.

Possibilités de formage du Berylco 25 – Profondeur d'emboutis					
Epaisseurs	Etats	Trempé mou (A)	1/4 dur (1/4 H)	1/2 dur (1/2 H)	4/4 dur (H)
	0.2mm		10mm	6mm	4.5mm
0.3mm		11mm	7mm	5.5mm	4mm
0.5mm		12mm	8mm	6.5mm	5mm

## Formage et pliage

Dans le formage et le pliage, les deux points à prendre en considération sont les rayons de pliage minimum et l'effet ressort ou "spring back".

### ■ Rayons de pliage

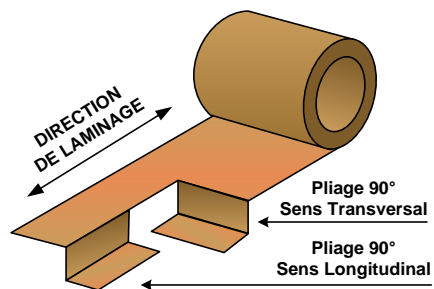
Le niveau de formabilité constitue un guide afin de définir un état, en fonction d'une exigence de mise en forme. Le rayon de pliage (R) admissible sans fissuration est lié à l'état du métal ainsi qu'à la position du pliage par rapport au sens du laminage (pliage sens longitudinal et sens transversal). Ces rayons sont exprimés en fonction de l'épaisseur (t) du feuillard et sont donnés pour des pliages à 90° par le ratio de formabilité R/t.

Le tableau ci-dessous donne les rayons de pliages admissibles pour les bandes d'épaisseurs inférieures ou égales à 1 mm et pour les divers états de livraison.

Celui-ci est excellent pour les états trempés, tant dans le sens long que dans le sens travers. Certains états revenus en usine présentent également de faibles différences entre les deux sens. Grâce à cette isotropie, il n'est pas nécessaire, lors de la découpe, de tenir compte du sens de laminage. Dans de nombreux cas, cela permettra d'utiliser le métal dans les meilleures conditions. Il est à noter

que les feuillards de moins de 0.25 mm d'épaisseur ont une aptitude au pliage plutôt meilleure.

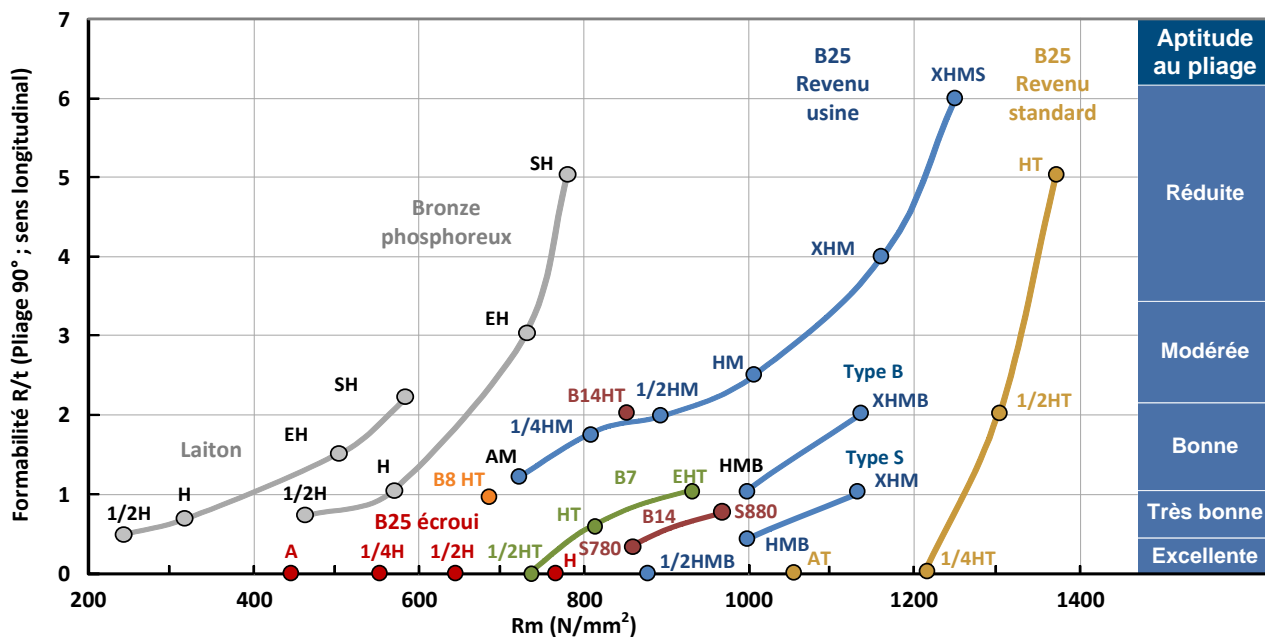
Le respect des valeurs du tableau garantit normalement l'absence de criques et de fissuration, mais dans certains cas, on sera obligé d'augmenter ces rayons pour éviter la formation de peau d'orange. Dans le cas d'angles plus importants, ils devront être majorés.



R = rayon de pliage ; t = épaisseur de la bande.

Dans la mesure du possible, les rayons de pliage d'une même pièce devront être homogènes et on choisira l'état le plus écroui compatible avec les déformations nécessaires à la réalisation de la pièce. Ceci doit permettre de limiter au maximum les déformations pendant le revenu. Un rapport R/t faible indique une très bonne aptitude à la mise en forme.

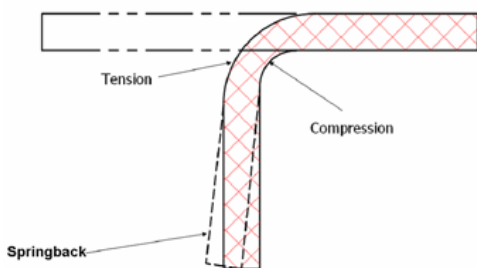
Rayon de pliage (R) à 90° (pour épaisseur (t) ≤ 0.5 mm)								
Minimum admissible en fonction de l'épaisseur								
Sens du pli	B25		B165			Sens du pli	B14	
	Etats	Trans.	Long.	Trans.			Long.	Etats
<b>■ Avant revenu</b>								
A	0	0	0	0		A	0	0
1/4 H	0	0	0	0		1/2 H	1,5t	2t
1/2 H	1t	2t	2t	3t		H	2t	3t
H	2t	5t	4t	6t				
<b>■ Après traitement de revenu en usine</b>								
1/4 HM	1,3t	1,8t	1,5t	2t		AT	2t	3t
1/2 HM	1,5t	2t	2t	3t		1/2 HT	3t	4t
HM	2,3t	2,5t	4t	6t		HT	2t	2t
SHM	2,5t	3t						
XHM	3t	4t	6t					
XHMS	4t	6t						
<b>■ Après traitement de revenu usine spécifique haute formabilité</b>								
1/2 HMB	0	0				S780	0,3t	0,3t
HMB	1t	1t				S880	0,7t	0,7t
XHMB	2t	2t						
HM-TypeS	0.5t	0.5t						
XHM-Type S	1t	1t						



Aptitude au pliage des alliages cuivre-béryllium à différents états.

## ■ Effet ressort ou "spring back"

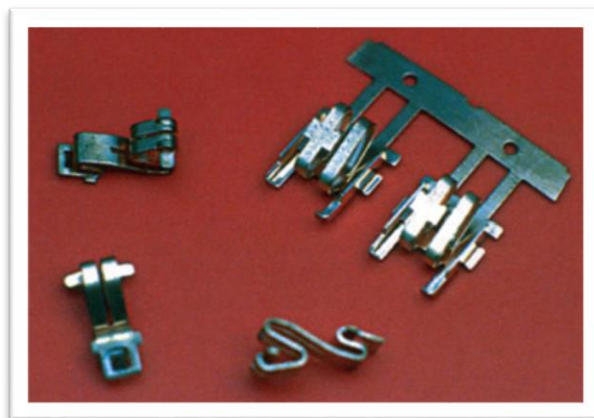
Le "spring back" est une fonction du module du matériau et de sa limite élastique. Ce phénomène peut être en partie maîtrisé si l'on en tient compte dans la conception des outillages et en réglant la presse pour obtenir un effet plus ou moins prononcé de frappe.



Pour une épaisseur donnée, le "spring back" s'accroît avec l'augmentation de la limite élastique ainsi que du rayon de pliage. Dans des conditions de fabrication normale, on doit donc s'attendre à des variations sur des produits au même état provenant de lots différents.

Lorsque l'on désire des tolérances angulaires très précises (inférieures à 2°), il est nécessaire d'envisager le revenu en conformateur – voir notre chapitre "Traitement Thermique".

Dans des conditions favorables, le conformateur permet d'obtenir des tolérances angulaires de ±1/2° ; d'autre part, il permet d'utiliser des outillages moins compliqués puisqu'il n'y a pas lieu de chercher à corriger l'effet "spring back" avec précision.



