



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

① CH 664 376 A5

⑤ Int. Cl.4: C 22 C 9/06

**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET** A5

⑲ Numéro de la demande: 2529/85

⑳ Date de dépôt: 14.06.1985

㉑ Priorité(s): 22.06.1984 US 623463

㉒ Brevet délivré le: 29.02.1988

㉓ Fascicule du brevet  
publié le: 29.02.1988㉔ Titulaire(s):  
Brush Wellman Inc., Cleveland/OH (US)㉕ Inventeur(s):  
Church, Nathan L., Chagrin Falls/OH (US)  
Cribb, W. Raymond, Mentor/OH (US)  
Harkness, John C., Lakewood/OH (US)㉖ Mandataire:  
William Blanc & Cie conseils en propriété  
industrielle S.A., Genève⑤④ **Procédé de fabrication d'un article en alliage de cuivre-béryllium.**

⑤⑦ Ce procédé comprend les opérations suivantes, effectuées sur un alliage à base de cuivre, contenant de 0,05 à 0,5 % de béryllium et de 0,05 à 2 % de cobalt: traitement de mise en solution de l'alliage; travail à froid de l'alliage, jusqu'à un taux de réduction de section d'au moins 50 %, de préférence de 70 à 90 %, au moins; durcissement par revenu. Des articles et pièces en alliage ainsi traité présentent une combinaison excellente de propriétés, notamment en ce qui concerne la résistance au relâchement de tension, l'aptitude à la mise en forme, la ductilité, la conductivité et la résistance mécanique.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un article en alliage cuivre-béryllium, consistant en un alliage contenant de 0,05 à 0,5% de béryllium, de 0,05 à 0,2% de cobalt, le reste étant essentiellement constitué de cuivre, caractérisé en ce qu'il comprend les opérations suivantes: préparation de cet alliage dans un état forgé intermédiaire, traitement de mise en solution de cet alliage, effectué à une température comprise entre 790 et 1010° C, pendant une durée suffisante pour provoquer la recristallisation et la mise en solution solide de la partie des éléments d'alliage capable de contribuer au durcissement par précipitation, travail à froid final de l'alliage, ayant subi ce traitement de mise en solution, jusqu'à un taux de réduction de section d'au moins 50%, et revenu de l'alliage, ayant subi ce travail à froid, à une température comprise dans la gamme de 315 à 540° C, pendant une durée comprise entre moins d'une heure et environ 8 heures, de façon à provoquer son durcissement par précipitation, accompagné d'une augmentation substantielle de ses caractéristiques de résistance au relâchement de tension, ductilité, conductibilité et résistance mécanique.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'alliage contient de 0,2 à 0,5% de béryllium et de 0,2 à 2% de cobalt.

3. Procédé selon la revendication 1 et la revendication 2, caractérisé en ce que le traitement de mise en solution est effectué à une température comprise entre 815 et 930° C.

4. Procédé selon la revendication 1 et la revendication 2, caractérisé en ce que le traitement de mise en solution est effectué à une température comprise entre 870 et 900° C.

5. Procédé selon la revendication 1 et la revendication 2, caractérisé en ce que la teneur maximale en cobalt de l'alliage est de 1%.

6. Procédé selon la revendication 1 et la revendication 2, caractérisé en ce que la teneur de l'alliage en cobalt est de 0,5 à 1%.

7. Procédé selon la revendication 1 et la revendication 2, caractérisé en ce que le taux de réduction par travail à froid est au moins de 70%.

8. Article en alliage cuivre-béryllium, ayant une bonne aptitude à la mise en forme, de bonnes caractéristiques de ductilité et de conductibilité et une résistance mécanique élevée, contenant de 0,2 à 0,5% de béryllium et de 0,2 à 2% de cobalt, le reste étant essentiellement constitué de cuivre, obtenu par le procédé selon la revendication 1, caractérisé par une valeur de tension résiduelle d'au moins 80%.

9. Article selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il contient au plus 1% de cobalt.

10. Article selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il contient de 0,5 à 1% de cobalt.

11. Article selon la revendication 8, sous la forme d'un élément de contact.

## DESCRIPTION

La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un article en alliage cuivre-béryllium. Ce procédé comprend un traitement métallurgique d'alliages de cuivre forgés, plus spécifiquement d'alliages contenant de petites quantités, interdépendantes, de béryllium et de cobalt, afin de produire des articles utiles ayant une combinaison améliorée de résistance au relâchement de tension, aptitude à la mise en forme, conductibilité et résistance mécanique.

Des alliages de cuivre-béryllium ont été utilisés commercialement, depuis cinquante ans environ, dans des applications dans lesquelles on requiert de hautes propriétés de résistance mécanique, aptitude à la mise en forme, résistance au relâchement de tension et conductibilité. Les alliages commerciaux cuivre-béryllium comprennent les alliages forgés portant les désignations suivantes de la «Copper Development Association»: C17500, C17510, C17000, C17200 et C17300. Le développement général des alliages béryllium-cuivre s'est effectué dans le sens de la recherche de caractéristiques

élevées, c'est-à-dire des résistances mécaniques les plus élevées, des meilleures conductivités et autres propriétés souhaitables, en mettant à profit les caractéristiques de durcissement par précipitation de ces alliages. C'est ainsi que les brevets U.S. N<sup>os</sup> 1.893.984, 1.957.214, 1.959.154, 1.974.839, 2.131.475, 2.16.794, 2.167.684, 2.172.639 et 2.284.593 décrivent différents alliages forgés contenant des quantités variées de béryllium et autres éléments.

