

Un alliage léger comme l'aluminium et solide comme le titane

03 juillet 2015, 02:00

Kurt Beghyn

Un alliage à haute entropie récemment développé possède un rapport solidité-poids plus important que tout autre métal existant. L'association de ces deux propriétés est comparable à certaines céramiques, mais le matériau est moins fragile.

Les alliages à haute entropie se composent d'au moins cinq métaux, approximativement dans les mêmes proportions. Il s'agit d'une nouvelle catégorie de systèmes d'alliages constitués de plusieurs composants. Les alliages sont le résultat d'une combinaison d'éléments formant des solutions solides lors de mélanges avec des concentrations ayant des numéros atomiques quasi identiques. Ces matériaux peuvent avoir des propriétés intéressantes. Dans ce cas précis, le système se comporte plutôt comme une solution idéale.

Ces matériaux ont un potentiel d'application considérable, comme pour la construction de véhicules ou la fabrication de prothèses.



La solidité par rapport à la densité des matériaux : alliage faible densité haute entropie (LDHEA) en référence au nouveau matériau

(Source : Elsevier/Materials Research Letters)

Bien qu'il y ait un intérêt non négligeable et permanent dans le développement d'alliages ayant une faible densité et une haute résistance pour les applications de conservation d'énergie, il n'y a que peu de recherches sur les alliages à haute entropie et faible densité ($< 3 \text{ g cm}^{-3}$). Les alliages relatés jusqu'à maintenant présentent une bonne résistance à la compression (400 à 500 MPa) à température ambiante. Toutefois, leur ductilité est faible, environ 3 à 5 pour cent en compression. Hier encore, on niait l'existence d'un alliage monophasé à haute densité et haute entropie.

Alliage mécanique

Dans la littérature scientifique, on constate que seul le NiFeCrCoMn est mentionné comme étant une solution solide monophasée cubique à faces centrées et un alliage à haute entropie. Les chercheurs actuels [1] remplacent les éléments individuels d'un alliage de NiFeCrCoMn par de nouveaux éléments ayant un numéro atomique identique qui, à température ambiante, ont la même structure cristalline, un rayon atomique comparable et une électronégativité similaire que les éléments qu'ils remplacent. Tous les autres remplacements effectués au sein de l'alliage de

NiFeCrCoMn aboutissent à un alliage multiphasé. Sur la base des données de la littérature, une prévision quantitative a été réalisée pour savoir si les systèmes constitués de plusieurs composants se transformeront en solutions solides, en alliages à liaisons intermétalliques ou en verre métallique. Les alliages découverts jusqu'à présent étaient tous du verre métallique.

Du fait de l'importante pression de vapeur de plusieurs de ces éléments (Li, Mg), les développeurs ont opté pour des alliages métalliques afin de développer des alliages au lieu de fusion ou de coulée. L' $\text{Al}_{20}\text{Li}_{20}\text{Mg}_{10}\text{Sc}_{20}\text{Ti}_{30}$ associe du lithium, du magnésium, du titane, de l'aluminium et du scandium pour créer un nouvel alliage nanocristallin produit mécaniquement : une structure cubique monophasée à faces centrées a été travaillée dans un broyeur à billes et transformée en un système cristallin hexagonal monophasé par écrouissage. Durant les deux premières heures, le broyage a été effectué dans de l'azote liquide afin d'éviter que les poudres formées au début de ce procédé ne se soudent les unes aux autres. Puis, le procédé de broyage s'est poursuivi pendant 14 heures à température ambiante. Les échantillons ont été comprimés en disques de 6,25 mm de diamètre et de 3 mm d'épaisseur sous une pression de 2 GPa. Leur densité est comparable à celle de l'aluminium mais le matériau est plus solide que des alliages de titane. Son importante dureté a été obtenue après écrouissage.



L'analyse des échantillons par diffraction des rayons X indique des pics de diffraction dissociés, rendant la mesure de la granulométrie par analyse du profil de ligne inexacte. Cependant, la largeur des pics indique une structure nanocristalline.

Résultats des alliages mécaniques

Les résultats des alliages mécaniques devraient être subdivisés en deux matériaux : l'un contenant principalement les cinq éléments délibérément introduits, l'autre étant notablement contaminé par de l'azote et de l'oxygène. Le matériau non contaminé avait une structure granulaire nanocristalline d'environ 12 nm. La dureté mécanique de ce matériau était très élevée : 5,8 GPa. Après écrouissage à 500°C pendant 1 heure, la structure cristalline s'est modifiée en un amas dense hexagonal, présentant une granulométrie d'environ 26 nm. Le métal composé du matériau à haute concentration en N et en O présente, après broyage, une structure essentiellement identique à celle de l'acier non contaminé, avec une granulométrie de 12 nm, mais une dureté mécanique plus importante de 6,1 MPa. Après écrouissages à 500°C et à 800°C, ce matériau ne s'est pas transformé : la structure demeure semblable à celle d'un cristal cubique à faces centrées (CFC). Des écrouissages à 500°C et 800°C ont engendré une dureté de 5,75 GPa. De plus, on suggère que la chaleur dégagée au cours du mélange serait peu importante, proche du comportement idéal, pour former des solutions solides dans ce systèmes à composants multiples.

L'importante dureté mécanique de ces alliages peut être en partie expliquée par leur granulométrie nanocristalline. Pourtant, leurs valeurs de dureté sont 2 à 3 fois plus importantes que celles des alliages nanocristallins composés d'Al par exemple. Une comparaison de la solidité (estimée à la dureté/3) et de la densité de ces alliages avec d'autres matériaux structurels montre clairement que les valeurs de solidité/densité sont comparables à celles de matériaux céramiques tels que le SiC. Les auteurs estiment que le nouvel alliage métallique possède cependant une ductilité et une formabilité bien plus élevées. Ceci se confirme par la tendance des poudres à se souder entre elles au cours du procédé de broyage, la densité quasi maximale de la poudre compressée à

température ambiante et l'absence de fissures autour des impressions des mesures de micro-dureté.

Recherches complémentaires

Le problème est le scandium 20 pour cent, qui est un matériau très cher. Les chercheurs essaient de savoir s'il peut être remplacé ou supprimé. Selon leurs résultats, ils souhaitent davantage se concentrer sur différentes compositions de ces alliages, sur la production de l'alliage selon d'autres processus que l'alliage mécanique et sur le comportement mécanique de ces matériaux métalliques uniques.

Sources

- [1] Khaled M. Youssef, Alexander J. Zaddach, Changning Niu, Douglas L. Irving and Carl C. Koch, 'A Novel Low-Density, High-Hardness, High-entropy Alloy with Close-packed Single-phase Nanocrystalline Structures', Mater. Res. Lett., 2015, Vol. 3, No. 2, 95–99
- <https://news.ncsu.edu>
- <http://www.tandfonline.com>

Auteurs



Kurt Beghyn