Pièces C17200 revenu usine à forme complexe

## Traitement thermique

### Introduction

Les alliages de cuivre au béryllium offrent à l'utilisateur l'avantage de pouvoir d'abord façonner aisément ses pièces les plus délicates (usinage ou formage) et ensuite par un traitement thermique simple, à basse température, d'obtenir les caractéristiques mécaniques nécessaires pour ses besoins. Les cupro-bérylliums sont ainsi les alliages à base de cuivre utilisables avec le maximum de souplesse.

En effet, avec la plupart des autres alliages de cuivre les pièces doivent être formées à partir d'un métal ayant déjà ses propriétés finales et, pour cette raison, elles sont souvent difficiles, sinon impossibles à fabriquer, l'allongement, donc la malléabilité, étant d'autant plus faible que les autres caractéristiques mécaniques sont plus élevées. Ces produits sont disponibles sous forme de bandes, barres, fils, ou même tubes et sont corroyés à froid soit par laminage, soit par étirage.

Le traitement thermique des cupro-béryllium se fait en deux étapes :

1 – Le traitement thermique de mise en solution par chauffage du métal suivi d'une trempe. Ce traitement est une opération d'adoucissement qui, dans la presque totalité des cas, est réalisée par nos soins avant livraison du demi-produit et ne doit pas être fait chez l'utilisateur.

2 – Le revenu, qui est une opération de durcissement par précipitation structurale, est souvent réalisé par l'utilisateur.

### Choix de l'état de livraison

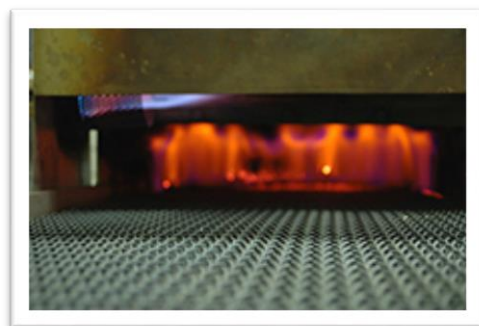
NGK Berylco peut livrer les alliages Berylco dans les différents états suivants, en ordre croissant de dureté :

- Trempé mou (A)
- 1/4 Dur (1/4 H)
- 1/2 Dur (1/2 H)
- 4/4 Dur (H)
- Etats revenus en usine

Nous ne traiterons pas des états revenus usine qui sont réservés à la fabrication de pièces nécessitant des déformations peu importantes et dont l'utilisation ne fera pas appel aux caractéristiques optimales du

cuivre-béryllium, puisque ces états ont déjà subi le traitement de revenu dans nos usines, évitant ainsi cette opération après la réalisation des pièces.

Le choix de l'état sera fait en fonction de la sévérité du formage à froid des pièces, en se souvenant de la règle suivante : **"il faut utiliser le métal le plus écroui possible compatible avec la déformation à réaliser"**.



Four de trempe

L'état trempé mou (A) est conseillé pour les pièces nécessitant des emboutissages profonds. Pour le choix des autres états, voir notre chapitre 'Formage et pliage' qui donne les possibilités de pliage en fonction des états de livraisons. A noter que l'état A comporte une subdivision, en anglais 'A Planished', correspondant à ce que de nombreux utilisateurs appellent en français 1/8H ou encore "trempe glacé".

Dans le cas rare où une déformation excessive doit être faite au cours du façonnage, il peut être nécessaire de radoucir le métal par une nouvelle mise en solution (chauffage et trempe) afin de pouvoir continuer la déformation à froid. Dans ce cas, notre service technique est à la disposition de l'utilisateur et doit être consulté, chaque cas devant être traité comme un cas particulier.

### Revenu des alliages de cuivre au béryllium

Après formage ou usinage, le traitement thermique de précipitation structurale (ou revenu) sera effectué pour donner les propriétés finales désirées pour l'utilisation de la pièce.

Ces propriétés sont liées à l'état de livraison du produit d'origine, à la durée et à la température de traitement. Le premier facteur étant déterminé par la forme de la pièce à obtenir, on peut, en faisant jouer

les deux autres éléments, avoir toute une combinaison de caractéristiques, telles que la limite élastique, la résistance à la traction, la ductilité, la conductibilité électrique, la dureté ou la résistance aux chocs, de façon que chaque application particulière commande le choix du temps et d'une température de revenu.

Pour profiter pleinement des caractéristiques des alliages de cuivre au béryllium données par ces innombrables combinaisons temps/température, des essais préliminaires sont recommandés, en particulier lorsque des cycles à hautes températures et des temps courts sont envisagés.

La résistance, la limite élastique, la dureté croissent avec le temps et la température, passent par un maximum et décroissent. L'allongement subit le phénomène inverse.

Plus la température est élevée et plus le phénomène est rapide, toutefois, dans une certaine plage de la température, la courbe atteint un palier qui se maintient pendant plusieurs heures sans modification appréciable. La conductibilité électrique croît avec la température et la durée du revenu.

### Revenu des alliages à haute résistance

Pour les alliages 25, 165 et 33/25, le revenu peut s'effectuer dans une gamme de température allant de 260°C à 440°C. Les duretés maximales, qui ne sont d'ailleurs pas forcément les caractéristiques recherchées, sont obtenues pour une durée de 3 heures entre 310°C et 340°C suivant l'état d'origine.

Pour l'alliage 165, les durées maximales sont obtenues avec des températures légèrement plus élevées d'environ 10 à 15°C. Cet alliage étant essentiellement livré à l'état revenu en usine, nous n'avons pas tracé les courbes des traitements thermiques de cet alliage.

Pour les alliages Berylco 25 et 33/25, deux sortes de graphiques ont été établis :

Des courbes pour une durée donnée (3 heures) qui montrent les caractéristiques mécaniques obtenues lorsque la température de traitement varie. Ces courbes mettent particulièrement en évidence les phénomènes du revenu :

- La zone située avant le maximum est appelée la zone de sous-revenu.
- La zone située après ce maximum est la zone de sur-revenu.

- La dispersion des caractéristiques mécaniques due à la différence d'état avant traitement est plus réduite en période de sur-revenu qu'en période de sous-revenu. Cette constatation est un premier guide dans le choix du traitement si l'on veut obtenir des pièces terminées ayant la plus faible dispersion possible.

Des courbes en fonction du temps pour divers niveaux de température. Ces courbes appellent les remarques suivantes :

- Lorsque les températures sont inférieures à 300°C, la précipitation est lente et des temps longs sont alors nécessaires si l'on veut obtenir des propriétés proches du maximum. Par contre, lorsque les températures sont supérieures à 350°C les vitesses de précipitation s'accroissent et le durcissement se produit pour des périodes de temps courtes.
- Au début du revenu les courbes ont une forte pente, puis elles présentent des paliers ou bien elles chutent (pour les températures supérieures à 340°C), mais la pente en sur-revenu reste la plus faible et laisse quelque lassitude sur le temps.



En pratique, on aura intérêt lorsque l'on ne désire pas utiliser les caractéristiques de dureté maximale, à effectuer un sur-revenu qui permettra d'obtenir moins de dispersion dans les caractéristiques finales. D'autre part, on remarquera que pour un temps de 3 heures la plupart des courbes ont une faible pente et présentent un pseudo-palier, donc en général un sur-revenu avec temps long est préférable.

Il arrive souvent cependant que du fait de la température, des dilatations différentielles peuvent se produire et que d'autre part, la précipitation provoque un léger rétrécissement du cupro-béryllium (de 1 à 3 pour 1000).



Si l'on veut obtenir des pièces d'une grande précision, en réduisant au maximum les déformations inévitables au cours du revenu, on aura intérêt à travailler à des températures relativement basses en sous-revenu avec temps long ou alors à utiliser un conformateur.

Prenons un exemple pour mieux illustrer ce qui précède : A partir d'un matériau à l'état 1/2 dur, on désire obtenir une limite élastique à 0.2% de l'ordre de 1000 à 1100 N/mm<sup>2</sup>. Avec un revenu d'une durée de 3 heures, on fera un sur-revenu à 370°C environ et un sous-revenu vers 260°C. On fera donc normalement un traitement de 3 heures à 370°C, par contre, si l'on craint les déformations et que l'on ne peut utiliser de conformateur, on fera un traitement de 3 heures à 260°C. Maintenant, si l'on désire faire une production importante et que l'on dispose de matériel très précis, on pourra faire un traitement court de 30 minutes à 400°C par exemple, mais dans ce cas il y aurait lieu de faire des essais pour bien encadrer la température et le temps.