Au cours de la cinquantaine d'années écoulée depuis la délivrance des brevets susmentionnés, des genres d'industries complètement nouveaux sont apparus, et de nouveaux cahiers des charges se sont imposés aux producteurs d'alliages. Ainsi, les cahiers des charges des industries de l'électronique et de l'informatique étaient inconnus dans les années 30. La tendance à la miniaturisation en électronique et dans l'industrie des ordinateurs n'est apparue et ne s'est accentuée qu'au cours de ces dernières années. Dans le domaine des pièces de raccordement électriques du type à ressort, ainsi que des contacts, la complexité requise pour les appareils, ainsi que les exigences relatives à la dissipation thermique et en ce qui concerne l'aptitude des parties constitutives à supporter des températures élevées sans présenter de défauts résultant du relâchement de tension, se sont accentuées. En outre, les acheteurs sont devenus de plus en plus attentifs aux prix, et on a utilisé des alliages pour contacts, tels que les bronzes au phosphore, en raison de considérations portant sur leurs prix, en dépit du fait que les performances inférieures de tels alliages, notamment leurs moins bonnes propriétés de conductivité et d'aptitude à la déformation, ainsi que leur moindre résistance au relâchement de tension, par rapport aux alliages béryllium-cuivre, étaient connues. En outre, les exigences portant sur l'aptitude à la mise en forme, qui joue un rôle important lors de la fabrication d'articles de formes complexes, à partir de ruban ou de fil, en utilisant des techniques d'emboutissage par série de matrice, ainsi que d'autres techniques de mise en forme, ont augmenté les difficultés imposées aux fabricants d'alliages, par rapport à celles rencontrées à l'époque de la délivrance du brevet U.S. N<sup>o</sup> 2.131.475, dans lequel on décrit une électrode de soudage simplement constituée par un barreau métallique forgé ou coulé devant résister au «champignonage» (écrasement) sous charge, mais à laquelle on n'imposait pas d'exigence relative à l'aptitude à la mise en forme.

Dans les procédés de production d'articles conformés forgés (c'est-à-dire rubans, plaques, fils, tiges, barreaux, tubes, etc.) en alliage cuivre-béryllium, conformés à l'art antérieur, on a généralement mis l'accent sur l'utilisation d'alliages à performance élevée, contenant du béryllium, et ayant des teneurs importantes en un troisième élément, dont la composition rappelle celle des alliages commerciaux C17500, C17510 et C17200. Généralement, ces procédés comprennent les opérations de préparation de l'alliage à l'état fondu, coulée d'un lingot, transformation du lingot en un article conformé forgé, par travail à chaud et/ou à froid, en effectuant éventuellement des recuits intermédiaires afin de maintenir l'aptitude de ces alliages à la déformation, en vue de permettre leur mise en forme, mise en solution par recuit des objets conformés forgés, en les chauffant à une température suffisante pour provoquer la recristallisation de l'alliage et la mise en solution solide du béryllium dans la matrice de cuivre, suivies d'une trempe rapide de l'alliage afin de maintenir le béryllium en solution solide sursaturée, travail à froid éventuel de l'objet conformé forgé avec un taux de déformation prédéterminé, afin d'augmenter la dureté obtenue ultérieurement par durcissement par revenu, suivi du durcissement par revenu des objets conformés forgés ayant subi le travail à froid éventuel, ce durcissement par revenu étant effectué à des températures inférieures à celles de la mise en solution par recuit, afin d'obtenir des combinaisons intéressantes de résistance mécanique et ductilité. Cet état de la technique est illustré dans les brevets U.S. N<sup>os</sup> 1.893.984, 1.959.154, 1.974.839, 1.975.113, 2.027.850, 2.527.983, 3.196.006, 3.138.493, 3.240.635, 4.179.314 et 4.425.168, qui indiquent également que les gammes optimales de mise en solution par recuit et de revenu dépendent de la composition de l'alliage, et que l'on peut effectuer le durcissement par revenu soit avant, soit après la mise sous forme d'un

article industriel (par exemple, un ressort conducteur électrique, une électrode de soudage sous pression ou un article similaire) par des techniques bien connues de mise en forme des métaux de l'article conformé forgé ayant subi le traitement de mise en solution par recuit et le travail à froid éventuel.

Les alliages à base de cuivre de l'art antérieur qui ne sont pas susceptibles d'être durcis par revenu (tels que les bronzes au phosphore C51000 et C52100), et qui ne doivent leur dureté qu'au seul durcissement par travail, sont fréquemment soumis à un travail à froid allant nettement au-delà d'un taux de réduction de section de 50%, afin d'obtenir des niveaux de résistance mécanique entrant en ligne de compte pour des alliages commerciaux. Dans le cas des alliages cuivre-béryllium de l'art antérieur, le travail à froid final effectué entre la mise en solution par recuit et le durcissement par revenu, mis à part celui qui accompagne les opérations éventuelles de mise en forme du métal lors de la fabrication de pièces, est généralement maintenu à des niveaux inférieurs à un taux de réduction de l'ordre de 50%. C'est ainsi que les brevets U.S. N<sup>os</sup> 3.138.493, 3.196.006, 4.179.314 et 4.425.168 décrivent des procédés impliquant des taux de réduction par travail à froid compris entre une valeur minimale de 3% et une valeur maximale de 42%, avant le durcissement par revenu. Une explication de cette limitation du travail à froid dans les alliages commerciaux cuivre-béryllium de l'art antérieur est donnée dans un article publié en 1982 sous le titre «Wrought Beryllium Copper» («Alliage béryllium-cuivre forgé») par la société Brush Wellman Incorporated, qui montre que la ductilité à l'état laminé (et, par conséquent, l'aptitude à la déformation — rayon minimum de courbure sans fissuration lorsque l'échantillon subit un pliage à 90° ou 180° lors d'une opération de mise en forme) tombe à des niveaux inacceptables du point de vue commercial lorsque le travail à froid avant revenu s'élève au-delà d'un taux de réduction de l'ordre de 40%, et que la résistance mécanique après durcissement par revenu faisant suite au travail à froid présente une valeur maximale relative pour un taux de réduction à froid de l'ordre de 30 à 40%; mais diminue aux valeurs plus élevées de travail à froid lorsque les alliages subissent un revenu aux températures recommandées commercialement.

Une demande de brevet déposée aux U.S.A. sous le N<sup>o</sup> 550.631, au nom de Amitava Guha, et dont la titulaire est la société Brush Wellman Inc., décrit un procédé pour améliorer l'alliage commercial cuivre-béryllium-nickel C17510, comprenant le travail à froid jusqu'à un taux de réduction de l'ordre de 90%, constituant une étape intermédiaire menant à un traitement de mise en solution par recuit formant des précipités spéciaux riches en nickel, ainsi qu'à une opération de durcissement par revenu à basse température, le tout ayant pour but d'engendrer des combinaisons de résistance mécanique et de conductivité électrique qu'il était impossible d'obtenir auparavant dans l'alliage C17510 sans sacrifier, ou en ne diminuant que très peu, l'aptitude à la mise en forme et la résistance au relâchement de tension.

