【報告】

# β型チタン合金圧延材の機械的性質の異方性

材料科　　菊池圭祐*　伊藤芳典　植松俊明　片野　元

# Anisotropy of Mechanical Properties in Cold Rolled Ti-20V-3.5Al-1Sn Alloy Sheet

Keisuke Kikuchi, Yoshinori Itoh, Toshiaki Uematsu and Gen Katano

Titanium and Titanium alloy are applied to various industrial products, such as aircrafts, chemical plants, medical equipments etc. because of their high strength, superior corrosion resistance, heat resistance and biocompatibility. Among the titanium alloy, beta-titanium alloy (β-Ti) sheets with a crystallographic structure of body-centered cubic lattice (bcc) are widely used for cold forming such as pressing and rolling. However, it is known that the mechanical properties of β-Ti is different depending on the sampling direction of the specimen relative to the rolling direction.

In this study, we examined mechanical properties of β-Ti alloy (Ti-20V-3.5Al-1Sn) for the sampling direction of the specimen (parallel or perpendicular to the rolling), and for the condition of age-hardening heat treatment.

After age-hardening heat treatment, the tensile strength, 0.2% proof stress and n value were significantly improved, although elongation was drastically reduced. Moreover, anisotropy of the tensile strength, 0.2% proof strength and elongation had a tendency toward stronger, and that of Young's modulus and flexural modulus were weaker after age-hardening heat treatment.

## 1．緒言

チタンおよびチタン合金は、軽量かつ高強度、高耐食性、高耐熱性という優れた特性を有するため、従来から航空機の機体構造やエンジン部品、化学プラントとして利用されてきた。近年では、民生品への利用も始まり、眼鏡フレーム、腕時計のケースやバンドなどの小物部品から海洋構造物や建築物の屋根などの大型製品にまで用途は広がっている。また、生体適合性に優れるため医療部品としても応用が期待されている。

実用化されているチタン合金は、稠密六方構造のα型チタン合金、体心立方構造のβ型チタン合金、両方が混在したα+β型チタン合金に分類することができる。

α型チタン合金の稠密六方構造はすべり面が少ないことや最小すべり成分（最小すべり線の長さ/格子定数）が大きいことから、β型チタン合金の体心立方構造に比べ変形が困難とされている。

よって、冷間加工を行う場合には、変形が容易なβ型チタン合金が用いられる。β型チタン合金は、チタンにMo、Vなどのβ相安定化元素を添加することで、常温において準安定なβ相を維持しているため、時効硬化処理により、微細なα相を析出し、高強度化することができる。このように、β型チタン合金は、冷間加工時には成形性が良く、加工後に熱処理を施すことによって、強度を付与することが可能なため、プレス加工や冷間鍛造には非常に有用な材料である。

しかし、チタンは素材製造時の圧延の影響が強く、機械的性質の異方性が強い材料とされており、塑性加工時の材料の採取方向が、成形性へ強く影響する。

そこで本研究では、成形パラメータを把握することを目的に、β型チタン合金板材の異方性および時効硬化処理後の機械的性質と異方性の変化を評価した。

## 2．方法

### 2．1　供試材

試験には、Ti-20V-3.5Al-1Sn板材（住友金属工業㈱製、溶体化処理材、t=1.76mm）を用いた。

*）現　静岡県工業技術研究所

【報告】

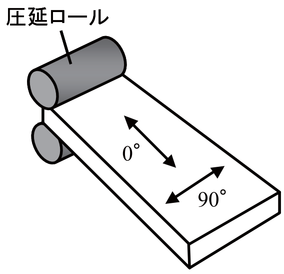


図１　試験片採取方向

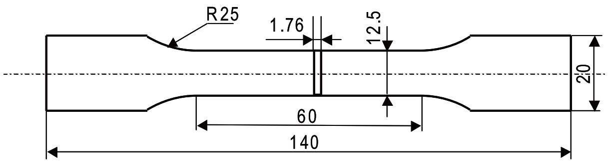


図２　引張試験片（JIS Z 2201 13B号）　単位：mm

試験片は、図１に示すように圧延方向に対して０°および90°の方向から採取した。

引張試験片の形状は図２に示すJIS Z 2201 13B号試験片とした。時効硬化処理は、500℃×５h、450℃×10h、400℃×18hの3条件で行った。時効硬化処理前後の状態の確認は、ロックウェル硬さ計㈱明石製作所：ARK-B）による硬さ試験と、金属顕微鏡（オリンパス㈱：GX-71）による組織試験を行った。