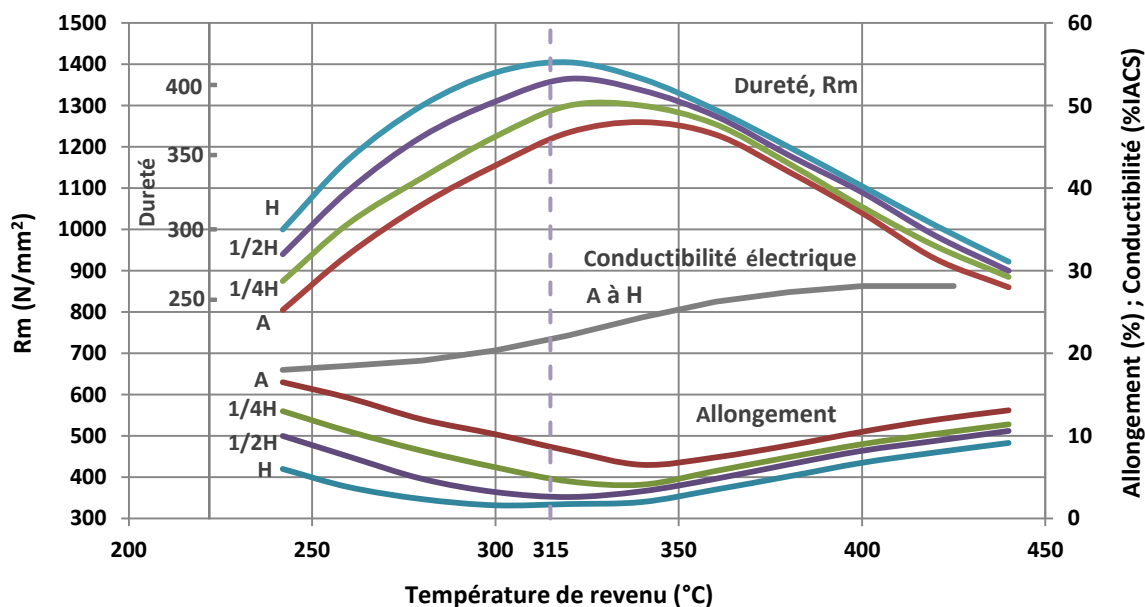
## Courbes – Effets du revenu

Les diverses courbes qui suivent, précisent l'effet du revenu pour plusieurs caractéristiques :

- Résistance à la traction (Rm ; charge de rupture)
- Limite élastique (Rp) à 0.2% d'allongement
- Allongement (A%) mesuré sur 50mm
- Dureté Vickers
- Résistance à la fatigue
- Conductibilité électrique

Ces courbes doivent seulement être considérées comme des courbes moyennes représentant l'allure du phénomène et elles ne doivent pas être prises à la lettre pour une détermination précise d'une durée et d'une température du revenu en vue de l'obtention de caractéristiques données.

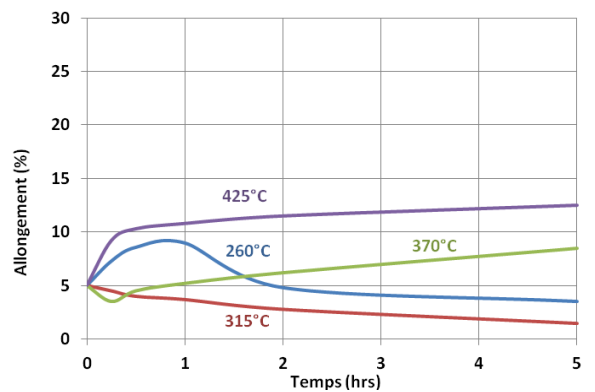
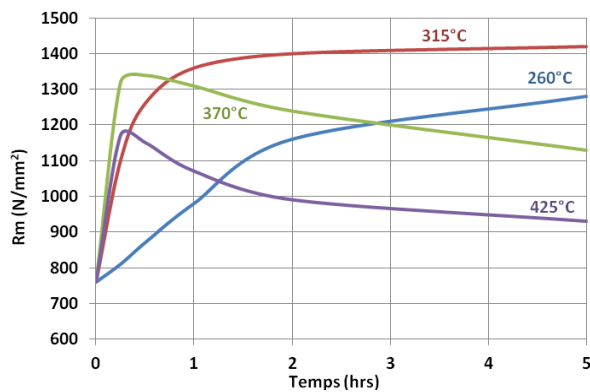
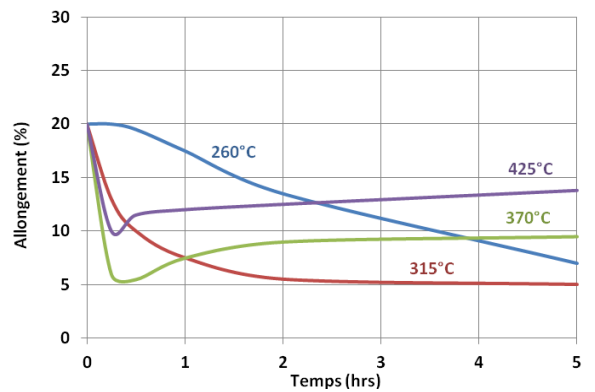
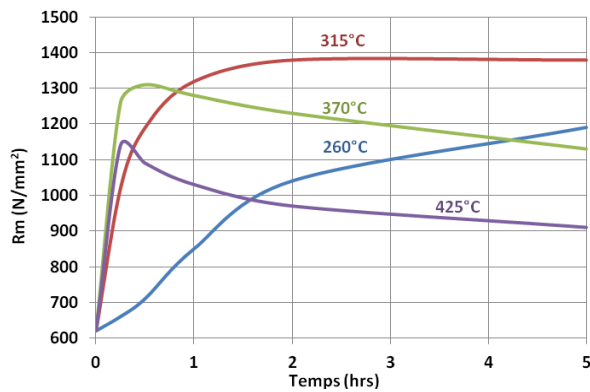
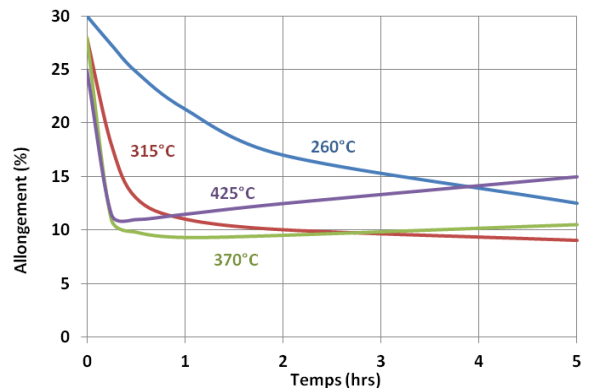
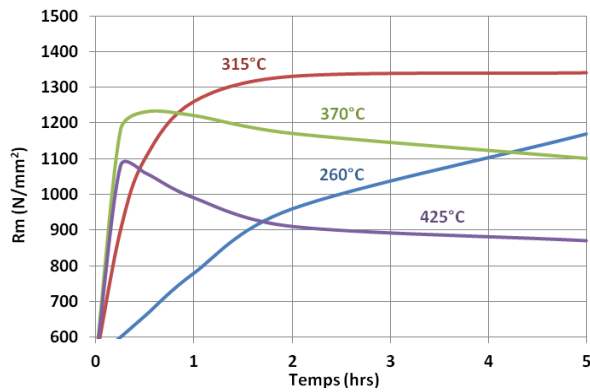
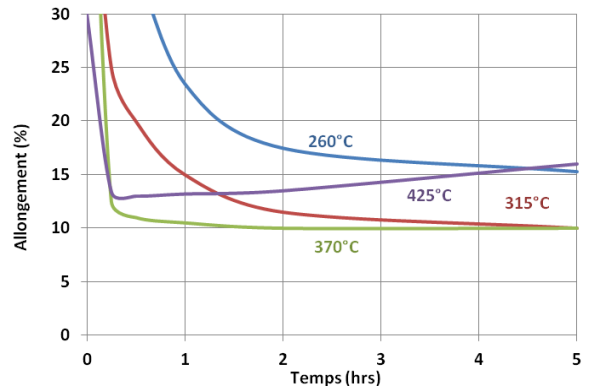
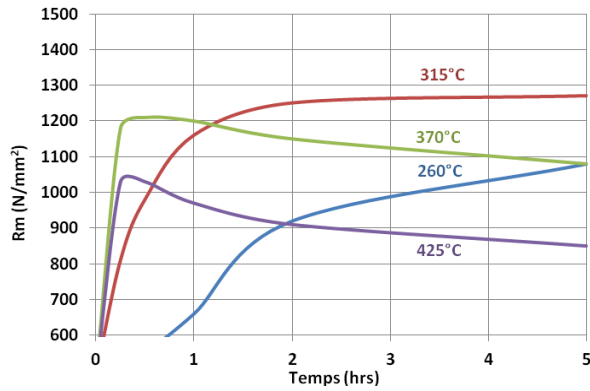
En particulier, les courbes de résistance à la fatigue extrapolées de l'étude présentée dans la publication ASTM N°367, sont à considérer comme des ordres de grandeur. Cette caractéristique étant liée à de nombreux facteurs comme la forme de la pièce, les défauts de découpe, l'état de surface pendant l'utilisation, etc.