La propriété de relâchement de tension est un paramètre de construction important, qui peut donner au constructeur l'assurance qu'un contact ou une pièce de connexion donnés, ou un dispositif du même genre, conservera la pression de contact requise, afin d'assurer à l'ensemble comprenant ce dispositif une longue durée de vie. Le relâchement de tension est défini par la diminution de l'effort, pour une déformation constante, en fonction du temps, à une température donnée. La connaissance du comportement du relâchement de tension d'un matériau permet à un constructeur de déterminer dans quelle mesure il y a lieu d'augmenter la force du ressort à température ambiante pour assurer une force minimale donnée à la température de fonctionnement, en vue de maintenir le contact électrique entre les parties qui collaborent entre elles, pendant une longue durée.

On sait que les plus forts parmi les alliages aptes au durcissement par revenu, contenant du béryllium, tel que le C17200, qui contient environ 2% de béryllium, ont une résistance élevée au relâchement de tension. D'autre part, les bronzes au phosphore, qui sont nota-

blement meilleur marché, tels que les alliages C51000 et C52100, qui ne sont pas aptes au durcissement par revenu et doivent être fortement travaillés à froid pour obtenir des résistances mécaniques élevées, présentent de mauvaises caractéristiques en ce qui concerne la résistance au relâchement de tension.

Dans la présente description, la résistance au relâchement de tension est déterminée en effectuant l'essai décrit dans l'article intitulé «Stress Relaxation of Beryllium Copper Strip in Bending» («Relâchement de tension d'un ruban de béryllium-cuivre au pliage»), présenté par Harkness et Lorenz à la 30<sup>e</sup> conférence annuelle sur les relais, Stillwater, Oklahoma, 27-28 avril 1982. Conformément à cet essai, on place des échantillons de ressorts plats, se rétrécissant progressivement sur une longueur étalon, dans une pièce de fixation, avec un niveau initial de tension constant, et on soumet ces échantillons, avec la pièce de fixation sous tension, à une température élevée, par exemple 150° C, pendant une durée prolongée. On prélève périodiquement un échantillon, et on le mesure en vue de déterminer l'allongement permanent subi par le matériau, à partir duquel on peut calculer le pourcentage de tension résiduelle.

On détermine l'aptitude à la mise en forme en pliant un échantillon de bande plate autour d'un poinçon ayant une tête dont le rayon de courbure varie de manière connue, en notant la rupture de l'échantillon au point d'apparition de fissures dans les fibres extérieures de la pliure. Cet essai permet d'attribuer une valeur d'essai à partir de la quantité  $R/t$ , dans laquelle «R» est le rayon de la tête de poinçon, et «t» l'épaisseur de la bande. Cette valeur peut être utilisée par les constructeurs afin de déterminer si un matériau particulier peut être mis en forme selon la géométrie désirée dans une pièce donnée.

La présente invention fournit un procédé permettant de produire un alliage cuivre-béryllium apte au durcissement par revenu, et ayant une résistance au relâchement de tension se rapprochant beaucoup de celle des plus forts alliages cuivre-béryllium commerciaux, ainsi qu'une grande aptitude à la mise en forme et une haute ductilité, une conductivité élevée et une résistance mécanique utile.

Le procédé selon l'invention présente les caractéristiques spécifiées dans la revendication 1, des caractéristiques éventuelles avantageuses, ainsi que des applications de ce procédé, étant spécifiées dans les revendications subordonnées à la revendication 1.

L'invention sera mieux comprise grâce à la description détaillée qui va suivre, faite à titre d'exemple non limitatif, de la mise en œuvre de l'invention, en se référant au dessin annexé, dans lequel:

la figure 1 montre l'influence du travail à froid dans le domaine de réduction de section compris entre 0 et 72%, sur la résistance mécanique et la ductilité du ruban en alliage selon l'invention, qui contient 0,35% de béryllium, 0,25% de cobalt, le reste étant essentiellement constitué de cuivre, ayant subi un traitement de mise en solution par recuit à 1010° C, aussi bien à l'état laminé qu'après laminage à froid suivi d'un durcissement par revenu de 3 heures à 400° C;

la figure 2 montre la résistance mécanique et la ductilité, aussi bien avec une orientation longitudinale que pour l'orientation transversale, du ruban, dans le même alliage que celui illustré à la figure 1, après recuit de mise en solution à 930° C, laminage à froid avec des taux de réduction de section variés, compris entre 50 et 96%, et durcissement par revenu pendant 5,5 heures à 400° C;

la figure 3 montre l'influence de la variation des températures de durcissement par revenu, de 315 à 450° C, pour une durée de revenu fixe de 3 heures, sur la dureté de ruban constitué en divers alliages cuivre-cobalt-béryllium, de compositions comprises dans la gamme selon l'invention, après recuit de mise en solution, pour diverses températures comprises dans la gamme de 870 à 1000° C, et laminage à froid, avec un taux de réduction de section de 72%;

la figure 4 montre l'influence de la durée de revenu pour une température de revenu fixe de 400° C sur la dureté de ruban fabriqué en divers alliages de compositions comprises dans la gamme selon l'invention, après recuit de mise en solution à 900° C, et laminage à froid avec un taux de réduction de section de 90%;

la figure 5 montre la variation de l'aptitude à la déformation en fonction de la résistance mécanique, dans les directions longitudinale et transversale, de rubans fabriqués en un alliage de composition comprise dans la gamme selon l'invention, contenant 0,3% de béryllium, 0,25% de cobalt, le reste étant essentiellement constitué de cuivre, ayant subi un recuit de mise en solution à 900° C et un laminage à froid avec des taux de réduction de section de 72 et 90%, aussi bien à l'état tel que laminé qu'à l'état résultant du laminage à froid suivi d'un durcissement par revenu de 5 heures à 400° C, en comparaison avec un alliage selon l'art antérieur, ne se prêtant pas au durcissement par précipitation, par exemple le bronze de phosphore C51000, et

la figure 6 montre la courbe de relâchement de tension à une température de 150° C, et pour une tension initiale correspondant à 75% de la limite élastique 0,2%, pour des rubans fabriqués en alliages selon l'invention, comprenant de 0,3% à 0,5% de béryllium, 0,25% de cobalt, le reste étant essentiellement constitué de cuivre, ayant subi un recuit de mise en solution et un laminage à froid, conformément au procédé selon l'invention, soumis à un essai aussi bien sans qu'avec durcissement par revenu final. Des indications concernant les alliages à base de cuivre de l'art antérieur, par exemple les alliages C17200 et C52100, sont données à titre comparatif.

