

多機能新合金“ゴムメタル”

はじめに

従来の金属材料では、弾性率の低い材料は強度も低いという相関が一般的であった。このような常識を覆して、低弾性率でありながら強度の高い材料を目指して開発した、全く新しい合金がゴムメタルである⁽¹⁾(図1)。ゴムメタルは、低ヤング率と高強度の両立によって、一般の金属材料よりも約1けた大きい弾性変形能(2.5%)を有する超弾性的性質を発現すると同時に、室温で99.9%以上の冷間加工が可能な超塑性的性質、さらに液体窒素温度から約300の幅広い温度範囲で、弾性率が変化しないエリナー特性、および熱膨張率が極めて小さいインバー特性を示すなど、数々の特異な性質を併せ持っている。

合金設計と特徴

ゴムメタルは体心立方構造をもつベータ型チタン合金であり、基本的には $Ti_3(Nb, Ta, V) + (Zr, Hf) + O$ と表示される組成で、組成平均の価電子数 e/a が約4.24、DV-X クラスタ法による結合次数 B_o が約2.87、Md値が約2.45eVの三つのパラメータを満たす組成の合金である。

ゴムメタルは、溶体化状態でも相当低ヤング率(70GPa)だが、冷間加工を施すとヤング率がさらに低下するとともに、これまでの金属の常識と考えられてきたフックの法則が成り立たなくなる。すなわち、弾性定数が一定値ではなく、非線形弾性変形挙動を示し、ヤング率は大きく変化する(20~60GPa)。同時に降伏強度が著しく向上する(1000MPa以上)結果、超弾性的性質が発現する〔図2(A)〕。また、エリナー特性、インバー特性とともに、冷間加工を施すことによってはじめて現れる〔図2(B),(C)〕。このように冷間加工によって特異な性質が発現するゴムメタルは、室温でいくら強加工を行っても全く加工硬化しないため、どこまでも変形させることができる。

また、冷間加工後のゴムメタルに低温時効処理を施すと、チタン合金の中で最高の強度(2000MPa)を有する超強力材料が得られる。

以上のようなゴムメタルの特異な機能は、それが持つ不思議なナノ構造に起因している。すなわち、強加工後も「転位」や「双晶」は観察されず、フラクタル的な階層構造の離散的なひずみ場を内包する、マープル状の組織に変化するとともに、結晶格子が大きく湾曲することから、従来の金属材料とは異なる未知の塑性変形メカニズムが働いていると推定している。

応用

ゴムメタルは、しなやかな性質、多様なデザインへの加工性が良いこと、人体に有害な元素を含有しないなどの特徴を活かして、眼鏡フレームへ商品化されている。また、弾性変形能が大きく、かつ高強度な特性は、ねじとして緩みにくい性質を発現することから、精密ねじに実用化されている。一方、ゴムメタルは剛性率Gがピアノ線の4分の1なので、ピアノ線と同じばね定数のコイルばねを作製すると、巻き数が4分の1で済む。同時に、比重が5.6と鋼より30%軽いことも合わせると、ピアノ線の約6分の1の重量で、しかも省スペースのばねを実現できる可能性を持っている。

以上のように、ゴムメタルはその数々の特異な機能を活かして、自動車部品、医療機器、精密機器、あるいは航空・宇宙機器など幅広い応用が考

図1 ギュメタルの弾性率と強度

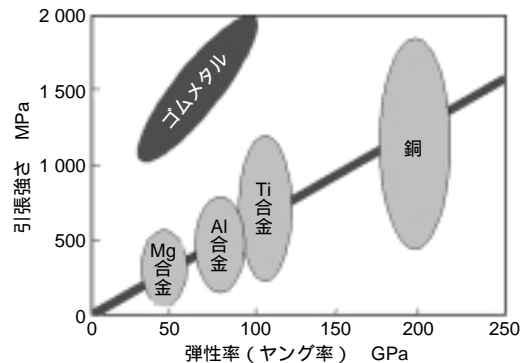


図2 ギュメタルの諸特性

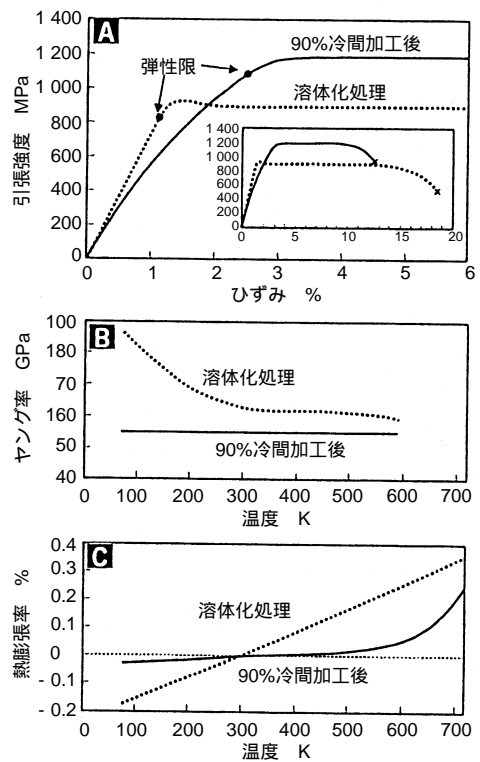


図3 ギュメタルの実用例



られる。

(原稿受付 2003年8月7日)

〔西野和彰(株)豊田中央研究所〕

文献

- (1) Saito, T.,ほか, Multifunctional Alloys Obtained via a Dislocation-Free Plastic Deformation Mechanism, *Science*, 300 (2003), 464-467.