Propriétés des alliages B25 et B33/25 après revenu à différentes températures (temps de rétion : 2 heures)

Variation des propriétés mécaniques de l'alliage B25 en fonction de la température et de la durée de revenu

**A**  
  
**1/4H**  
  
**1/2H**  
  
**H**

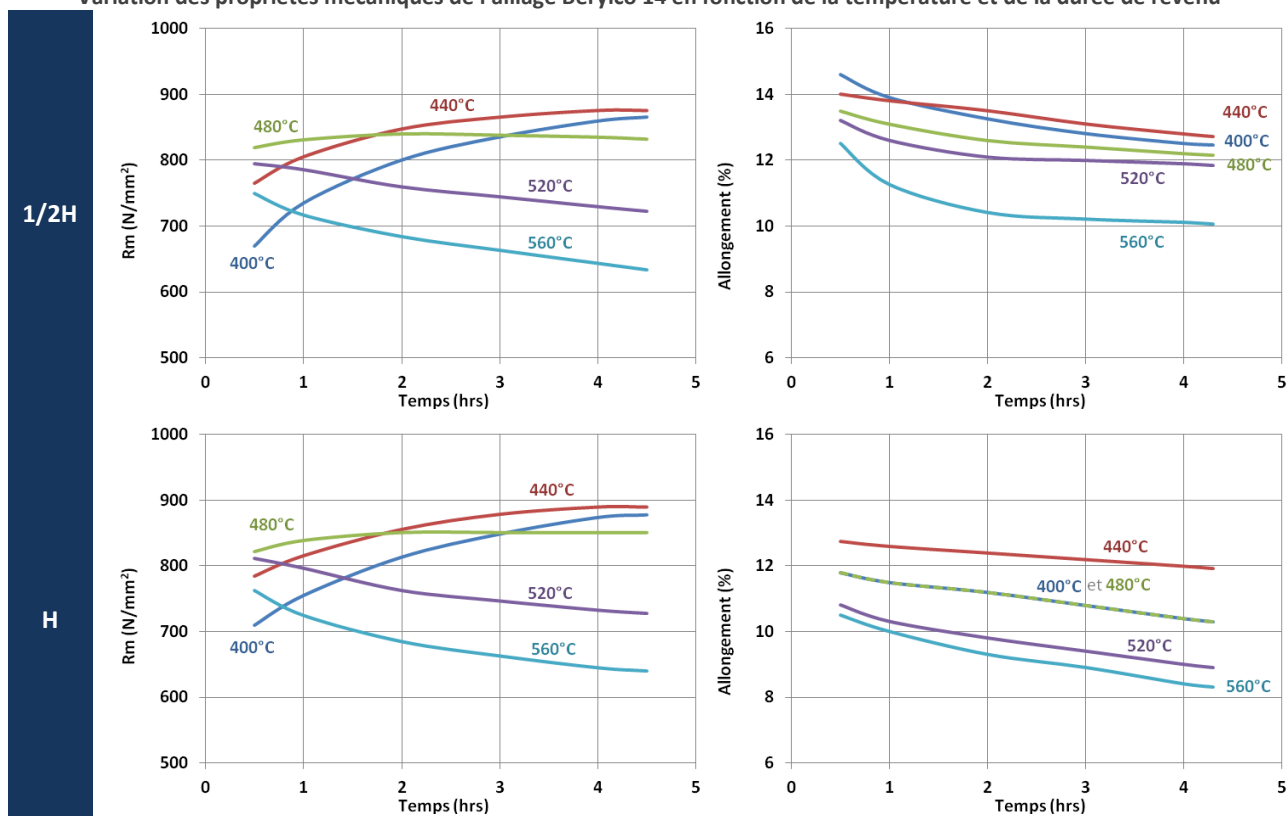


## Revenu des alliages à haute conductibilité

Les alliages à haute conductibilité Berylco 14, 7 et 8 présentent des caractéristiques de dureté maximales vers 460-480°C entre 2 et 3 heures suivant l'état. Pour ces alliages possédant une bonne formabilité, NGK Berylco livre des états traités usine. Si la mise en forme des pièces ne permet pas cette éventualité, le

traitement après formage sera impérativement effectué sous atmosphère protectrice, voire réductrice. En effet, un traitement à l'air provoquerait une oxydation intergranulaire qu'il n'est pas possible d'éliminer par les méthodes classiques de décapage.

Variation des propriétés mécaniques de l'alliage Berylco 14 en fonction de la température et de la durée de revenu



## Conformateur

Il arrive que, dans des cas particuliers, on soit amené à effectuer le revenu, les pièces étant fixées dans des formes ou conformateurs pendant le traitement. Ceci est nécessaire seulement lorsque les dimensions doivent être maintenues à des tolérances très serrées. On fera de préférence des traitements plutôt en sur-revenu avec des temps longs. Si le conformateur est très massif par rapport aux pièces à traiter, il est souhaitable d'utiliser un thermocouple dans la charge qui mesurera la véritable température des pièces qui sont traitées.

Si les pièces à traiter nécessitant une grande précision dimensionnelle sont très petites, il n'est plus pensable d'utiliser un conformateur. On peut alors effectuer

le traitement dans une matière pulvérulente comme le sable. Ce dernier maintient les pièces pendant le traitement ce qui suffit en général à limiter les déformations.

## Fours de revenu

Les fours à circulation d'air sont recommandés pour ces traitements. Les atmosphères contrôlées donnant des produits brillants après traitement peuvent être utilisées, mais on veillera à éviter leur contamination par des produits chlorés.

Les fours à bains de sels pour leur chauffage rapide et uniforme donnent de bons résultats dans toute la plage de températures des revenus du cupro-béryllium. Ils sont intéressants lorsque le temps du

revenu est court et si l'on dispose d'une régulation précise de la température.

Des mélanges de sels ayant leurs points de fusion entre 135°C et 220°C existant dans le commerce sont généralement utilisés. Les sels à base de nitrates se dissolvent aisément dans l'eau chaude mais nécessitent certaines précautions qui sont spécifiées par les fournisseurs.

Les fours à air ou à atmosphère contrôlée sans circulation ne peuvent être utilisés que pour des temps longs de l'ordre de 3 heures. Les fours à vide sont déconseillés en raison du faible échange thermique dans ce type de four.

A la sortie du four de revenu, la vitesse de refroidissement étant sans importance, les pièces peuvent être trempées dans l'eau froide ce qui facilite la manipulation et fixe définitivement la fin du temps de revenu.

### Nettoyage, décapage et brillantage

Lorsque le revenu n'a pas été fait sous atmosphère contrôlée et que l'on désire obtenir après traitement une surface propre et brillante, un certain nombre d'opérations devront être prévues.

Avant le traitement thermique, on veillera à ce que les pièces à traiter soient exemptes de matière grasse et, le cas échéant on effectuera un dégraissage soigneux.

Après revenu les pièces devront être décapées. Une méthode simple est le décapage sulfurique qui consiste à immerger les pièces dans une solution de 20 à 30% en volume d'acide sulfurique et d'eau. Le

bain devra être chauffé entre 70 et 80°C et les pièces devront être maintenues dans le bain entre 15 et 30 minutes/secondes suivant le degré d'oxydation (ou jusqu'à ce que le dépôt noir disparaisse). Le décapage sera suivi d'un rinçage à l'eau froide.

Avant de passer à l'opération de brillantage, il faut savoir que le décapage doit être parfait sinon le brillantage ne sera pas correct, des zones mates ou piquées risquent de demeurer et la durée du décapage qui peut être prolongée sans inconvénient, pourra être appréciée par les résultats obtenus lors du brillantage.

Après décapage, on peut effectuer un brillantage. De nombreux bains de brillantage existent, certains restituent simplement la couleur du métal, nous pouvons en citer deux :

- Immerger dans une solution froide de 15 à 30% d'acide nitrique en volume et d'eau. L'opération doit être arrêtée dès l'apparition des premiers dégagements.
- Immerger 30 à 45 secondes dans une solution froide de 15% d'acide sulfurique en volume et d'eau dans laquelle on ajoute 60 à 70 g/litre de bichromate de sodium.

Dans les deux cas, il y a lieu de faire suivre l'opération d'un rinçage soigneux à l'eau froide et d'un séchage. D'autres bains de brillantage donnent un brillant plus satisfaisant comme par exemple les bains "blanc" (mélange d'acides sulfurique et nitrique à diverses concentrations), mais leur maniement est délicat car la dissolution du métal est très rapide.

Dans le cas d'électrodéposition, le bain au bichromate est déconseillé.

### Usinage

Les alliages Berylco peuvent être usinés à tous les états. Ils se comportent différemment suivant leurs compositions et leurs états.

Dans le tableau ci-dessous, des indices approximatifs d'usinabilité sont donnés en comparaison avec le laiton de décolletage pris à une valeur relative de 100. En se basant sur cette cotation, un matériau d'indice 50 devra être usiné à une vitesse d'environ la moitié de celle utilisée pour un matériau d'indice 100, et ce pour une durée de vie d'outil égale.

Ces indices sont à prendre seulement comme une tendance. La plus ou moins grande aisance d'usinage dépend de nombreux facteurs tels que la machine et le type d'outils utilisés, l'habileté de l'opérateur, la rigidité du dispositif de fixation, etc. Cependant, dans le cas du cuivre au béryllium, il faut garder présent à l'esprit un certain nombre de points :

- Cet alliage s'écroute rapidement et il est nécessaire à chaque passe de pénétrer sous la couche écrouie

par la passe précédente ; une passe de deux dixièmes de mm est la passe minimum.

