ばね用チタン合金 Ti-22V-4Al の特性*

Mechanical Properties of a Titanium Alloy Ti-22V-4Al for Springs

大宝 雄蔵**, 鈴木 昭弘**

Yuzo OHTAKARA · Akihiro SUZUKI

ばね材への適用の観点から、ベータチタン合金 Ti-22%V-4%Al の引張特性およびねじり特性を調査し、良好な特性を有することを確認した。

溶体化状態での引張強さは76kgf/mm²であり、冷間加工とその後の時効処理の組合わせで150 kgf/mm²以上の高強度が得られる。冷間加工性は良好であり、冷間加工後の絞り値は溶体化状態と同等である。時効硬化は冷間加工により促進される。0.2%ねじり耐力は0.2%引張耐力の約0.7倍となる。溶体化状態あるいは冷間加工状態の縦弾性係数は8000kgf/mm²であるが、時効処理により10300kgf/mm²となる。時効状態では析出 α 相が認められる。時効による機械的性質および弾性係数の変化は、この α 相の析出反応に起因する。

Tensile and torsion test are examined to evaluate mechanical and elastic properties of a beta titanium alloy, Ti-22%V-4%Al, for application of spring material. We confirm this alloy has good properties for spring material.

Tensile strength is 76kgf/mm² in solution treated condition and it increases over 150kgf/mm² by combination of aging with cold working. This alloy has good cold workability. Reduction in area keeps the level as large as the one in solution treated condition. Age hardening is accelerated by cold working. 0.2% proof stress in torsion is indicated by about 0.7 times of 0.2% proof stress in tension. Elastic modulus changes from 8000kgf/mm² in solution treated and cold worked condition to 10300kgf/mm² in aged condition. Microstructure in aged condition shows existence of precipitated alpha phase in beta matrix. Change of the above properties during aging is due to precipitated alpha phase.

1. 緒言

チタンは軽くて耐食性に優れることから、航空機産業や化学工業を中心に適用されているが、高価であり、ばね材としての利用実績は少ない。しかしながら、鋼に比べて弾性係数が低いこと、またとりわけ β 合金の場合には冷間成形が可能でありかつ熱処理による高強度化が図れることなど、ばね材として優れた特性を有している^{1),2)}。

本研究では、 β チタン合金のひとつである Ti-22V-4Al 合金³⁾ (以下 DAT51 と称す) について、ばね材への適用の観点からその機械的性質を調査したので、以下に結果を報告する。

2. 供試材及び実験方法

2.1 供試材

DAT51 はプラズマ積層(凝固炉⁴⁾)による一次溶解の後、真空アーク炉による二次溶解を実施し、1.8ton 鋳塊と

した。鋳塊の化学組成は Ti-21.68%V-4.03%Al (いずれも wt %) であり、不純物として 0.14% Fe および 0.11% [O] を含む (Table 1)。この鋳塊を鍛伸し直径 38mm および 22mm の棒材とした。これらの棒材を、 β トランザス (725°C) 直上の 750°C で 1 h 加熱保持し、その後水冷して供試材とした。なお 38mm 材は冷間加工材の特性評価に、22mm 材は溶体化材の特性評価に用いた。また析出相の同定は X 線回析法 (ターゲット Cu) によった。

Table 1. Chemical composition of testing material (Wt %)

Ti	V	Al	Fe	O	N	C	H
bal	21.68	4.03	0.14	0.11	0.017	0.017	0.017

2.2 実験方法

冷間加工はスウェジング加工によった。旋削加工により直径 36mm とした供試材を最大減面率 80% まで中間焼鈍なしで加工し、各種サイズで引張試験を実施した。

時効特性は、溶体化状態及び減面率 23, 40 並びに 80 % の冷間加工を施した試料を、300 から 650°C の範囲の

原稿受付日 1989年9月25日

* ばね技術研究会 昭和63年度秋季講演会にて発表

** 大同特殊鋼(株) (Daido Steel Co., Ltd)

各温度で、最長32 h 時効処理し、硬さ測定及び引張試験により評価した。また、一部の試料については、ねじり試験も実施した。

引張試験片は、平行部径 6 mm、標点間距離24mm、またねじり試験片は、平行部径 8 mm、標点間距離35 mmとした。

弾性定数は、引張試験及びねじり試験時の応力ひずみ曲線より算出した。

ミクロ組織は、2% HF と 1% HNO_3 の混合水溶液で腐食した後、光学顕微鏡及び電子顕微鏡により観察した。

3. 結果

3.1 冷間加工性並びに加工後の引張特性

80%までの冷間伸線では、割れは発生せず良好な表面肌であった。引張特性におよぼす冷間加工の影響を Fig 1 に示す。溶体化状態(加工率 0%)での引張強さは約76kgf/mm²であり、Ti-6Al-4V や Ti-13V-11Cr-3Al 合金に比べ軟質の合金といえる。80%の冷間加工により、約35kgf/mm²の加工硬化が生じ、約110kgf/mm²の引張強さとなる。また延性は冷間加工後も良好であり、とりわけ絞り値は80%加工後も溶体化まま材と同等である。

Fig.1. Effect of cold working on the tensile properties.