L'invention porte donc sur le traitement d'alliages cuivre-béryllium, contenant de 0,05%, environ, à environ 0,5% de béryllium, et de 0,05%, environ, à environ 2% de cobalt, ce traitement comprenant une opération selon laquelle on soumet cet alliage à un recuit de mise en solution dans la gamme de températures de 790 à 1010° C, environ, de préférence comprise entre 870 et 930° C, environ, et l'on soumet ensuite l'alliage à un travail à froid, de façon à réduire l'épaisseur de sa section d'au moins 50%, environ, et de préférence d'au moins environ 70 à 95%, et à un durcissement par revenu dans la gamme de températures de l'ordre de 315 à environ 540° C, afin de conférer à l'alliage ainsi vieilli une combinaison élevée de propriétés de résistance au relâchement de tension, aptitude à la mise en forme, ductilité, conductivité et résistance mécanique.

L'invention est fondée sur la découverte du fait que les alliages béryllium-cuivre ayant de faibles teneurs, bien définies, de béryllium et de cobalt, sont capables d'acquies des combinaisons très utiles de résistance au relâchement de tension, aptitude à la mise en forme et ductilité, conductivité et résistance mécanique, lorsqu'ils sont soumis à un traitement comprenant une combinaison de traitements de mise en solution, travail à froid sévère et revenu. Plus précisément, on a découvert que, si l'on soumet ces alliages à un durcissement par revenu effectué après un travail à froid dépassant un taux de réduction de section d'environ 50%, la résistance mécanique, mesurée par la limite élastique 0,2%, et la ductilité, mesurée par l'allongement à la traction, augmentent considérablement lorsque le taux de travail à froid augmente jusqu'à un taux de réduction d'environ 95% ou davantage, en comparaison avec le matériau vieilli ayant subi un travail à froid inférieur à 50%. Les alliages contiennent de 0,05%, environ, à 0,5%, environ, de béryllium, et de 0,05%, environ, à 2%, environ, de cobalt, et le traitement qui est appliqué après tout travail à chaud ou à froid éventuellement nécessaire pour transformer le lingot coulé en un article conformé intermédiaire de dimensions appropriées, comprend un traitement de mise en solution effectué dans la gamme de températures de 790° C, environ, à 1010° C, environ, de préférence entre 870 et 930° C, environ, suivi par un travail à froid, consistant, par exemple, en un laminage, de façon à réduire la section de l'article conformé intermédiaire d'au moins environ 50% jusqu'à 70 à 95%, ou davantage, suivi d'un revenu de l'article conformé obtenu par travail à froid, effectué dans la gamme de températures de 315° C, environ, à 540° C, environ, pendant une durée comprise entre moins d'une heure, environ, et environ 8 heures. Ce traitement diffère du traitement subi par les alliages de béryllium commerciaux, en ce qui concerne le taux de travail à froid appliqué aux alliages avant le revenu.

Le traitement impartit aux alliages qui ont des teneurs en éléments d'alliages faibles, en comparaison avec les alliages cuivre-béryllium forgés produits dans le commerce, une combinaison de propriétés utiles et tout à fait inattendues. En particulier, les alliages présentent une combinaison supérieure de résistance au relâchement de tension, aptitude à la mise en forme, ductilité et conductivité, en comparaison avec les alliages existants du type bronze et laiton, par exemple les bronzes de phosphore, ayant une résistance mécanique similaire.

Les alliages peuvent être coulés sous forme de lingots, en utilisant les techniques de coulée classiques, statiques, semi-continues ou continues. Les lingots peuvent être convenablement travaillés, sans difficulté, par exemple par laminage à chaud ou à froid. On peut avoir recours à des recuits effectués à des températures comprises entre 540° C, environ, et 955° C. Après réduction du lingot aux dimensions intermédiaires désirées, à partir desquelles on peut lui imposer une réduction à froid jusqu'à la forme finale désirée, avec un taux prédéterminé de travail à froid, on effectue un recuit de mise en solution. Le recuit de mise en solution est effectué à des températures allant de 790° C ou 815° C, environ, à 930° C à 1000° C, environ. Les températures les plus basses ne permettent pas d'obtenir la recristallisation complète dans le cas de certains alliages, alors que des températures intermédiaires fourniront une granulométrie plus fine, ainsi qu'une meilleure aptitude à la mise en forme, accompagnées toutefois d'une résistance mécanique inférieure. Il peut se produire une croissance indésirable de grains dans le cas de certains alliages ayant une composition comprise dans la gamme susmentionnée, dans le cas où l'on a recours à un traitement de mise en solution à 900° C ou à température supérieure, mais, dans ce cas, la résistance mécanique augmente, sans grandes variations de la conductivité. On soumet ensuite le matériau ayant subi le traitement de mise en solution à un travail à froid pratiquement jusqu'à la dimension finale, par exemple par laminage, extrusion, ou tout autre procédé de déformation de métal, afin de réduire sa section d'au moins 50%, environ, et, de préférence, d'au moins 70 à 90% ou davantage. On soumet ensuite le matériau ayant subi le travail à froid à un revenu effectué à une température comprise dans la gamme de 315° C à 540° C, environ, pendant une durée comprise entre moins d'une heure et 8 heures, environ.