- Le cuivre béryllium est un alliage à durcissement structural ; un chauffage prolongé en cours d'usinage peut provoquer un début de durcissement. Il est donc très important de refroidir la pièce pendant l'usinage.
- L'oxyde de béryllium est très abrasif, aussi, lorsque l'on a à usiner des pièces oxydées, l'outil devra toujours être engagé dans le métal pour ne pas racler l'oxyde en surface.

- Pendant le revenu, le cuprobéryllium subit une contraction volumique de 0.6%, soit une contraction moyenne linéaire de 0.2%. on devra donc en tenir compte pour les tolérances d'usinage et, dans le cas de tolérances précises, l'usinage de finition devra s'effectuer après le traitement thermique.
- Et enfin, pour les pressions d'outils et la rigidité des montages, on devra tenir compte du fait que le module d'élasticité du cuivre au béryllium n'est seulement que de 60% comparé à celui des aciers.

## Indice d'usinabilité des alliages Berylco par rapport aux alliages cuivreux

Nom de l'alliage	Composition de l'alliage	Index d'usinabilité (%)
<b>Groupe 1 – Alliages de décolletage</b>		
Laiton de décolletage	Cu – 35Zn – 3Pb	100
Laiton à 0.2% Pb	Cu – 33Zn – 2Pb	90
Cuivre au Plomb	Cu – 1Pb	80
Maillechort au Plomb	Cu – 42Zn – 10Ni – 2Pb	80
Laiton à 1% Pb	Cu – 34Zn – 1Pb	70
Laiton à 0.5% Pb	Cu – 34.5Zn – 0.5Pb	60
<b>Berylco 33/25 (A, H)</b>	Cu – 1.9Be – 0.25Co – 0.3Pb	60
<b>Groupe 2 – Alliages moyennement usinables</b>		
Bronze Alu - Silicium	Cu – 7Al – 2Si	60
Métal Muntz	Cu – 40Zn	40
<b>Berylco 14 AT et HT</b>	---	40
<b>Alliages Berylco travaillés à chaud (forgé, extrudé)</b>	---	30
<b>Alliages Berylco moulés (A)</b>	---	30
Laiton Tombac	Cu – 15Zn	30
Laiton 1 <sup>er</sup> titre	Cu – 35Zn	30
<b>Groupe 3 – Alliages difficiles à usiner</b>		
Cuivre "touch pitch"	Cu	20
Bronze phosphoreux	Cu – 5Zn	20
Bronze Aluminium	Cu – 7Al – 2Fe	20
Cupro-Nickel	Cu – 30Ni	20
Maillechort	Cu – 18Ni – 17Zn	20
<b>Alliages Berylco haute résistance (AT et HT)</b>	---	20

## Matériaux des outils

Les alliages Berylco peuvent être usinés avec des outils en acier rapide ou en carbure. Les nuances d'aciers recommandés aux USA sont les aciers rapides M1, M2, T1 et T2 (noms AISI). La nuance recommandée pour les outils en carbure est la nuance C2. En Europe ce sont plutôt les nuances K20 et K30 qui sont utilisées. Il est préférable de réserver les outils en carbure pour des travaux de séries et lorsque des tolérances dimensionnelles précises sont nécessaires.

## Fluides de coupe

Les fluides de coupe assurent un meilleur fini de surface, une meilleure tenue des outils dans le temps et des vitesses de coupe plus élevées. Une de leur fonction importante est également l'évacuation des calories. Lorsque cette fonction est de première importance, ce sont les émulsions d'huiles solubles qui donnent les meilleurs résultats en raison de leurs bonnes propriétés réfrigérantes. Ces émulsions peuvent varier de 1.5 à 10% de concentration d'huile dans l'eau selon l'usinabilité à réaliser. Lorsqu'elles

contiennent du soufre, ces huiles peuvent tâcher les pièces et l'huile devra donc être éliminée dès la fin de l'usinage avec de l'eau chaude.

Aisi	AFNOR	DIN	C	Cr	Mo	W	V
M1	Z85 DCWV 08-04-02-02	1-33-46	0.8	4.0	8.5	1.5	1.0
M2	Z85 WDCV 06-05-04-02	1-33-42	0.85	4.0	5.0	6.25	2.0
T1	Z80WCV 18-04-01	1-33-55	0.7	4.0	--	18.0	1.0
T2	Z85WCV 18-04-02	1-32-55	0.85	4.0	--	18.0	2.0

Aisi	AFNOR-DIN	TiC + TaC	Co	WC
C2	K20	2.0	6.0	92.0
	K30	1.0	9.0	90.0
	K40	0.0	12.0	88.0

Pour des opérations délicates, il peut être nécessaire d'utiliser des lubrifiants ayant une meilleure pénétration et un film plus tenace. Pour cela, on utilisera des huiles de coupe à base d'huile minérale. Les huiles à basse viscosité offrent une bonne pénétration et des propriétés de refroidissement suffisantes pour des opérations délicates. Ce sont les huiles de coupe à base de lard qui offrent les meilleures possibilités d'usinage du cuprobéryllium.

Cependant les huiles sulfurées présentent pour les opérations d'usinage les plus difficiles, la meilleure combinaison de lubrification, de pénétration et de fini de surface. La résistance élevée du film de ces huiles est d'un grand intérêt pour les travaux nécessitant des pressions importantes et des vitesses élevées. Lorsque l'on est amené à utiliser des huiles sulfurées, les pièces devront être nettoyées dès que possible après l'usinage pour éviter la formation de tâches.

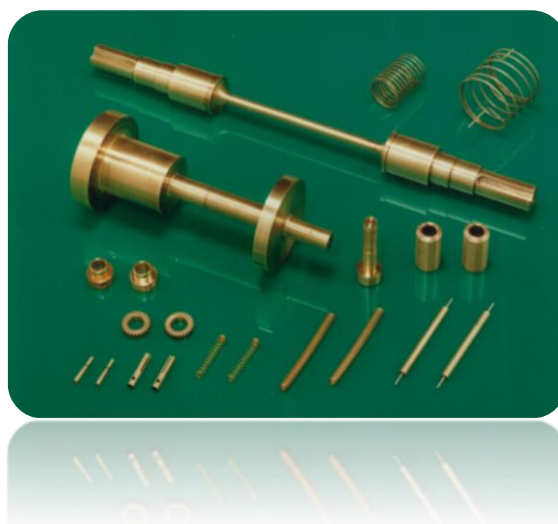
## Décolletage du cuivre au béryllium

Les alliages Berylco peuvent être tournés avec n'importe quel équipement que ce soit avec des outils en acier rapide ou avec des outils en carbure, le choix dépend surtout de l'importance du travail à effectuer.

Les vitesses de coupe peuvent atteindre, comme ordre de grandeur, 30-70 m/minute selon le matériau de l'outil et sa géométrie. Dans le cas des alliages de décolletage contenant du plomb et des outils en carbure, ces vitesses peuvent monter et même dépasser les 200 m/minute. Lorsque l'on est obligé de travailler à sec, elles sont à réduire. Des émulsions

d'huile soluble plutôt épaisses et des huiles minérales additionnées d'huile de lard peuvent être utilisées pour la plupart des opérations de tournage.

L'évacuation des copeaux peut causer quelques problèmes surtout dans les états les plus mous pour lesquels ils sont continus et tenaces. Dans certains cas, ces problèmes peuvent être résolus en utilisant des brise-copeaux.



Le **Berylco 33/25** permet un bon contrôle du copeau grâce à une addition soigneusement contrôlée de plomb. Cet alliage est bien adapté aux opérations de décolletage car le plomb réduit l'usure des outils, élimine le bourrage des copeaux et produit de petits copeaux fins et courts.

## Perçage du cuivre au béryllium

Les alliages de cuivre au béryllium peuvent se percer dans n'importe quel état avec les forets standard du commerce en acier rapide. Cependant, lorsque des travaux de séries sont envisagés, l'usage de forets mieux adaptés peut présenter de l'intérêt.

Les forets hélicoïdaux avec un angle d'hélice de 26-30° et un angle de pointe de 115 à 130° font généralement bon usage, l'avance peut varier entre environ 0.02 et 0.2 mm par tour et la vitesse de coupe entre 15 et 20 m/minute.

Pour le perçage des pièces moulées après revenu (AT), un renforcement du tranchant principal et un montage plus rigide sont recommandés. Ceci peut se faire à l'aide de forets courts ayant un affûtage spécial.

Pour obtenir de bons résultats, il faut une vitesse de coupe et une avance constante et l'emploi d'un abondant fluide de coupe. Il est très important de toujours conserver l'outil en coupe pour éviter un glaçage du fond du trou provoqué par l'écroutissage rapide du cuivre au béryllium dû au frottement. La reprise de perçage est souvent difficile en cas d'arrêt momentané, aussi des soins particuliers seront pris lorsque le foret est retiré pour évacuer les copeaux, opération qu'il est nécessaire de faire régulièrement lorsque l'on perce un trou profond.