3.2 時効特性

溶体化処理材の300から600℃での時効硬化挙動を Fig 2 に示す。溶体化状態の硬さは HRC23 であり、時効に

より600℃では約28まで、また500℃では約41まで増加する。400℃以下の時効では、32 h の処理でまだピーク硬さに達していないが、その硬さは更に増加する。時効硬化の開始時間は、500から600℃付近が最も早く、約0.5 h である。

各種冷間加工率の試料の500℃での時効硬化曲線を Fig 3 に示す。冷間加工により時効反応は著しく促進され、23%の軽加工であっても0.25 h の短時間でピーク硬さとなる。しかし、冷間加工量による変化は少なく、23%加工材と80%加工材でピーク硬さは約 HRC2 異なるだけである。

Fig.2. Aging characteristics of solution treated specimens.

Fig.3. Effect of cold worked and aged condition on hardness.

Fig.4. Hardness and tensile properties of solution treated (a) and cold worked specimens (b) after aging for 8h.

溶体化材と80%冷間加工材を、300から650°Cの各温度で8h時効したときの硬さと引張特性をFig 4に示す。溶体化材の硬さピークは450°Cであるが、80%冷間加工材では50°C低温側にずれ、400°Cとなる。ピーク時と時効前の状態の硬さの差は、溶体化材で21、80%冷間加工材で19であり、両者はほぼ一致する。溶体化時効材の引張強さは、ピーク状態で約146kgf/mm²であり、その際の絞り値は17%である。いっぽう80%冷間加工材では時効のピークである400°C付近で延性低下による早期破断が生じる。早期破断をしない時効条件としては、本実験範囲においては450°Cが最も高強度であり、引張強さ約170kgf/mm²となる。

3.3 ねじり特性

0.2%ねじり耐力と0.2%引張耐力の関係をFig 5に

Fig.5. Relation of 0.2% proof stress between tensile test and torsion test.

示す。0.2%引張耐力 130kgf/mm^2 の試料(80%冷間加工後 500°C で8 h時効)の0.2%ねじり耐力は 90kgf/mm^2 であり、0.2%ねじり耐力($\tau_{0.2}$)と0.2%引張耐力($\sigma_{0.2}$)の比($\tau_{0.2}/\sigma_{0.2}$)は約0.7となる。

3.4 弾性係数

縦弾性係数は溶体化ままあるいは80%冷間加工ま

Fig.6. Typical microstructure of specimens.

Fig.7. X-ray diffraction profiles of (a) solution treated and (b) aged conditions.

の状態では 8000kgf/mm^2 であるが、 $500^\circ\text{C} \times 8\text{ h}$ の時効処理によりその値は約 10300kgf/mm^2 まで上昇する。また同時効材の横弾性係数は約 4000kgf/mm^2 である。

3.5 ミクロ組織

溶体化状態のミクロ組織を Fig 6(a)に示す。 β トランザス(725°C)直上で処理したため、 β 単相の再結晶組織となっている。80%冷間加工後 500°C で8 h時効した試料のミクロ組織を同図 6(b)及び(c)に示す。マトリックスである β 相は、冷間加工のため繊維状組織となり、そのなかに微細な折出相が認められる。X線回折結果を Fig 7 に示す。溶体化状態では β 相のピークのみであるが、時効後には α 相のピークが存在するようになる。前述の時効硬化あるいは弾性係数の変化はこの α 相の折出によるものである。

4. 適用

この合金は、冷間加工とその後の時効処理の組合せにより 150kgf/mm^2 以上の高強度を得ることができるので、弁ばねなどの軽量高強度を要望される各種ばねへの適用が考えられる。なお、別途、約3 mmの線材によりコイル外径約33mm、巻き数5のコイルばねを試作したことがあるが、その際には問題なく成形できていた。

5. 結 言

β チタン合金 Ti-22V-4Al の機械的性質を調査し、ばね用素材として良好であることを確認した。

- (1)溶体化材の引張強さは 76kgf/mm^2 であるが、冷間加工及び時効処理により 150kgf/mm^2 以上を得ることができる。
- (2)中間焼鈍なしで80%の冷間加工が可能であり、加工後も延性は良好である。
- (3)溶体化材の時効硬さは、 500°C では約4 hでピークとなる。またあらかじめ冷間加工を施すとその反応は著しく促進される。
- (4)0.2%ねじり耐力は、0.2%引張耐力の約0.7倍となる。
- (5)縦弾性係数は時効処理により上昇し、約 10300kgf/mm^2 となる。
- (6)時効後には折出 α 相が生成されており、時効によるこれらの特性変化はそれに起因する。

参 考 文 献

- 1) A. M. Sherman, SAE paper 800481
- 2) S. R. Seagle, R. Bajoraitis, C. F. Pepka, Springs, (1988), 5, 57
- 3) 福井彰一, 大宝雄蔵, 鈴木昭弘, 電機製鋼, 57 (1986), 4, 303
- 4) 加藤剛志, チタニウム・ジルコニウム, 32(1984), 2, 96