

チタン合金線材の引き抜き加工工程における力学特性と集合組織の発達

株式会社樋山精線 課長 印出 大介

1. 概要

弊社はチタン合金線材の伸線加工を行っている。この実験では、純チタン (JIS2 種)、Ti-325 合金 (Ti-3Al-2.5V)、Ti-15.333 合金 (Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al) の 3 種の線材について、素材メーカーから納入された線材 (母材) から焼鈍、伸線加工 8 段階へと進む工程において、線材の集合組織の変化の様子を観測してチタン合金の難加工性を克服するための知見を得ることを目的とした。更に、得られた集合組織と各線材の引張強度測定結果との比較検討を行い、塑性加工による線材硬化と集合組織の関連を考察する。これらを通じてチタン合金の難加工性の本質を探る。

2. 実験

試料をそれぞれ BL20(iMATERIA)集合組織観察用ホルダーに格納し、線材の径方向に中性子ビームを照射させ、回折された中性子を広い立体角度範囲に渡って設置された 132 個の検出器領域で同時計測した。測定中は試料回転をしていない。試料の主成分である Ti の干渉性散乱断面積 (1.485 barn) が Fe の約 1/7.6 であり、吸収散乱断面積 (6.09 barn) が Fe の約 2.4 倍であること、陽子ビーム出力が 500KW であること等を考慮して、例えば、Ti-325 合金棒試料 ($\phi 4.0 \times 3$ 本) の測定時間を約 32 分とした。この値を基に、他の試料の測定時間をそれぞれの総断面積の逆比例で得た値とし、合計 12 試料の測定に iMATERIA を 8 時間利用した。得られた回折データから、MAUD プログラムを用いて集合組織を解析した。

3. 結果

純チタン (JIS2 種) 線材では、母材 ($2r=6.00$)、焼鈍材 ($2r=6.00$)、伸線材 ($2r=5.50, 4.20, 3.00$) の 5 種について集合組織の極点図、逆極点図を得た。母材については図 1 に示す。これらの解析から、以下のことが明らかになった。

- ① 線材軸方向に α 相 (hcp100%) の [1-100] 配向が存在し、焼鈍、伸線の工程を進むにつれてその配向度は増加する。
- ② 線材軸に直交する方向に [0001] 配向が存在し、母材では異方性が見られる。焼鈍、伸線工程を進めると異方性は徐々に解消する。

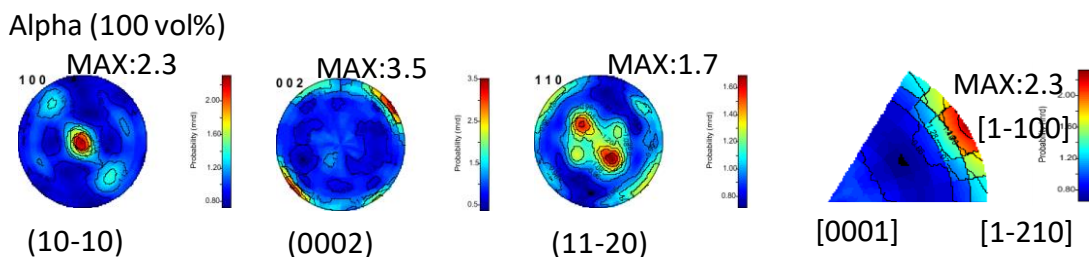


図 1 純チタン (JIS2 種) 母材の極点図 (中心が線材軸方向) および逆極点図 (線材軸方向)

Ti-325 合金 (Ti-3Al-2.5V) 線材では、母材 ($2r=4.00$)、焼鈍材 ($2r=4.00$)、伸線材 ($2r=3.60, 2.80, 2.00$) の 5 種について集合組織の極点図、逆極点図を得た。これらの解析から以下のことが明らかになった。

- ① α (hcp) 相が 98.7~99.6% 存在すると解析された。(本来同一値)