Le revenu effectue aussi bien un durcissement par précipitation qu'un traitement thermique de suppression des tensions. L'effet du revenu est d'augmenter la résistance mécanique, tout en augmentant également notablement la ductilité et la résistance au relâchement de tension de l'alliage. L'aptitude à la mise en forme est également notablement accrue. Pour des températures de revenu inférieures à 480° C, environ, on utilise des durées de revenu au moins comprises entre environ une heure et environ 7 heures, alors que les températures de revenu supérieures requièrent une durée de revenu d'environ une heure ou moins. Les teneurs inférieures en béryllium requièrent également des durées de revenu plus longues que les teneurs plus élevées en béryllium, afin d'obtenir les caractéristiques désirées.

On va maintenant donner des exemples:

On a produit une série d'alliages ayant les compositions indiquées au tableau I, sous forme de lingots. On a transformé les lingots en rubans de section intermédiaire par laminage à chaud et à froid en effectuant des recuits intermédiaires éventuels. On a ensuite soumis les rubans ainsi travaillés à des recuits de mise en solution à 900° C ou 930° C pendant des durées de l'ordre de 15 minutes, ou moins, à ces températures, suivis d'une trempe rapide à la température ambiante. On a ensuite soumis les rubans ayant subi le recuit de mise en solution à un laminage à froid jusqu'à une réduction de section de 90%, et à un durcissement par revenu à 400° C, pendant les durées indiquées. On a déterminé les propriétés d'allongement sous tension, dureté et conductivité, et on a reporté les résultats d'essais de déformation par pliage à 90°, et d'essais de relâchement de tension effectués à une température de 150° C, pour une tension initiale correspondant à 75% de la limite élastique 0,2%.

Le tableau II comprend les résultats obtenus à partir de rubans constitués de certains des alliages du tableau I, et de compositions supplémentaires comprises dans les gammes de composition des alliages selon l'invention, ces rubans ayant été traités de la même manière que ceux indiqués au tableau I, mis à part le fait qu'ils ont subi un laminage à froid avec un taux de 72% et un revenu à 400° C. Le tableau III indique les résultats obtenus pour certains de ces alliages ayant subi un laminage à froid de 50%, préalablement à l'opération de revenu à 400° C.

Conformément à un autre exemple, dans lequel on utilise une température finale de revenu plus élevée, avec une durée de revenu plus courte que celle indiquée ci-dessus, on a trouvé qu'un alliage contenant 0,34% de béryllium et 0,25% de cobalt, le reste étant du cuivre, présente, lorsqu'il a été soumis à un recuit de mise en solution à 900° C, un laminage à froid de 90% et un revenu d'une minute

à 540° C, une résistance à la traction finale de 662 MPa, une limite élastique 0,2% de 607 MPa, un allongement de 11%, une dureté Rockwell ayant la valeur B90, une conductivité électrique de 43% selon les normes I.A.C.S., et une aptitude à la mise en forme dans le sens longitudinal, R/t, ayant la valeur zéro.

Dans un autre exemple, on a trouvé qu'un alliage contenant 0,31% de béryllium, 0,50% de cobalt, reste cuivre, a présenté, après recuit de mise en solution et travail à froid comme dans l'exemple précédent, suivis d'un recuit de 20 minutes à 455° C, une résistance à la traction finale de 745 MPa, une limite élastique 0,2% de 696 MPa, un allongement de 13%, une dureté Rockwell ayant la valeur B95, une conductivité électrique de 51%, selon les normes I.A.C.S., et une aptitude à la déformation dans le sens longitudinal, R/t, ayant la valeur zéro.

Tableau I

Lot N°	Composition		Recuit (°C)	Durée de revenu à 400°C (h)	Résistance à l'allongement finale (MPa)	Limite élastique 0,2% (MPa)	Allongement %	Dureté R <sub>B</sub>	Conductivité électrique % IACS	Min. 90° R/t		Pourcentage de tension résiduelle après 1000 h à 150° C
	% Be	% Co								Long.	Trans.	
1	0,06	0,05	900	7	386	345	9	56	78	0	—	—
2	0,08	0,11	900	7	483	448	9	79	69	0,8	—	—
3	0,14	0,20	900	5	579	517	11	91	57	—	—	—
4	0,13	0,96	900	5	669	627	12	94	46	—	—	—
5	0,12	1,88	900	7	634	600	12	84	38	0	—	—
6	0,23	0,24	900	7	689	627	11	—	63	0,7	—	—
7	0,21	0,32	900	7	752	703	10	99	62	0	—	—
8	0,29	0,26	900	5	737	676	9	98	55	1,5	6,0	88
9	0,31	0,25	930	5	758	696	11	95	41	0	6,4	85
10	0,30	0,49	930	5	869	827	7	101	55	0,6	—	—
11	0,28	1,21	900	7	—	—	—	100	55	—	—	—
12	0,29	1,80	900	7	800	779	11	97	47	0	—	—
13	0,50	0,25	900	3	758	703	12	99	42	0	4,6	76
14	0,50	0,50	900	5	745	676	13	98	44	—	—	—
15	0,48	1,21	900	0,5	928	894	6	102	45	2,1	—	—
16	0,47	1,80	900	5	928	894	7	102	54	3,2	—	—

Tableau II

Lot N°	Composition		Recuit (°C)	Durée de revenu à 400°C (h)	Résistance à l'allongement finale (MPa)	Limite élastique 0,2% (MPa)	Allongement %	Dureté R <sub>B</sub>	Conductivité électrique % IACS	Min. 90° R/t		Pourcentage de tension résiduelle après 1000 h à 150° C
	% Be	% Co								Long.	Trans.	
3	0,14	0,20	900	7	448	393	11	76	68	—	—	—
4	0,13	0,96	900	5	614	552	14	89	48	—	—	—
6	0,23	0,24	900	5	669	593	12	94	63	—	—	—
7	0,21	0,32	900	5	717	648	12	97	61	—	—	—
9	0,31	0,25	930	5	710	662	5	94	48	1,3	5,6	—
17	0,41	0,25	900	5	696	641	10	100	42	—	—	—
18	0,38	1,01	900	3	882	827	9	100	52	—	—	—
13	0,50	0,25	900	3	724	648	8	98	40	1,0	9,0	88