曲げ試験片の形状は、時効硬化処理用の治具に入るように、図３に示す形状とした。ただし、図３に示した形状はJIS規格外となるため、時効硬化処理前の材料を用いて、図４に示すJIS 2204　３号試験片も作製した。

## ２．２　引張試験

試験には、精密万能材料試験機（㈱島津製作所：AG-IS 50KN）を用い、試験速度は２mm/minとした。破断点伸びは、非接触式伸び計（㈱島津製作所：ビデオ式非接触　DVE-201）を用いて求めた。また、試験片には、ポアソン比を算出するために２軸のひずみゲージを貼り付け、動ひずみ測定器（㈱共和電業：PCD-330B-F）を用いて荷重方向とその直角方向のひずみ量を測定した。ひずみゲージは、試験片表面を♯600のSiC研磨紙で研磨した後、アセトンで汚れを除去し、瞬間接着剤で貼り付けた。試験は、接着剤を完全に硬化させるため、24時間以上経過後行った。ｎ値（加工硬化指数）は、応力－ひずみ曲線の耐力点から最大応力点までを抽出し、真応力－真ひずみ曲線に換算した後、その累乗近似式を求めることで算出した。ｒ値（ランクフォード値）は、JIS Z 2254では、応力－ひずみ曲線で最大応力点手前のひずみ10%～20%時における板幅を測定すると決まっているが、今回の試験では、最大応力点までのひずみが10%に満たなかったため、最大応力点手前で板幅をポイントマイクロメータ、ひずみ負荷時の標点間距離を非接触式伸び計で測定し、式(1)から算出した。

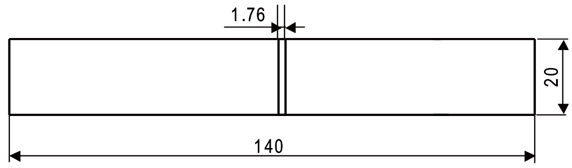


図３　曲げ試験片　JIS規格外　単位：mm

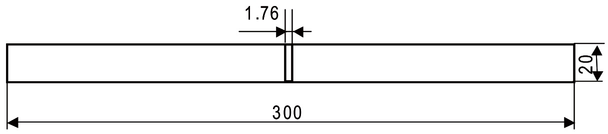


図４　曲げ試験片　JIS 2204　３号試験片　単位：mm

$$r値 = \ln(W_0/W)/\ln(LW/L_0W_0)$$
$$= \ln(W_0/W)/\ln(1.1W/W_0) \cdots (1)$$

（$W_0$：試験前の板幅、$W$：ひずみ負荷時の板幅
$L_0$：試験前の標点間距離
$L$：ひずみ負荷時の標点間距離）

## ２．３　曲げ試験

試験には精密万能材料試験機（㈱島津製作所：AG-IS 50KN）を用い、図３の試験片については支点間距離100mm、図４の試験片については支点間距離200mmの３点曲げを行った。試験速度は５mm/minとした。曲げ弾性率は、曲げ荷重－ストローク曲線の曲げ荷重50Nおよび150Nの２点間の傾きから求めた。

## ３．結果

## ３．１　引張試験

時効硬化処理前後のロックウェル硬さおよび金属

組織を、図５に示す。硬さは、すべての時効硬化処理条件で処理前より著しく上昇し、400℃×18hでは48.9HRCと最も高い値を示した。時効硬化処理前の金属組織は、素材製造時の圧延加工によって伸長された結晶粒が確認でき、それは時効硬化処理後においても残存していた。また、処理後では微細なα相が析出していた。いずれの試験においても、時効硬化処理の効果が確認できた。

引張試験結果を図６から図12に示す。図中の％表示は、０°の値を基準にしたときの90°の変化率である。

引張強さは、すべての時効硬化処理条件において、1200MPa以上となり、450℃×10hの90°では1500MPaを超える高強度となった。

0.2％耐力も、引張強さと同様に、すべての時効硬化処理条件において、1100MPa以上となり、450℃×10hの90°では1400MPaを越える高耐力となった。

破断点伸びは、500℃×５h、450℃×10h、400℃×18hの順で低下し、時効硬化処理前よりも低い値を示した。

ヤング率は、すべての時効硬化処理条件において、時効硬化処理前よりも高弾性を示した。

ポアソン比は、時効硬化処理によって低下する傾向が見られたが、450℃×10hの90°のみ時効硬化処理前より高い値を示した。

ｎ値は、すべての時効硬化処理条件において、時効硬化処理前よりも高い値を示した。400℃×18hの90°は弾性域で破断に至ったため、ｎ値を測定することができなかった。

