

# 新技術・新素材

## 不思議な金属材料

### “ゴムメタル”

28

ニューマテリアルセンター顧問 村上 陽太郎

#### 1. はじめに

㈱豊田中央研究所で、従来の金属材料の常識では考え難いような特異な多機能を示すチタン合金“ゴムメタル”が開発され、既に眼鏡フレームと時計用の螺子に1トン/月程度のペースで生産(1~5mm直径素材、5万~10万円/kg)されている。同所の取締役斉藤卓博士より、資料(末尾の参考文献)及び特異性(別枠)と実用化に関する私信をいただいたので、それらを用いて、ゴムメタルを解説する。

#### 2. ゴムメタルの合金組成と処理法

ゴムメタルはBCC構造を持つ型チタン合金で、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クラスター法による結合次数 $B_0$ が約2.87、Md値が約2.45eVの三つのマジック・ナンバーを満たす組成で、BCCとHCP相境界の極めて限られた範囲でのみ現われる。理論的にはBCCの $\{111\}$ 面上の剪断弾性率がゼロになる組成に相当する。実用的には、Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-O、Ti-12Ta-9Nb-3V-6Zr-O (mol%)などの組成が見出されている。これらの合金を冷間強加工を施すことにより、低ヤング率( $E: 40GPa$ )と高強度( $> 1GPa$ )が同時に達成できると共に、別枠に示した数々の特異性が発現する。

#### 3. ゴムメタルの特異性

図1Aに焼鈍材と90%冷間加工材の応力-歪曲線を示す。この合金は焼鈍材でも低いEを持つが、冷間加工で更に低下すると共にフックの法則が成立しなくなり、非線形弾性挙動を示し、Eは温度と共に大きく変化(90~60GPa)し、同時に降伏強度が著しく増大(1GPa以上)し、超弾性(ゴム性)が発現すると共に、図1B、Cに示すようにエリパー特性及びインパー特性が発現する。室温では強加工を行っても加工硬化しない。冷間強加工後低温時効処理で2GPaの超強力材料が得られる。

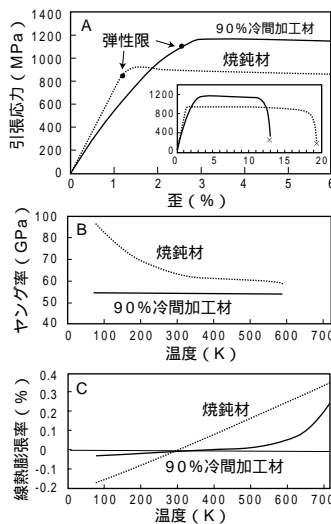


図1 冷間加工(断面減少率90%のスエーピング)前後の合金の機械的特性(A)及び(B):ヤング率、(C):線熱膨張率)の比較

ゴムメタルの特性:(1)チタン合金の組成がBCCとHCP境界の極めて限られた範囲でのみ現われ、理論的にはBCC $\{111\}$ 面上の剪断弾性率がゼロになる組成でのみ起こる。(2)塑性変形は一般の金属で起こる転位運動によらず、比較的マクロなスケールの剪断によって形成される断層が断続的に出現する事で生じると考えられる。(3)ミクロ的には30%以上の局所的な弾性変形が認められる。(4)99.9%以上冷間加工しても、全く加工硬化しない。(5)理想強度に近い強度が容易に得られる。(6)冷間加工により弾性歪エネルギーがどんどん蓄積される。(7)冷間加工により、インパー機能とエリパー機能が発現する。(斉藤卓博士による)