Tableau III

Lot N°	Composition		Recuit (°C)	Durée de revenu à 400°C (h)	Résistance à l'allongement finale (MPa)	Limite élastique 0,2% (MPa)	Allongement %	Dureté R <sub>B</sub>	Conductivité électrique % IACS	Min. 90° R/t		Pourcentage de tension résiduelle après 1000 h à 150° C
	% Be	% Co								Long.	Trans.	
9	0,31	0,25	930	5,5	655	607	4	87	46	1,4	2,4	—
13	0,50	0,25	900	3	689	607	11	97	41	0,5	1,0	82

Le rôle joué par le traitement de revenu final sur l'amélioration des propriétés de ces alliages ayant subi un recuit de mise en solution et un laminage à froid sévère est démontré à la figure 1, dans laquelle on observe une amélioration de presque 50% de la résistance mécanique, et un doublement de la ductilité dans le cas d'un ruban en alliage contenant 0,35% de béryllium, 0,25% de cobalt, le reste étant essentiellement constitué de cuivre, ayant subi un laminage à froid de 72%, lorsqu'on effectue un revenu à 400° C; et il est en outre illustré à la figure 6, d'après laquelle on voit qu'un ruban en alliage contenant 0,31% de béryllium, 0,25% de cobalt, le reste étant essentiellement constitué de cuivre, cet alliage ayant subi un laminage à froid de 90%, sans revenu, présente une perte 2½ fois plus élevée de sa tension, à partir d'une tension initiale correspondant à 75% de la limite élastique 0,2%, après une durée d'exposition de 1000 heures à une température de 150° C, qu'un ruban identique ayant subi un revenu à 400° C. La résistance au relâchement de tension des alliages recuits, travaillés à froid et soumis à un revenu, selon l'invention, approche celle des alliages de l'art antérieur les plus résistants ayant subi un durcissement par précipitation, par exemple l'alliage C17200, alors que les alliages ayant une composition entrant dans la gamme de la présente invention se comportent, avant durcissement par revenu, de manière similaire aux alliages de l'art antérieur travaillés à froid, non susceptibles de durcissement par précipitation, tels que les alliages C51000 et C52100.

L'examen de ces exemples met en évidence le fait qu'au moins une composition de l'ordre de 0,15% à environ 0,2% de béryllium et environ 0,1% de cobalt, le reste étant du cuivre, est nécessaire pour l'obtention des combinaisons désirées d'une conductivité électrique supérieure à environ 40% selon les normes I.A.C.S., et d'une résistance mécanique supérieure à environ 480 MPa, en ce qui concerne la limite élastique 0,2%, pour des alliages soumis au traitement selon l'invention, et qu'on n'obtient pas d'amélioration notable de résistance mécanique allant au-delà d'environ 900 MPa, pour des teneurs en béryllium allant au-delà d'environ 0,5%, et des teneurs en cobalt allant au-delà d'environ 1,8% à environ 2%, le reste étant du cuivre, pour des alliages soumis au traitement selon l'invention. D'autre part, on peut obtenir des conductivités électriques très élevées, dépassant une valeur d'environ 60%, selon les normes I.A.C.S., avec de faibles limites élastiques ayant une valeur au moins égale à environ 345 MPa, avec des alliages ayant des teneurs aussi faibles que 0,05% de béryllium et 0,05% de cobalt, le reste étant du cuivre, ayant subi le traitement selon l'invention.

Des articles conformés forgés, ayant subi le traitement selon l'invention, sont utiles en tant que ressorts conducteurs électriques, ressorts mécaniques, diaphragmes, lames d'interrupteurs, contacts, pièces de connexion, bornes, ressorts de fusibles, soufflets, pointes de poinçon pour coulée en matrice, coussinets à manche outils de moulage en matière plastique, constituants de matériel pour le forage pétrolier ou charbonnier, électrodes de soudage par résistance et leurs constituants, cadres de conducteurs électriques, etc.

En plus des articles utiles fabriqués à partir de rubans, plaques, tiges, barreaux et tubes en alliages mis sous leur forme finale par le traitement de recuit, travail à froid et durcissement par revenu selon l'invention, d'autres manières de fabriquer de tels articles entrent également dans le cadre de l'invention. C'est ainsi que l'on peut préparer, conformément à l'invention, des rubans ou fils revêtus, liés par laminage ou incrustés, dans lesquels on effectue une jonction métallurgique d'une couche d'une première substance métallique forgée, par exemple un alliage à base de cuivre, un alliage à base de nickel, un alliage à base de fer, un alliage à base de chrome, un alliage à base de cobalt, un alliage à base d'aluminium, un alliage à base d'argent, un alliage à base d'or, un alliage à base de platine ou un alliage à base de palladium, ou une combinaison quelconque d'au moins deux de ces alliages, sur un substrat consistant en une seconde substance métallique constituée d'un alliage cuivre-béryllium selon l'invention, la fabrication de ces articles étant effectuée en plaçant la ou les couches de la première substance, ou des premières substances métalliques, en contact avec une surface convenablement nettoyée de la seconde substance métallique ayant subi un recuit de mise en solution, suivi du laminage à froid (ou, dans le cas d'un fil, d'un étirage) des substances métalliques superposées, avec un taux de réduction sévère, compris dans la gamme selon l'invention, par exemple de 50 à 70%, ou même de 90% ou davantage, de façon à effectuer un soudage à froid, suivi d'un durcissement par revenu du ruban ou fil à plusieurs couches, conformément à l'invention, par exemple à une température de 315 à 540° C, pendant une durée comprise entre moins d'une heure et 8 heures, environ, de façon à obtenir une combinaison souhaitable de résistance mécanique, ductilité, aptitude à la mise en forme, conductivité et résistance au relâchement de tension, dans le substrat constitué par le matériau en alliage cuivre-béryllium.