ｒ値は、いずれの時効硬化処理条件においても、最大応力点までの伸びが非常に小さく測定することができなかった。時効硬化処理前においては、０°は標点間距離のひずみが1.3％の時、90°は1.1％の時に測定した結果である。

試験片の採取方向の違いにおける変化率は、引張強さでは、時効硬化処理前、500℃×５h、450℃×10h、400℃×18hで、それぞれ4.5％、9.8％、9.4％、1.4％であり、時効硬化処理によって異方性は強くなる傾向が見られたが、400℃×18hのみ異方性が弱くなった。

0.2％耐力は、時効硬化処理前、500℃×５h、450℃×10hで、それぞれ4.8％、14.3％、14.2％であり、時効硬化処理によって異方性は強くなる傾向が見られ、その傾向は引張強さよりも顕著であった。400℃×18hの90°は弾性域で破断に至ったため、0.2％

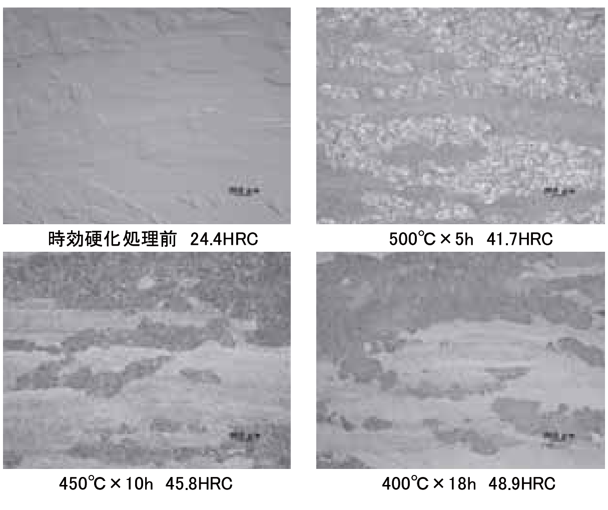


図１　試験片採取方向

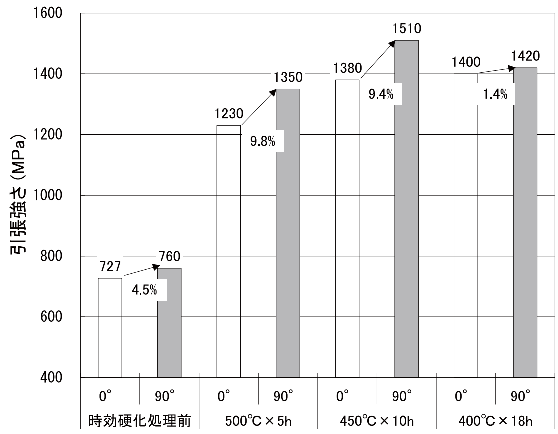


図６　引張強さ

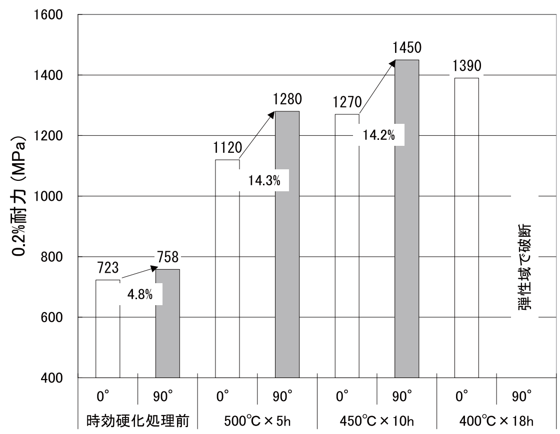


図７　0.2％耐力

【報告】

耐力を測定できなかった。

破断点伸びは、時効硬化処理前、500℃×５h、450℃×10hで、それぞれ－32.4%、－42.7%、－50%であり、時効硬化処理によって異方性は強くなる傾向が見られた。400℃×18hのみ、0°と90°の変化率が－16.7%と時効硬化処理前より弱い異方性を示すが、伸びの数値としては２%に満たず、延性に乏しかった。

