

## HPT 加工を施した Ti-6Al-7Nb 合金の組織と機械的特性

東京医科歯科大学・生体材料工学研究所

○蘆田 茉希, 陳 鵬, 土居 壽,  
堤 祐介, 埜 隆夫

Microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-7Nb alloy processed by high-pressure torsion  
by ○Maki ASHIDA, Peng CHEN, Hisashi DOI, Yusuke TSUTSUMI and Takao HANAWA

### 1. 研究目的

Ti-6Al-7Nb 合金は低毒性元素のみで構成され軽量で優れた耐食性を示すため、人工股関節や脊椎固定器具、歯科インプラントなどに利用されている。この合金はチタン合金の中で最も広く用いられている Ti-6Al-4V 合金のバナジウムの毒性が指摘されてから、その代替材料として用いられている。

結晶粒微細化強化は組成を変えることなく強化でき、強度増加に伴う延性やじん性低下が小さい強化法としても知られ、魅力的な強化法である。高圧ねじり (High-Pressure Torsion: HPT) 加工では他の加工法に比べ超高圧力で加工でき、高強度で低延性の材料でも超微細結晶粒が得られ、金属材料の機械的特性を高めることができる[1-3]。そこで本研究では、Ti-6Al-7Nb 合金に HPT 加工を施し、加工後の組織と機械的特性に及ぼす影響について調べた。

### 2. 研究成果

#### 2. 1 実験方法

実験に用いた試料は Ti-6Al-7Nb (ASTM F1295) である。直径 10 mm 厚さ 0.8 mm のディスク状に切り出し、その後 HPT 加工を施した。HPT 加工では、上下の金型で高い圧力を加え、圧力を加えたまま上の金型と下の金型を相対的に回転させ、試料をねじり、ひずみを加える。HPT 加工の加工条件は、室温で、圧力 2 GPa または 6 GPa の下、回転速度 1 rpm、回転数は 1, 5, 20 回転とした。試料の構造・特性評価として、X 線回折測定、SEM、TEM による組織観察、ビッカース硬さ測定、引張試験を行った。ビッカース硬さ測定には、試料表面を鏡面状態とし、荷重 50 gf、負荷時間 15 秒として測定を行った。測定場所は、中心から半径方向に 0.5 mm 間隔に取った。各位置で 12 点測定し、最大・最小を除いた 10 点より平均を求めた。引張試験は図 1 に示すように、ディスク状試料の中心より 3 mm 離れた箇所からゲージ部の長さ 1 mm、幅 1 mm、厚さ 0.5 mm の引張試験片を切り出し、室温にて  $2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  の初期ひずみ速度で行った。

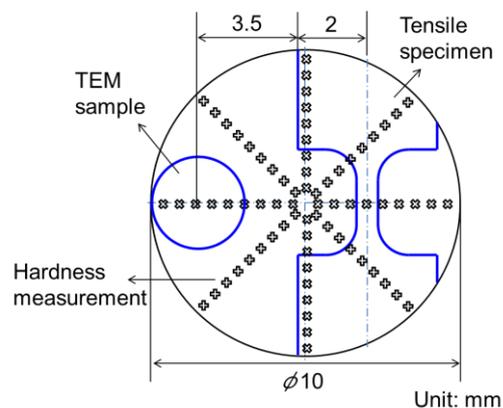


図 1 試験片の寸法と測定位置

#### 2. 2 結果及び考察

加工前の組織は、X 線回折によって  $\alpha+\beta$  相であることを確認した。また図 2 に示すように、SEM による組織観察の結果、等軸  $\alpha$  組織であり、 $\alpha$  相の粒の境界に  $\beta$  相の粒が存在していた。その割合は、 $\alpha$  相が 96% であり、 $\beta$  相は少なく、4% だった。また、平均結晶粒径は約 5  $\mu\text{m}$  だった。図 3 に 2 GPa、5 回転後、6 GPa、5 回転後の TEM 写真を示す。2 GPa、1 回転後では加工前と比べて結晶粒があまり微細化していないが、回転数の増加に伴い結晶粒は微細化し、5 回転後では 300 nm の結晶粒が得られた。しかし、5 回転後でも微細化されている部分とされていない部分が見られ、不均一な組織であった。6 GPa、5 回転後では、図 3 に示すように約 100 nm の微細な結晶粒が得られた。

図 4 はビッカース硬さを試料中心からの距離に対してプロットしたものである。加工前のビッカース硬さは 325 Hv であった。2 GPa、6 GPa ともに、HPT 加工回転数の増加および試料の中心からの距離の増加に伴い、ビッカース硬さは増加した。