#### 4. ゴムメタルの塑性変形メカニズム

図2(A)に焼鈍材の光学顕微鏡組織を示す。50~100 $\mu m$ の粗大な等軸粒組織であるが、(B)の90%冷間加工材では、刷毛で描いたような細かいフィラメントが絡まったマール状組織を呈している。(C)はこの高分解能TEM格子像である。強加工材にもかかわらず、転位が観察されず、結晶格子が局所的に彎曲している。図3は焼鈍材から微小引張試験片を作製して塑性変形の初期過程を調べた結果で、(A)~(D)は変形の進行に伴う表面レリーフの変化で、(E)は10%の引張変形後の試験片(D)の表面線状模様の近傍部分から作製した薄膜試料の超高压透過電顕像で、この観察によって、(i)表面の線状模様は300~500nmの段差を持つ内部の「断層」に対応していること、(ii)結晶粒界は断層との交点付近で局所的に大きく彎曲していること、(iii)断層の近傍には厚さ200~300nmの弾性的に結晶回転が生じた高歪領域の存在が判った。図4は90%冷間加工材のTEM写真である。通常の金属の塑性変形であれば、加工前の100 $\mu m$ から30 $\mu m$ 位に微細化される筈であるが、この場合は(A)に示すようにそれよりずっと小さく、数 $\mu m$ のサブミクロンの結晶粒の混合組織で、変形プロセスが通常とは全く異なる結果であることを示している。又(B)に示すように、サブミクロン粒の内部に格子歪に対応した2~3nmオーダーの歪コントラストが見られる。以上の観察結果及びBCCの $\{111\}$ 面上の剪断弾性率がゼロになることを考慮すると、ゴムメタルの塑性変形は転位運動でなく、弾性軟化方向に沿った断層の断続的な発生によること、このようなユニークな変形メカニズムによって内部に蓄積される弾性歪に起因して、種々の特異な機能が発現することが推測される。ゴムメタルにおける転位運動の抑制機構のより一層の解明と超インパーと超エリパー機能を活かした用途への展開が望まれている。

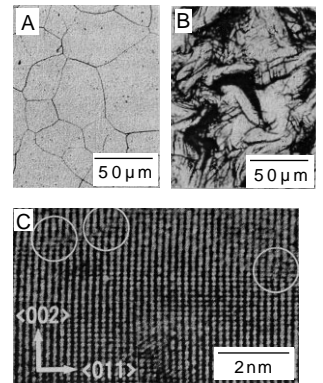


図2 Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-1.2O合金の光学顕微鏡組織の比較:(A)1273K焼鈍材、(B)断面減少率90%冷間加工材(マール組織)、(C)Bの材料の高分解能TEM格子像

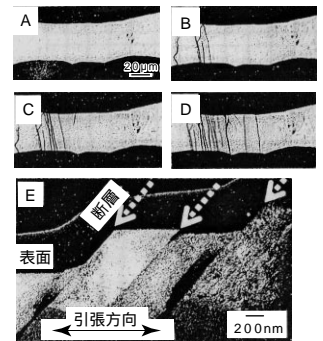


図3 Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-1.2O合金の微小試験片焼鈍材の塑性変形による表面模様の変化(A-D:0%、4.3%、6.1%、10.3%歪)と、E:試料表面と垂直に切り出した薄膜試料のTEM写真

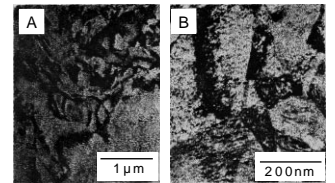


図4 Ti-23Nb-0.7Ta-2Zr-1.2O合金の冷間加工(90%スエーピング加工)後のTEM写真

参考文献: 下記より要約した。深謝する。

- 1) T.Saito et al: Multifunctional Alloys Obtained via a Dislocation-free Plastic Deformation Mechanism, Science, Vol 300,18 April, pp.464 ~ 467.
- 2) 古田忠彦ら: 多機能新チタン合金“ゴムメタル”の開発, までりあ, 第43巻(2004), 第2号, 154 ~ 156頁.
- 3) 倉本繁ら: ゴムメタルの変形, 金属, 掲載予定.
- 4) S.Kuramoto et al: Origin for “Super” Properties in GUM METAL, Proc. 10th world Titanium Conf. in press.
- 5) 多機能新合金“ゴムメタル”, 日本機械学会誌, Vol.106(2003), No.1020, 61頁.
- 6) その他斉藤博士より提供された3種類の資料.