ヤング率は、時効硬化処理前、500℃×５h、450℃×10h、400℃×18hで、それぞれ19.1%、8.4%、3.3%、9.1%であり、時効硬化処理によって異方性は弱くなる傾向が見られた。

ポアソン比は、時効硬化処理前、500℃×５h、400℃×18hで、それぞれ９%、4.3%、36.7%、6.1%であり、時効硬化処理によって異方性は弱くなる傾向が見られたが、450℃×10hのみ異方性が非常に強くなった。

ｎ値は、時効硬化処理前、500℃×５h、450℃×10hで、それぞれ－16.7%、－11.1%、25%であり、500℃×５hでは異方性が弱くなったが、450℃×10hでは異方性が強くなった。また、450℃×10hは０°よりも90°の方が高い値を示した。

ｒ値は、時効硬化処理前で111%と非常に強い異方性を示した。

### ３．２　曲げ試験

時効硬化処理前の試験片形状の違いによる曲げ弾性率の結果を表１に示す。JIS規格外およびJIS 2204　３号試験片の曲げ弾性率は、それぞれ０°で82GPa、81GPa、90°で92GPa、90GPaとほぼ等しい値を示し、相関がとれているためJIS規格外の試験片形状を用いても問題ないと判断し、以降にはJIS規格外の試験片を用いた結果を示す。