### Alésage du cuivre au béryllium

Lorsque l'on doit procéder à l'alésage soit pour des raisons de précision dimensionnelle, soit pour un meilleur fini de surface, on utilisera de préférence un porte-alésoir flottant de façon à mieux se centrer sur le trou préalablement percé.

Ce sont les alésoirs standards en acier rapide à rainures hélicoïdales au pas à droite qui conviennent le mieux pour l'alésage du cuivre au béryllium. Ceux à pastilles de carbure rapportées seront réservés pour les travaux importants.

Pour éviter un échauffement trop important de la surface alésée, il sera prévu une surépaisseur de 0.12 à 0.15 mm au rayon de façon à pénétrer sous la couche écrouie par le perçage. Il est préférable d'utiliser un fluide de coupe.

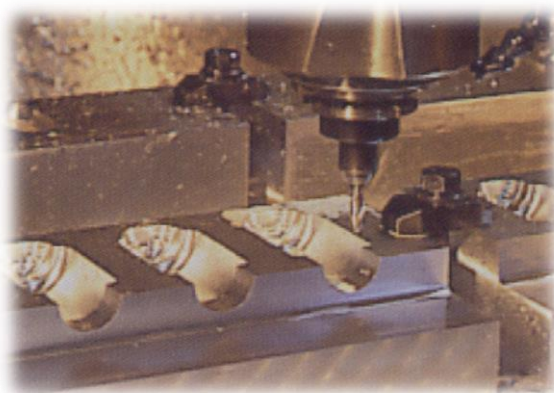
### Taraudage du cuivre au béryllium

Le taraudage et le filetage sont les opérations d'usinage les plus délicates pour le cuivre au béryllium. Cependant, dans les états non revenus, les alliages de cuivre au béryllium se taraudent relativement aisément avec les tarauds courants pour cuivreux.

Les vitesses de coupe devront être assez faibles surtout pour les états revenus. Si elles peuvent atteindre 25 à 30 m/min pour les alliages et états les plus mous, elles seront seulement de 2 à 3 m/min pour les alliages à haute résistance traités pour la dureté maximale.

Il est conseillé d'utiliser un fluide de coupe pour toutes les opérations de taraudage et de filetage. Du fait que les vitesses de coupe sont généralement trop faibles pour produire une élévation de température importante, le fluide de coupe sera plutôt choisi pour

ses propriétés de lubrification. Une huile minérale épaisse à composés sulfochlorés ou un produit huileux gras sont recommandés. Un rinçage immédiat dans une essence minérale réduira le risque de formation de tâches sur les pièces.



### Fraisage du cuivre au béryllium

Le fraisage des alliages de cuivre au béryllium ne pose pas de problème particulier. On pourra utiliser des outils en acier rapide ou à tranchants en carbure rapportés. L'angle de coupe (ou de dégagement) conseillé est de 10°, que ce soit pour les fraises cylindriques ou les fraises frontales. L'emploi d'un fluide de coupe rend plus aisée l'opération de fraisage.

### Sciage du cuivre au béryllium

Les alliages de cuivre au béryllium se scient généralement assez aisément sauf dans les états les plus mous et dans les états les plus durs. Ainsi il est fortement déconseillé de scier les alliages à haute résistance à l'état revenu d'une dureté Vickers supérieure à 300.

De même, il est préférable d'éviter de scier ces matériaux à l'état mou (A) que ce soit les alliages à haute résistance ou les alliages à haute conductibilité. Dans cet état, le métal est collant et a tendance à charger les dents de la scie.

Pour le sciage à la lame droite manuel ou mécanique, on utilisera des lames en acier rapide normalement utilisées pour les cuivreux. Ces lames ont une voie régulière, de grosses dents et des dégagements importants pour permettre une bonne évacuation des copeaux. Avec les scies à métaux manuelles, on appliquera une cadence relativement lente (moins de

50 coups par minute) et suffisamment de pression pour toujours maintenir les dents en coupe.

De même pour le sciage à la scie à rubans fréquemment utilisé en fonderie pour le démasselottage, on veillera à conserver une pression d'avance suffisante pour maintenir les dents en coupe. Les scies circulaires sont soit à dents intégrées, généralement en acier rapide, soit à dents rapportées. Les meilleurs résultats sont obtenus avec des scies ayant alternativement une dent sur deux plus haute de quelques dixièmes de millimètre, et chanfreinées des deux côtés.

Dans tous les cas où c'est possible, il est conseillé d'utiliser un fluide de coupe comme par exemple une huile soluble diluée à 4% dans l'eau.

### Rectification du cuivre au béryllium

Le cuivre au béryllium pouvant se rectifier aisément dans n'importe quel état, les pièces sont

généralement terminées en rectification après revenu. Cependant, lorsqu'il s'agit d'opérations grossières à la meule telles que l'ébarbage, elles précèdent généralement le revenu.

On se rappellera qu'une vitesse trop faible provoque une usure rapide de la meule et qu'une vitesse trop élevée peut "brûler" la pièce ou charger la meule du matériau à rectifier.

Il est conseillé d'utiliser un fluide de coupe. La rectification humide prolonge la durée de vie de la meule et donne un meilleur fini de la surface rectifiée. Des émulsions d'huile soluble de 1.5 à 3% conviennent. On utilisera de préférence des meules corindon pour les états traités et des meules carborundum pour les états non revenus, sauf pour le tronçonnage où l'on préférera les meules corindon pour tous les états. Une structure moyenne de la meule convient généralement.

## Assemblage

En dehors du fait que les alliages de cuivre au béryllium sont à durcissement structural, les pratiques de base du soudage suivent celles en usage pour le cuivre. Le texte ci-après s'applique à l'alliage Berylco 25, de loin le plus utilisé. Pour l'alliage B14, les techniques sont les mêmes mais des difficultés de soudage apparaissent du fait de la nécessité du préchauffage due à sa meilleure conductibilité thermique et également du fait de sa forte susceptibilité à l'oxydation.

### Brasage à soudure tendre

Les brasures tendres ont un point de fusion relativement bas, inférieur à 250°C. Dans ce cas, l'opération de brasage sera faite après revenu sans apporter de modification aux caractéristiques de cuivre au béryllium. Il est important de faire un nettoyage soigneux avant brasage.

### Brasage à l'argent

La brasure à l'argent donne de meilleurs résultats sur le plan de la résistance. L'alliage eutectique cuivre-argent fond vers 780°C et permet théoriquement de

faire coïncider le brasage et la mise en solution. Cependant ce procédé est très délicat. On utilise généralement un alliage de brasure coulant entre 600 et 650°C, le plus typique fond à 625°C et coule à 635°C, il contient : 50% d'Ag, 15.5% de Cu, 16.5% de Zn et 18% de Cd. Ces températures étant au-dessous de la zone de mise en solution le temps de maintien à température sera réduit au minimum de façon à obtenir les meilleures propriétés possibles après revenu.

### Soudage par résistance

Le cuivre au béryllium se soude facilement par point, en bout et par bossages, moins facilement à la molette. Les meilleurs résultats sont obtenus sur les états non revenus du fait des conductibilités électrique et thermique plus faibles. Les intensités de courant de soudage par rapport à de l'acier doux sont d'environ 50% plus élevées mais avec des temps plus courts.

Lorsque l'on a à assembler du cuivre au béryllium à un autre métal, il est nécessaire d'apporter un soin particulier dans le choix des électrodes (forme et



matériau) et dans le contrôle précis des conditions de soudage.

## Soudage à l'arc

Le soudage à l'arc peut se faire soit avec une électrode de tungstène, en procédé TIG, soit avec une électrode consumable en procédé MIG. Le procédé TIG en particulier est intéressant du fait de l'absence de flux, de la faible importance de la zone affectée par la chaleur et de la protection par le gaz inerte contre l'oxydation.

Les problèmes qui se posent lors du soudage du cuivre au béryllium proviennent de deux particularités de cet alliage :

- Le cuivre au béryllium est un alliage à durcissement structural et le chauffage de soudage détruisant plus ou moins la mise en solution, il est nécessaire après assemblage de refaire ce traitement si l'on désire les caractéristiques optimales après revenu.
- L'oxyde de béryllium est très réfractaire et se forme facilement, ce qui fait qu'il est absolument nécessaire d'éviter la présence d'oxyde et sa formation. Cette précaution sera d'autant plus suivie avec les alliages B14 qui sont sujets à la corrosion intergranulaire.

## Revêtements électrolytiques

Il arrive fréquemment aux utilisateurs de cuivre au béryllium d'avoir à effectuer des revêtements de surface. Avant tout dépôt, le métal doit être décapé très soigneusement car généralement, les dépôts électrolytiques sont effectués sur les pièces terminées et traitées, et peuvent avoir subi une oxydation lors du revenu.