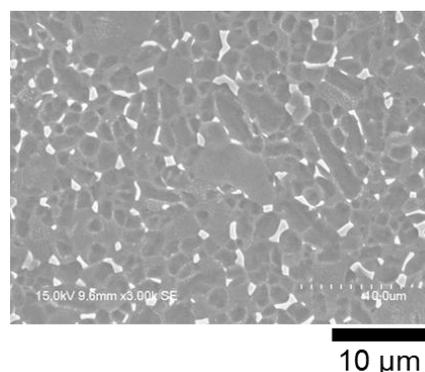


図 2 Ti-6Al-7Nb 合金の加工前組織

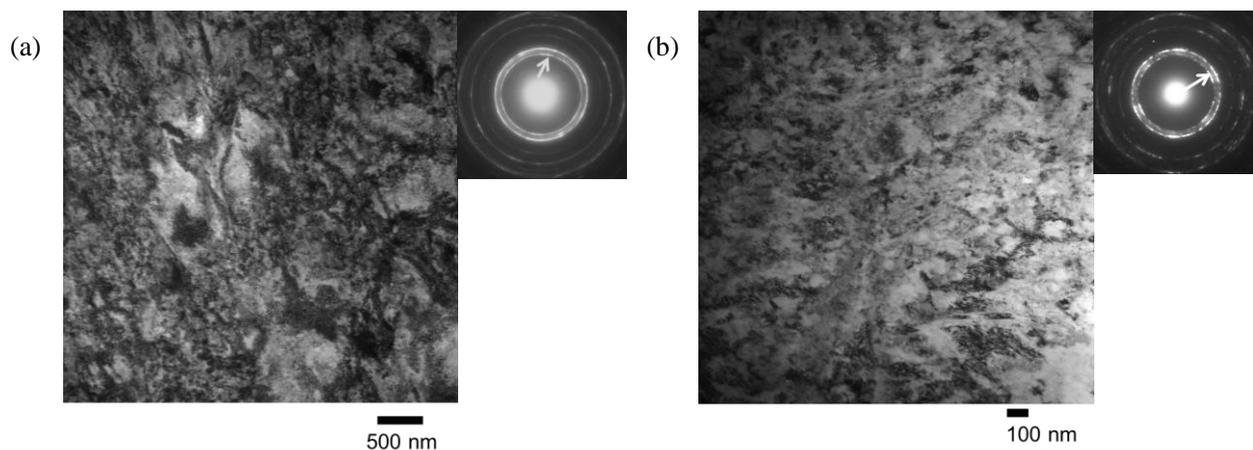


図3 (a)2GPa, 5回転, (b)6 GPa, 5回転後の Ti-6Al-7Nb 合金の TEM 組織と電子線回折パターン

HPT 加工によって導入される相当ひずみ $\epsilon$ は、試料の半径  $r$ 、厚さ  $t$  を用いて  $\epsilon = 2\pi Nr / \sqrt{3}t$  で与えられる。ビッカース硬さを相当ひずみに対してプロットすると、ビッカース硬さは、両圧力条件において、相当ひずみの小さい領域では急激に増加しており、その後ゆるやかに増加する傾向となった。また、2 GPa より 6 GPa の方が高い硬度を示し、加工前の 325 HV に対して 6 GPa では最大 400 HV となった。

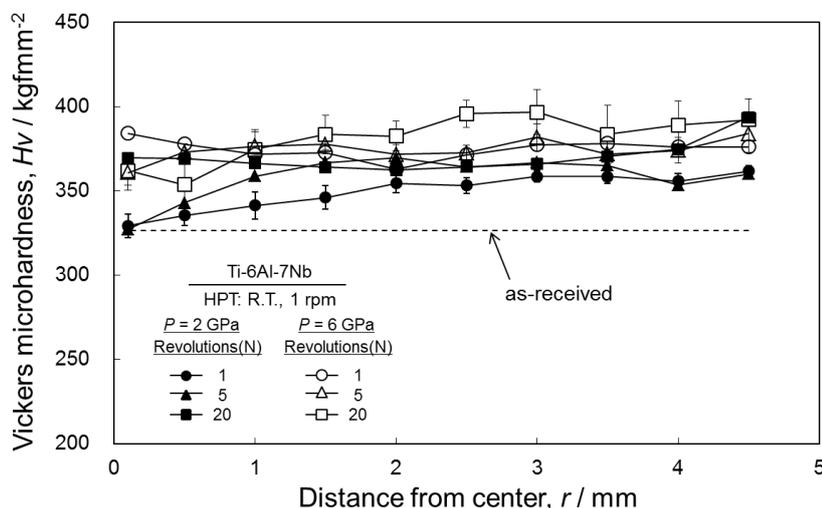


図4 試料の中心からの距離に対してプロットしたビッカース硬さ

また、引張試験の結果、引張強度は全ての加工条件において、加工前に比べて増加した。6 GPa、1, 5 回転後では、1200 MPa と高い強度を示したが、破断伸びは 19 % であり、加工前の 22% と比べてほぼ同程度であった。したがって、HPT 加工によって結晶粒が超微細化され、破断伸びをあまり低下させずに強度向上ができることが明らかになった。

### 3. 参考文献

- [1] S. Lee, K. Edalati and Z. Horita: Microstructures and Mechanical Properties of Pure V and Mo Processed by High-Pressure Torsion. *Mater. Trans.* **51** No.6 (2010) pp.1072-1079.
- [2] K. Edalati, S. Toh, H. Iwaoka and Z. Horita: Microstructural characteristics of tungsten-base nanocomposites produced from micropowders by high-pressure torsion. *Acta Mater.* **60** (2012) pp.3885-3893.
- [3] Q. Wei, H.T. Zhang, B.E. Schuster, K.T. Ramesh, R.Z. Valiev, L.J. Kecskes, R.J. Dowding, L. Magness and K. Cho: Microstructure and mechanical properties of super-strong nanocrystalline tungsten processed by high-pressure torsion. *Acta Mater.* **54** (2006) pp.4079-4089.