En outre, on peut fabriquer des articles utiles en alliages selon l'invention en produisant pratiquement la forme finale de l'article par un travail à froid énergique, par exemple par forgeage à froid, emboutissage à froid, étampage à froid ou façonnage à froid, du ruban, plaque, tige, barreau, fil, ou pièce de forgeage, ayant subi un recuit de mise en solution, et, éventuellement, un laminage à froid partiel ou un forgeage par étirage, jusqu'à ses dimensions finales, de façon à atteindre un degré total de travail à froid dans l'alliage selon l'invention, par exemple de 50% à environ 70% ou 90%, ou davantage, suivi d'un durcissement par revenu de l'article formé à froid selon sa forme finale, conformément à l'invention, par exemple de 315 à 540° C, pendant une durée comprise entre moins d'une heure et environ 8 heures, de façon à conférer aux articles finalement obtenus des combinaisons désirables de propriétés conformément à l'invention.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits, et il est clair que de nombreuses variantes et modifications peuvent être envisagées, tout en restant dans le cadre de l'invention.

0.35 Be, 0.25 Co, BAL. Cu

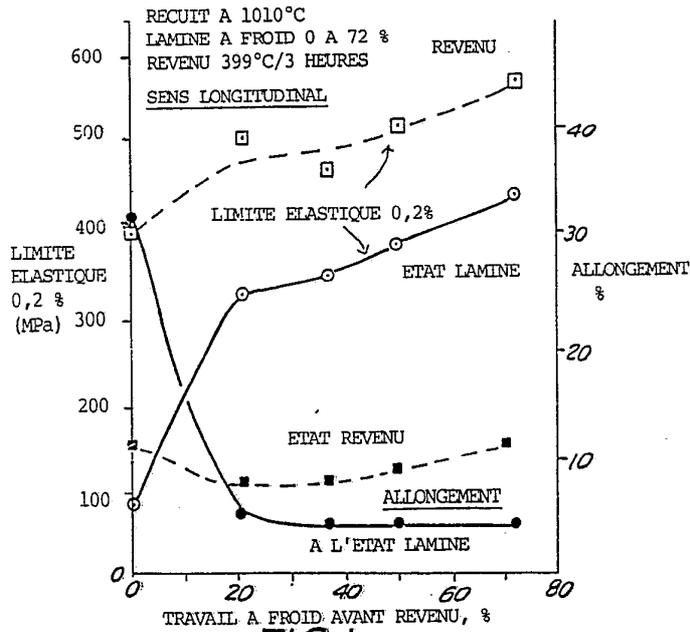


FIG. 1

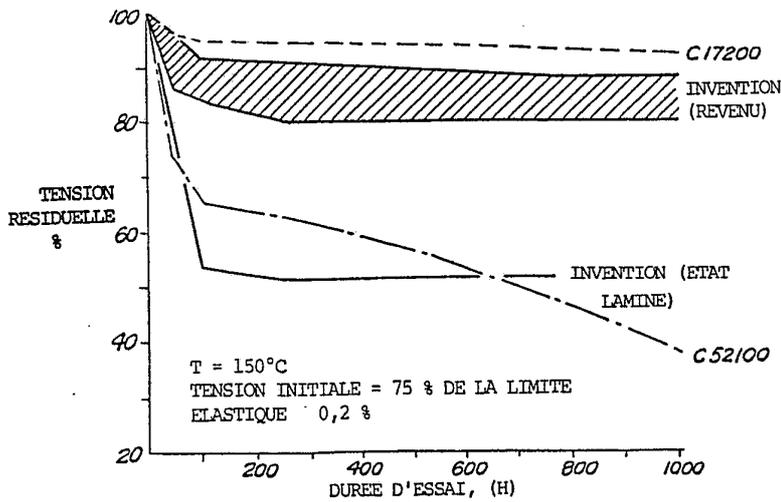


FIG. 6

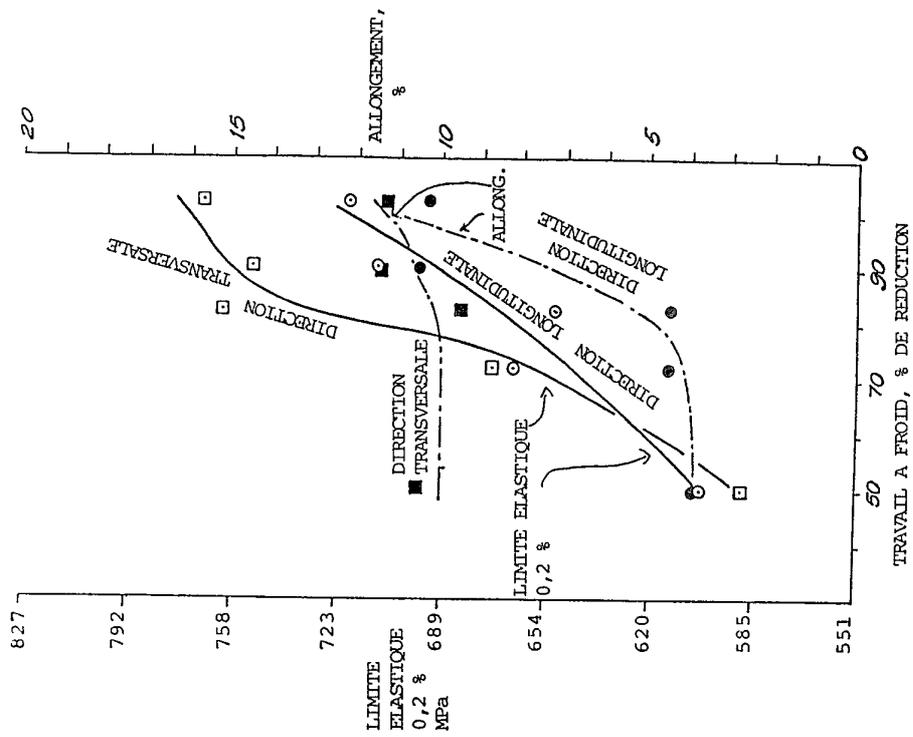


FIG.2

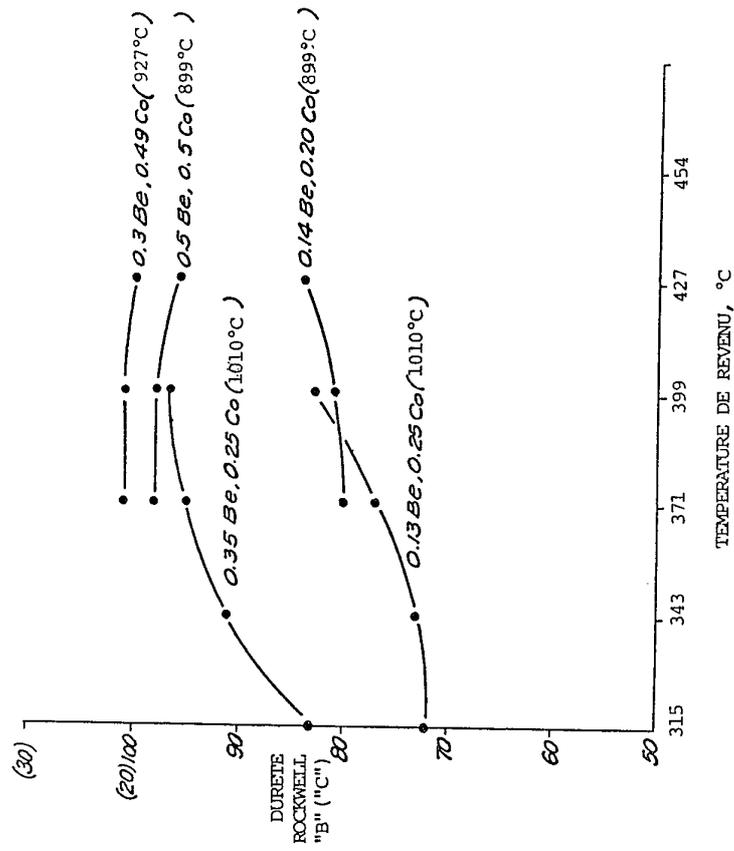


FIG.3

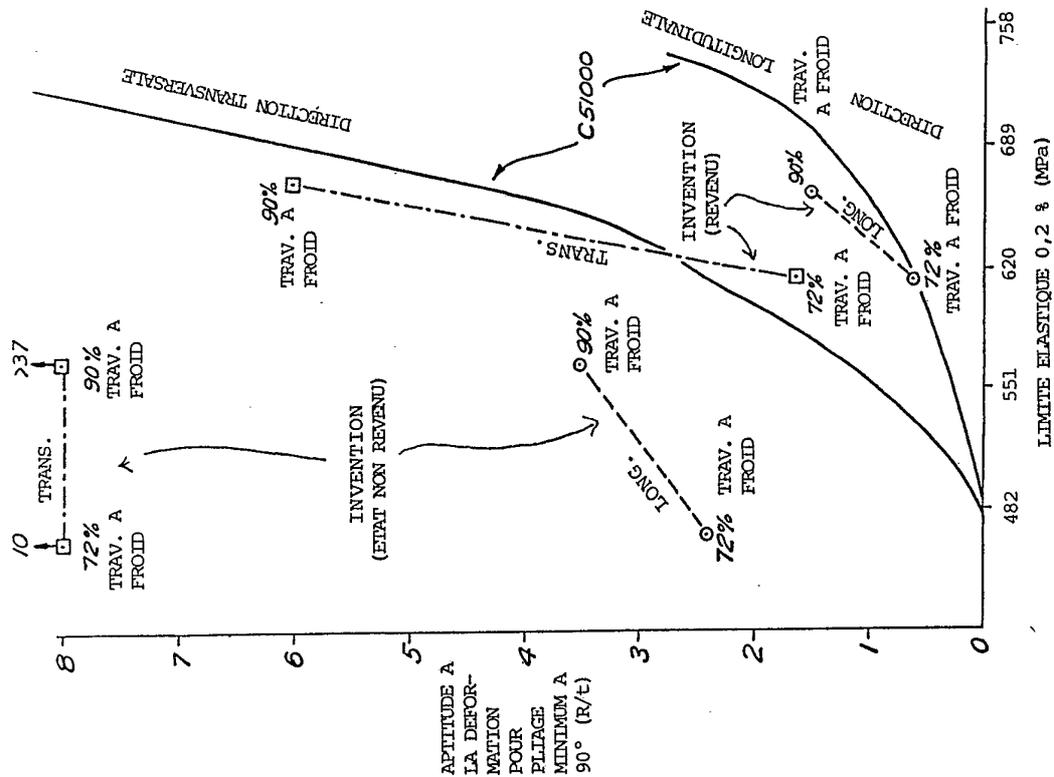


FIG.5

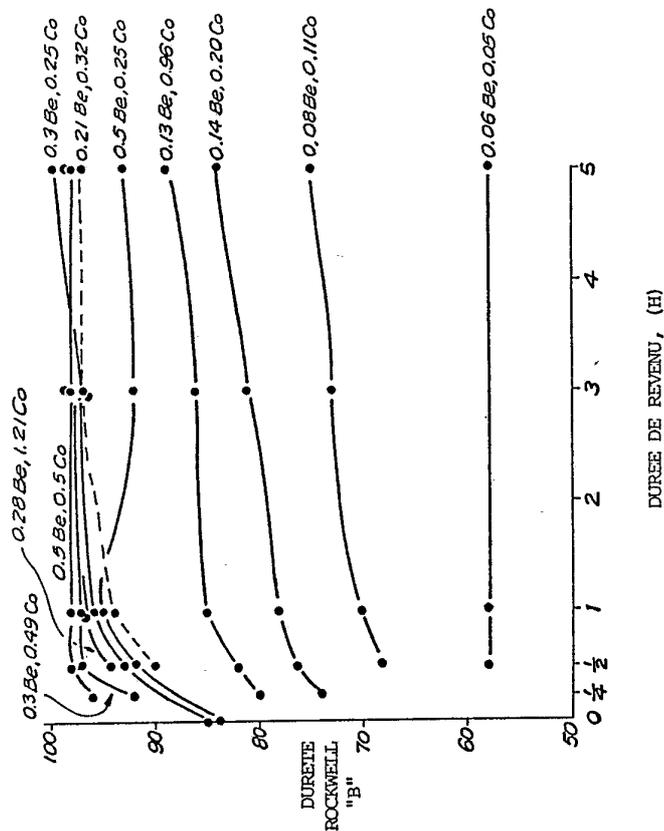


FIG.4