Le bain sulfurique indiqué pour le décapage des pièces après traitement thermique sera utilisé avant dépôt électrolytique. Cependant, ce décapage laisse à la surface du métal un dépôt rougeâtre que l'on éliminera par un moyen mécanique comme le tonnelage ou par un procédé chimique : solution nitrique froide à 20% dans l'eau pendant un temps

## Soudage par faisceau d'électrons

Ce type de soudage peut avoir de l'intérêt pour les travaux délicats du fait de la minimisation des déformations au cours de l'opération. Le fait que la soudure se fasse sous vide permet d'éviter toute oxydation des matériaux à assembler.

Le tableau ci-contre donne une liste de métaux et de certains alliages classés par rapport à leur soudabilité avec le cuivre au béryllium. Ceci est donné à titre indicatif car dans certaines applications, avec des procédés spéciaux, certains de ces matériaux peuvent donner des résultats acceptables ou supérieurs.

Soudabilité du cuivre au béryllium		
Bon	Acceptable	Mauvais
laiton 70/30	cuivre	acier au carbone
cupro-nickel	laiton 85/15	acier inox
mailechort	aluminium	magnésium
bronze au silicium	nickel	zinc
bronze phosphoreux	monel	étain

suffisamment court pour éviter une attaque sensible du métal. Ce décapage sera suivi d'un rinçage soigneux puis d'un séchage.

Des revêtements de métaux précieux comme l'or ou l'argent sont généralement utilisés dans les contacts électriques afin d'avoir des résistances de contact faibles, une bonne conductibilité de surface pour les courants haute-fréquence, etc... Il est aussi fréquemment déposé une couche de Nickel comme barrière de diffusion. Cette couche doit être mince, de l'ordre de 0.5 à 1 µm, surtout lorsque la pièce doit travailler en flexion car le dépôt de Nickel est particulièrement fragile.

## Hygiène industrielle

L'utilisation courante à l'état solide de nos alliages à faible teneur en béryllium (<2%) ne présente aucun risque pour la santé. Cet élément est complètement dissous dans le cuivre. Ainsi les opérations telles que l'usinage, le décolletage, la manutention, la découpe, le formage, la mise en forme, le décapage, le revêtement de surface, ou les traitements thermiques ne nécessitent aucune précaution particulière.

De même que pour d'autres matériaux de l'industrie, les alliages de béryllium peuvent poser un risque pour la santé si les mesures de précaution recommandées ne sont pas suivies. L'attention est donc attirée sur les opérations telles que la fusion, la coulée, le soudage, le sciage, le meulage, le ponçage, le polissage, l'usinage par électroérosion qui entraînent l'émission de poussières inhalables ou de fumées. L'inhalation d'oxyde de béryllium et/ou de particules fines de béryllium peut causer une maladie respiratoire chronique (béryllose). Dans cette éventualité, il y a lieu d'utiliser des systèmes d'aspiration et de filtration appropriés de telle façon que les matières en

suspension soient inférieures à  $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  d'air, valeur recommandée par l'association du béryllium BeST (fraction inhalable – moyenne sur 8 heures). L'emploi de fluide d'usinage peut réduire les émanations de poussières dans l'atmosphère. La valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) recommandée en France est actuellement de  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , comme dans la plupart des pays européens.

NGK BERYLCO a développé avec l'association du béryllium un programme de gestion responsable des matériaux contenant du béryllium : « Be Responsible » (Be comme béryllium). Notre objectif est de mettre en place de bonnes pratiques de sécurité sur le lieu de travail. Des guides sont disponibles dans différentes langues (anglais, français, allemand, italien, espagnol) : [www.berylliumafety.eu](http://www.berylliumafety.eu)

Pour de plus amples informations concernant l'utilisation sans risque de nos produits ou obtenir nos Fiches d'Information Sécurité, veuillez consulter notre service environnement.

## Législation

Notre groupe NGK Insulators est l'un des leaders mondiaux pour la fabrication des alliages de cuivre au béryllium. Nous participons activement aux études environnementales menées sur les substances concernant nos produits. Notre priorité est de nous conformer aux réglementations légales en vigueur afin de garantir à nos clients la pérennité de nos produits.

### RoHS

RoHS signifie 'Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment', c'est-à-dire 'restriction de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques'. La directive RoHS (2002/95/CE) a pour objectif de limiter l'utilisation de certaines substances dangereuses. Ainsi, depuis le 1er juillet 2006, tout nouveau produit mis sur le marché dans l'Union Européenne doit être conforme à cette directive, qu'il soit importé ou fabriqué dans l'UE. Depuis son adoption, la directive RoHS a été révisée en 2011 (2011/65/CE, RoHS 2) et ne concerne pas le béryllium. Il n'y a donc aucune restriction actuelle ou prévue à l'utilisation du cuivre-béryllium comme indiqué par notre logo 'RoHS Ready'.

### REACH

Le règlement européen REACH ('Registration, Evaluation Authorisation and restriction of Chemicals'),

sur l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques, est entré en vigueur le 1er juin 2007. Bien que nos produits cuivre-béryllium soient des 'articles' au sens de REACH, nous avons enregistré le béryllium en Novembre 2010 (No. 01-2119487146-32-0003). Cet enregistrement nous a permis de mener de nouvelles études scientifiques qui ont conclu que la classification actuelle du béryllium métal doit être révisée. L'industrie travaille actuellement avec les autorités Européennes et nationales afin de mettre à jour cette classification.

**Le béryllium ne figure pas sur la liste candidate REACH** (substances extrêmement préoccupantes).

En 2016, le BAuA (Institut allemand de santé et sécurité au travail) a publié les résultats de l'analyse des risques (RMOA) pour le béryllium : le béryllium ne sera pas inclus dans la liste candidate REACH et ne sera pas soumis à autorisation.

### Recyclage

Notre société, certifiée ISO 14001 et soucieuse de respecter les réglementations environnementales, procède à un recyclage systématique de tous nos déchets de production tels que métaux, huiles de travail, acides, eaux de refroidissement, etc.. Nous proposons également de récupérer les chutes de production de cuivre béryllium générées par nos clients. Veuillez consulter notre service commercial.

**Masse linéique des Bandes**

Poids en kg/m des bandes en Berylco 25 et 165 Pour les bandes en Berylco 14, majorer de 6%								
épaisseur (mm)	Largeur en mm							
	5	8	10	12	20	30	40	50
0.04	0.0017	0.0026	0.0033	0.0040	0.0066	0.0099	0.0132	0.0165
0.05	0.0021	0.0033	0.0041	0.0050	0.0083	0.0124	0.0165	0.0207
0.06	0.0025	0.0040	0.0050	0.0059	0.0099	0.0149	0.0193	0.0248
0.07	0.0029	0.0046	0.0058	0.0069	0.0116	0.0173	0.0231	0.0289
0.08	0.0033	0.0053	0.0066	0.0079	0.0132	0.0198	0.0264	0.0330
0.09	0.0037	0.0060	0.0074	0.0089	0.0149	0.0223	0.0297	0.0372
0.10	0.0041	0.0066	0.0083	0.0099	0.0165	0.0248	0.0330	0.0413
0.11	0.0045	0.0073	0.0091	0.0109	0.0182	0.0273	0.0363	0.0454
0.12	0.0050	0.0079	0.0099	0.0119	0.0198	0.0297	0.0397	0.0496
0.13	0.0054	0.0086	0.0107	0.0129	0.0215	0.0322	0.0430	0.0537
0.14	0.0058	0.0093	0.0116	0.0139	0.0231	0.0347	0.0463	0.0578
0.15	0.0062	0.0099	0.0124	0.0149	0.0248	0.0372	0.0496	0.0620
0.16	0.0066	0.0106	0.0132	0.0159	0.0264	0.0396	0.0529	0.0661
0.17	0.0070	0.0112	0.0140	0.0168	0.0281	0.0421	0.0562	0.0702
0.18	0.0074	0.0119	0.0149	0.0178	0.0297	0.0446	0.0595	0.0743
0.19	0.0078	0.0126	0.0157	0.0188	0.0314	0.0471	0.0628	0.0785
0.20	0.0080	0.0132	0.0165	0.0198	0.0330	0.0496	0.0661	0.0826
0.25	0.0108	0.0165	0.0207	0.0248	0.0413	0.0620	0.0826	0.1033
0.30	0.0124	0.0198	0.0248	0.0297	0.0496	0.0743	0.0991	0.1239
0.40	0.0165	0.0264	0.0330	0.0396	0.0661	0.0911	0.1322	0.1652
0.50	0.0207	0.0331	0.0413	0.0496	0.0826	0.1239	0.1652	0.2065
0.60	0.0248	0.0397	0.0496	0.0595	0.0991	0.1487	0.1982	0.2478
0.70	0.0289	0.0463	0.0578	0.0694	0.1156	0.1735	0.2313	0.2891
0.80	0.0330	0.0529	0.0661	0.0793	0.1322	0.1982	0.2643	0.3304
0.90	0.0372	0.0595	0.0743	0.0892	0.1487	0.2230	0.2974	0.3717
1.00	0.0413	0.0661	0.0826	0.0991	0.1652	0.2478	0.3304	0.4130
1.25	0.0516	0.0826	0.1033	0.1239	0.2065	0.3098	0.4130	0.5163
1.50	0.0620	0.0992	0.1239	0.1487	0.2478	0.3717	0.4956	0.6195
1.75	0.0723	0.1157	0.1446	0.1734	0.2891	0.4337	0.5782	0.7228
2.00	0.0826	0.1322	0.1652	0.1982	0.3304	0.4956	0.6608	0.8260
2.50	0.1033	0.1653	0.2065	0.2478	0.4130	0.6195	0.8260	1.0325