曲げ試験結果を図13に示す。図中の%表示は、０°の値を基準にしたときの90°の変化率である。

曲げ弾性率は、時効硬化処理前が82～92GPa程度、時効硬化処理後が106～114GPa程度となり、いずれ

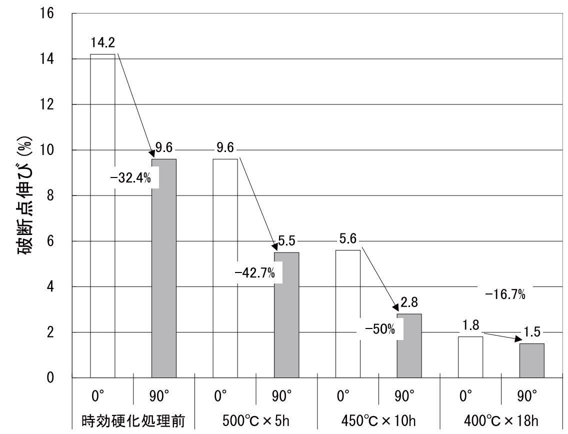


図８　破断点伸び

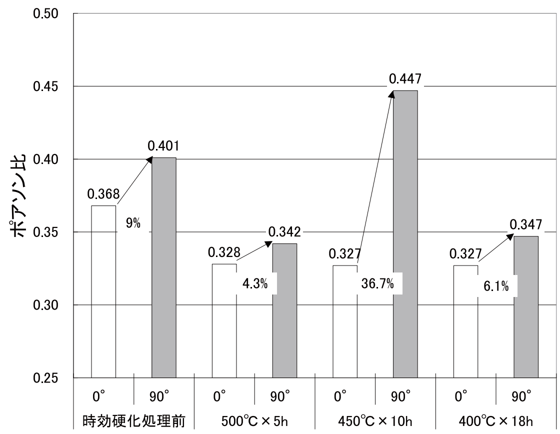


図10　ポアソン比

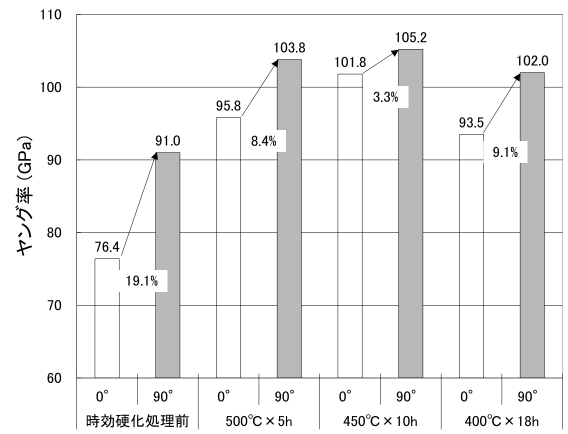


図９　ヤング率

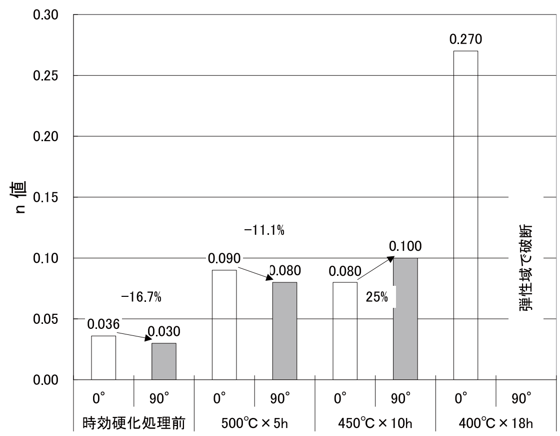


図11　ｎ値

の時効硬化処理条件においても、時効硬化処理前よりも高弾性となった。変化率は、時効硬化処理前、500℃×５h、450℃×10h、400℃×18hで、それぞれ12.1%、7.3%、5.7%、5.3%であり、時効硬化処理によって異方性は弱くなる傾向が見られた。

## ４．まとめ

β型チタン合金Ti-20V-3.5Al-1Sn板材（住友金属工業㈱製、溶体化処理材、ｔ＝1.76mm）について、試験片の採取方向を変え、さらに時効硬化処理前後の機械的性質変化を調べた結果、以下の知見が得られた。

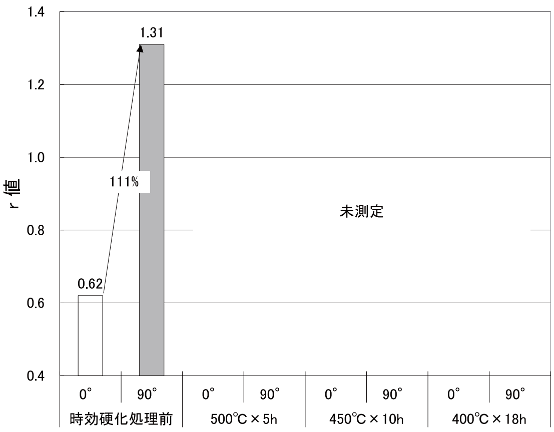


図12　ｒ値

表１　試験片形状の違い

| | 曲げ弾性率（GPa） | |
|---|---|---|
| | 0° | 90° |
| JIS規格外 | 82 | 92 |
| JIS Z 2204　3号試験片 | 81 | 90 |

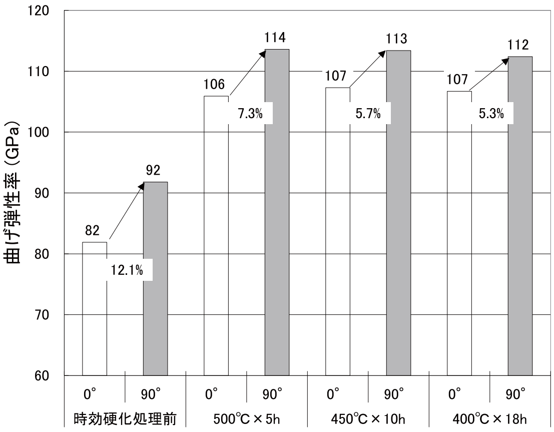


図13　曲げ弾性率

⑴　時効硬化処理前において、破断点伸び、ヤング率および曲げ弾性率の変化率は、±10%以上と強い異方性を示し、ｒ値においては111%と非常に強い異方性を示す。

⑵　時効硬化処理により、引張強さ、0.2%耐力、ヤング率、ｎ値および曲げ弾性率は上昇し、破断点伸びは低下する。

⑶　時効硬化処理により、引張強さ、0.2%耐力および破断点伸びの異方性は強くなる傾向である。

⑷　時効硬化処理により、ヤング率および曲げ弾性率の異方性は弱くなる。

ｎ値については、0.2%耐力点から最大応力点までのひずみ領域が小さく、ｒ値についても、板幅測定時のひずみが小さかったため、ばらつきが大きいと思われる。今後、低ひずみでの板幅測定は、板幅の変化率が非常に小さくなるので、より精度良く測定する方法を検討する必要がある。

本研究は、浜松地域チタン事業化研究会の協力のもと遂行しました。

## 参考文献（スタイル設定「参考・謝辞見出し」）

１）日本塑性加工学会編：チタンの基礎と加工，コロナ社