- ② 線材軸方向に α 相の[1-100]配向が存在し、その配向度は焼鈍によって一旦低下した後、伸線工程が進むにつれて増加する。
- ③ 線材軸に直交する方向に α 相の[0001]配向が存在し、母材では異方性が見られる。焼鈍、伸線工程を進めても異方性は残る。
- ④ β (bcc)相は存在割合が極めて低く、結晶配向が弱くて統一的な集合組織像が得られない。

Ti-15.333 合金(Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al) 線材では、伸線材(2r=4.225, 3050)の2種について集合組織の極点図、逆極点図を得た。これらの解析から以下のことが明らかになった。

- ① 線材軸方向に β 相(bcc100%)の[023]配向が存在し、その配向度は伸線工程が進むにつれて[011]配向へと変化しながら増加する。
- ② 線材軸に直交する方向に [001]配向が存在し、異方性が見られる。

得られた集合組織解析結果を使い、夫々の塑性加工工程における集合組織逆極点図の結晶配向度(純 Ti と T-325 では HCP 相[1-100]配向度、Ti-15.3333 では BCC 相[023]配向度)の変化を別途測定した引張強度と比較した。その結果を図 2 に示す。図より HCP 相を持つ純 Ti(JIS2 種)と Ti-325 合金(Ti-3Al-2.5V)では伸線行程(行程 3~10)において引張強度が増大するに従って結晶配向度も増加する事、Ti-325 合金の方が純 Ti(JIS2 種)よりも引張強度、結晶配向度が大きい事など、相関が取れている事が判った。これは、集合組織による材料強化が存在することを示しているが、マイクロ組織強化のような他のメカニズムの関与もあるかもしれない。

一方、焼鈍効果や HCP 相と BCC 相の対比においては、引張強度、結晶配向度の相関が見られなかった。この原因については、母材作成のための塑性加工過程の違いや結晶格子系の違いが考えられるが、今後さらに検討を進めたい。

4. 結論

本実験から以下のことが明らかになった。

- ・3種のチタン線材とも、伸線加工を施すことで集合組織が揃ってくる事が明らかになった。
- ・純 Ti と Ti-325 合金では伸線行程において引張強度が増大するに従って結晶配向度も増加する事、Ti-325 合金の方が純 Ti よりも引張強度、結晶配向度が大きい事など、相関が取れている事が判った。
- ・3種のチタン線材とも、線材軸直交方向の[0002]配向または[200]配向に異方性があるので、平板から線材が作られた可能性を指摘できる。

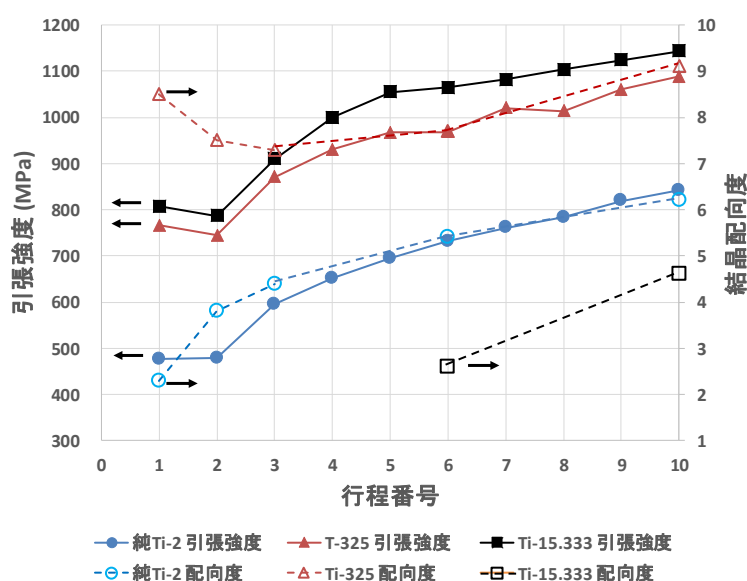


図 2 Ti 合金線材の伸線工程における引張強度と結晶配向度
(引張強度は塗潰し印と実線で、結晶配向度は中抜き印と破線で示す。工程は夫々1:母材、2:焼鈍材、3~10:伸線材を示し、集合組織観察は工程1, 2, 3, 6, 10を基本として実施した。)