**Masse linéique des Barres**

Poids en kg/m des barres en Berylco 25 et 165 Pour les barres en Berylco 14, majorer de 6%							
Dimensions (mm)	Rond (Kg/m)	Carré (Kg/m)	Hexagonal (Kg/m)	Dimensions (mm)	Rond (Kg/m)	Carré (Kg/m)	Hexagonal (Kg/m)
0.5	0.0016	0.0021	0.0018	28	5.086	6.476	5.608
1.0	0.0065	0.0083	0.0072	29	5.456	6.947	6.016
1.5	0.0146	0.0186	0.0161	30	5.839	7.434	6.438
2.0	0.0259	0.0330	0.0286	31	6.235	7.938	6.874
2.5	0.0405	0.0516	0.0447	32	6.643	8.458	7.325
3.0	0.0584	0.0743	0.0643	33	7.065	8.995	7.790
3.5	0.0795	0.1012	0.0867	34	7.500	9.549	8.269
4.0	0.1038	0.1322	0.1145	35	7.948	10.12	8.764
4.5	0.1314	0.1673	0.1449	36	8.404	10.70	9.266
5.0	0.1622	0.2065	0.1788	37	8.883	11.31	9.794
6	0.2336	0.2974	0.2575	38	9.370	11.93	10.33
7	0.3179	0.4047	0.3505	39	9.835	12.56	10.88
8	0.4152	0.5286	0.4578	40	10.38	13.22	11.45
9	0.5255	0.6691	0.5794	41	10.91	13.89	12.02
10	0.6487	0.8260	0.7153	42	11.44	14.57	12.61
11	0.7850	0.9995	0.8656	43	11.99	15.27	13.22
12	0.9338	1.189	1.030	44	12.56	15.99	13.84
13	1.096	1.396	1.209	45	13.14	16.73	14.48
14	1.272	1.619	1.402	46	13.73	17.48	15.13
15	1.460	1.859	1.610	47	14.33	18.25	15.80
16	1.661	2.115	1.832	48	14.95	19.03	16.47
17	1.875	2.387	2.067	49	15.57	19.83	17.16
18	2.102	2.676	2.317	50	16.22	20.65	17.87
19	2.342	2.982	2.582	52	17.55	22.34	19.34
20	2.595	3.304	2.861	54	18.92	24.09	20.85
21	2.861	3.643	3.155	56	20.34	25.90	22.42
22	3.140	3.998	3.462	58	21.83	27.79	24.07
23	3.432	4.370	3.784	60	23.36	29.74	25.75
24	3.737	4.758	4.120	62	24.94	31.75	27.50
25	4.055	5.163	4.472	64	26.57	33.83	29.30
26	4.386	5.584	4.836	66	28.26	35.98	31.16
27	4.730	6.022	5.215	70	31.79	40.17	35.05

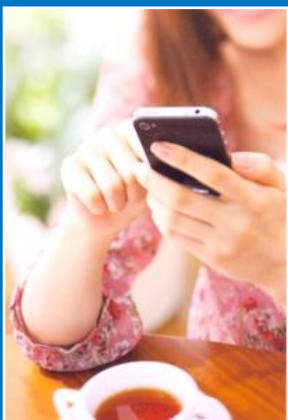
**Dureté - Tableau de conversion**

HV Vickers	HB brinell	Rockwell		Rm (N/mm <sup>2</sup> )
		HRC	HRB	
450	428	45.3		1455
440	418	44.5		1420
430	410	43.6		1385
420	400	42.7		1350
410	390	41.8		1320
400	380	40.1		1290
390	371	39.8		1255
380	361	28.8		1220
370	352	27.7		1190
360	342	36.6		1155
350	333	35.5		1125
340	323	34.4		1095
330	314	33.3		1060
320	304	32.2		1030
310	295	31		995
300	285	29.8	106.5	965
295	280	29.2		950
290	276	28.5	105.5	930
285	271	27.8		915
280	266	27.1	104.5	900
275	261	26.4		880
270	257	25.6	104.5	865
265	252	24.8		850
260	247	24	103.5	835
255	242	23.1		820
250	236	22.2	102	800
245	233	21.3		785
240	228	20.3	100	770
235	223	-		755
230	219	-	98.5	740

HV Vickers	HB brinell	Rockwell		Rm (N/mm <sup>2</sup> )
		HRC	HRB	
225	214	-		720
220	209	-	97	705
215	204	-		690
210	199	-	95.5	675
205	195	-		660
200	190	-	94	640
195	185	-		625
190	181	-	92	610
185	176	-		595
180	171	-	90	575
175	166	-		560
170	162	-	87	545
165	156	-		530
160	152	-	84	510
155	147	-		495
150	143	-	81	480
145	136	-		465
140	133	-	77	450
135	128	-		430
130	124	-	73	415
125	119	-		400
120	114	-	68	385
115	109	-		370
110	105	-	63	350
105	100	-		335
100	95	-	57	320
95	90	-		305
90	85	-		285
85	80	-		270
80	76	-		255



## EUROPE



### FRANCE

**NGK BERYLCO France**  
103 Quai Jean Pierre Fougerat, CS 20017,  
44220 Couëron, France  
Tel : +33 (0)2 40 38 67 50  
Fax: +33 (0)2 40 38 09 95

### ESPAGNE

**Massague Rep. Ind. SA**  
Calle la Ginesta, 6, Apt de Correos 47  
08 830 Sant Boi de Llobregat, España  
Tel: +34 93 640 0573  
Fax: +34 93 630 2865  
www.massaguesa.com

### GRANDE BRETAGNE

**NGK BERYLCO UK Ltd**  
Houston Park, Montford Street,  
Salford, M50 2RP, U.K.  
Tel: +44 (0)161-745-7162  
Fax: +44 (0)161-745-7520

### ALLEMAGNE

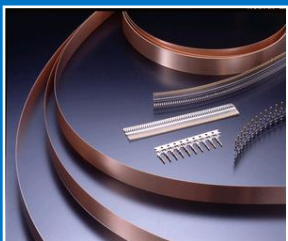
**NGK Deutsche BERYLCO GmbH**  
Westerbachstraße 32  
61476 Kronberg Im Taunus, Germany  
Tel: +49 (0) 6173 993 400  
Fax: +49 (0) 6173 993 401

### ITALIE

**Tecnicom**  
Via G. Passeroni, 6  
20135 MILANO, Italia  
Tel: +39 (0)2 45506240  
Fax: +39 (0)2 39304926  
Email: tecni\_com@tin.it

### TURQUIE

**Promak Pres Otomasyon San.**  
Perpa Ticaret merkezi B Block K11  
No:1987  
Okmeydani-34384 Istanbul, Türkiye  
Tel: +90 212 320 85 10  
Fax: +90 212 320 85 44  
Email: makgol@promakmakina.com  
www.promakmakina.com



## ASIE

### JAPON

**NGK INSULATORS Ltd**  
New Metal Division,  
Marunouchi Bldg.25F, 2-4-1, Marunouchi,  
Chiyoda-ku, Tokyo, 100-6235, Japan  
Tel: +81 (0)3-6213-8913  
Fax: +81 (0)3-6213-8973  
www.ngk-insulators.com  
www.ngk-global.com

### CHINE

**NGK INSULATORS Ltd**  
Shanghai Office,  
Dawning Centre Tower A Room 1902,  
No.500 Hongbaoshi Road,  
Shanghai 201103, China  
Tel: +86-021-3209-8870  
Fax: +86-021-3209-8871  
www.ngk-insulators.com

### CHINE

**NGK INSULATORS Investment Co Ltd**  
Shenzhen Branch  
Room.8, Level.15, Tower 2,  
Kerry Plaza, No.1 Zhong Xin Si Road,  
Futian District  
Shenzhen 518048, China  
Tel : +86-755-3304 -3178

## AMERIQUE

### USA

**NGK METALS Corporation**  
917 U.S. Highway 11 South,  
Sweetwater, TN 37874, USA  
Tel: +1 (800) 523-8268  
Fax: +1 (877) 645-2328  
www.ngkmetals.com

## INDE

### INDE

**NGK INSULATORS Ltd**  
New Delhi Liaison Office,  
601, 6th floor, DLF Place, A-4,  
District Centre, Saket  
New Delhi 110 017, India  
Tel: +91-11-4170-4020  
www.ngk-insulators.com

Distribué par :

*Pour plus d'informations, merci de visiter notre site internet*

[www.ngk-alloys.com](http://www.ngk-alloys.com)



EN 9100 • ISO 14001

