226

双晶主体で変形する Ti-14Mo 合金結晶粒の押込み挙動

岡山大学 ○清水 一郎 岡山大学[院] 木村 訓明岡山大学 多田 直哉 岡山大学 竹元 嘉利

Indentation Behavior of Grains of Ti-14Mo Alloy Deformed Mainly by Twin Ichiro SHIMIZU, Noriaki KIMURA, Naoya TADA and Yoshito TAKEMOTO

1緒 言

多結晶金属材料に微小押込み試験を行う際、評価対象 を結晶粒径よりも小さい領域に限定すれば、個々の結晶 粒の性質を評価することが可能となる. この利点を活か して、微小押込みによる結晶粒毎の弾塑性挙動の評価¹⁾ や、結晶方位の同定²⁾などを目指した研究が進められて いる.このような金属結晶粒単位の評価を行う上で、押 込み領域やその周囲で生じる変形挙動を正確に把握す ることは極めて重要である.しかしながら、すべりでは なく双晶主体で塑性変形する金属材料に対して、結晶粒 単位の微小押込み試験を行った研究例は見当たらず, 試 験結果の評価に不可欠な圧痕周囲の変形状態やそれら と結晶方位の関係など、明らかにされていない点が多く 残っている. このような観点から本研究では, β型チタ ン合金である Ti-14Mo 合金を用い, 個々の結晶粒に対し て押込み試験を実施した際の圧痕周囲の変形状態を調 べている³⁾.本報では特に、圧子押込みによって生ずる 圧痕周囲の変形状態に着目し, すべり主体で塑性変形す る金属結晶粒との差異について検討を行った結果につ いて報告する.

2 実験方法

2.1 試験片 双晶が主要な塑性変形機構である金属素 材として、{332}双晶主体で変形する β型チタン合金で ある Ti-14mass%Mo 合金圧延材を用いた⁴⁾.また、比較 のために、すべり主体で塑性変形する Ti-20mass%Mo 合 金圧延材も同様に準備した.いずれの材料もインゴット 材から熱延および冷延にて 1 mm の板材とした後、表面 を機械研磨し、1223 K で氷水焼入れを行って準安定 β 組



Fig. 1 Nominal stress-strain relations of Ti-14Mo and Ti-20Mo alloys by tensile tests.

織を得た. さらに,結晶粒界を識別するために電解研磨 と化学腐食を施して試験片とした. いずれの材料も平均 結晶粒径は約 100 μm であった.

両素材の基本的な機械的性質を調べるために実施し た単軸引張り試験による公称応カー公称ひずみ関係を Fig. 1 に示す.また,引張り後における両素材表面の光 学顕微鏡画像を Fig. 2 に示す.応力ひずみ関係より, Ti-14Moでは変形双晶による良好な延性が認められる. また,引張り後の素材表面の様子は,Ti-14Moが変形双 晶主体であるのに対し,Ti-20Moがすべり(coarse slip) によって塑性変形していることを示している.



(a) Ti-14Mo

(b) Ti-20Mo

Fig. 2 Micrographs of Ti-14Mo and Ti-20Mo alloys after tensile tests.

2.2 試験方法 各試験片表面に 500×500 µm²の領域を 設定し,その領域内にある各結晶粒の結晶方位を,後方 散乱電子線回折(EBSD)法によって測定した.続いて, 結晶粒内の粒界から充分離れた箇所に,面角度 65°の三 角錐圧子を用いて微小押込み試験を実施した.押込み荷 重は最大 1000 mN とし,試験目的に応じて種々に変化さ せた. 圧痕およびその周囲の変形状態は,垂直方向分解 能 10 nm,水平方向分解能 150 nm の走査型共焦点レーザ 一顕微鏡を用いて 3 次元的に測定した.

3 結果と考察

最初に、Ti-14MoとTi-20Moの圧痕周囲の変形状態を 比較することにより、双晶主体で変形する金属結晶粒の 特徴の定性的な把握を試みた.各材料における押込み試 験後の圧痕形状例をFig.3(a)に示す.なお、図中の立方 体は単位胞の向きを表している.Ti-14Moの圧痕周囲に は、特定の方向に直線状に伸びる複数の線が現れる.こ れらの線については、{332}面の方向と一致することを 確認しており、変形双晶に起因するものである.一方、



(c) Threshold height image

Fig. 3 Examples of micro indentations and height images of Ti-14Mo and Ti-20Mo alloys.

Ti-20Moにおいては、圧痕周囲に若干のすべり線が見ら れるものの,それらの明瞭度はTi-14Moと比較して低い. その反面, 圧子押込みに伴う材料の盛上がりに起因する 圧痕形状の見掛けの歪みは, Ti-20Moの方が顕著に表れ ている. Fig. 3(b)はレーザー顕微鏡で測定した高さ分布 であるが, Ti-14Moでは、観察される線の部分で高さが 変化する様子が認められる.このような高さ分布の特徴 を明確にするために,表面において圧子押込みの影響が 無い遠方部分を基準平面として,それより高い部分を区 別して示した結果が Fig. 3(c)である. Ti-20Moが圧痕縁 から外側に円弧状の盛上がり領域を形成するのに対し, Ti-14Moでは、直線状の線を境界として圧痕周囲に段差 が生じており,特徴的な盛上がり形態を呈することがわ かる.

著者らは以前の研究²⁾において,純チタン結晶粒に押 込み試験を行った際に,見掛けの圧痕形状の歪みと結晶 方位に明確な関係が現れることを明らかにしている. Ti-20Mo については純チタンと同様に,圧痕形状の歪み に明瞭な方位依存性が認められたが,Ti-14Mo ではその ような依存性を見出すことができなかった.その一方, Ti-14Mo における方位依存性は,圧痕周囲に観察される 線のパターンと,それに起因した盛上がり形態に現れて いた. 圧痕周囲における材料の盛上がりは,圧子押込み



Fig. 4 Area above original surface due to pile-up of material around indentation.



Fig. 5 Average height in pile-up area around indentation.

による影響域の大きさを反映する一指標である.そこで, 基準平面よりも高い盛上がり領域の表面積(結晶粒表面 への投影面積)と、その領域内における基準平面からの 平均高さを求め、押込み荷重に対してプロットした結果 を Fig. 4 および Fig. 5 に示す. 直線で結んでいるデータ 点は、同一結晶粒内で押込み荷重を変えた一連の結果で ある.全体的な傾向として、盛上がり領域の表面積につ いては、TI-14Moと Ti-20Mo に明確な相違が認められな かったが、平均高さは Ti-14Moの方が総じて高く、面外 変形が顕著であった.この原因については、今のところ 明確ではないものの、すべり変形では同一すべり系で段 階的かつ連続的に変形量を増加させることが容易であ るのに対して、変形双晶は結晶方位変化を伴うために、 後続する変形の方向が制限されるためと推測される.

4 まとめ

双晶主体で変形する金属結晶粒における押込み挙動 を調べるために、Ti-14Mo 結晶粒に微小押込み試験を行 い、すべりによって変形する Ti-20Mo と比較した.その 結果として、Ti-14Mo の圧痕周囲に現れ、圧痕形成機構 の解明に有用ないくつかの特徴を明らかにした.

参考文献

- 1) O. Casals and J. Alcalá, Acta mater. 53, 3545 (2005).
- 2) 清水一郎, 多田直哉, 材料, 57, 249 (2008).
- 木村訓明,清水一郎 他,日本材料学会第58期
 学術講演会講演論文集,359 (2009).
- I. Shimizu and Y. Takemoto, Proc. 11th World Conf. Titanium (Ti-2007), 1, 543 (2007).

-258-