冷間圧延後に時効した β 型チタン合金の組織形態と機械的性質

○ 中村 裕哉 (京工繊大) 森田 辰郎 (京工繊大)
前田 尚志 (住金総研) 松本 啓 (住金総研)

Microstructure and Mechanical Properties of β -Type Titanium Alloy Aged After Cold-Rolling

Yuya NAKAMURA^{*1}, Tatsuro MORITA, Takashi MAEDA and Satoshi MATSUMOTO

^{*1}Dept. Mechanical & System Engineering, Kyoto Institute of Technology, Kyoto 606-0085

This study was conducted to examine the effect of aging after cold-rolling on microstructure and mechanical properties of β -type titanium alloy Ti-20V-4Al-1Sn. Aging was carried out at 473 K after cold-rolling of 30% reduction. The results showed that not only age-hardening was accelerated by cold-rolling but also the maximum hardness and static strength of the alloy were greatly increased. TEM micrographs suggested that the above phenomena were because a lot of dislocations which were introduced through cold-rolling gave preferential sites for α phase precipitation so that the phase was densely precipitated.

Key words: β -type titanium alloy, cold-rolling, aging, microstructure, mechanical properties

1. 結 言

β 型チタン合金は β 安定化元素である V を多量に添加したチタン合金であり、溶体化により β 単相(bcc 構造)とすることで高い冷間加工性を示し、また時効により微細な α 相を析出させれば著しく強度が上昇する⁽¹⁾。しかしながら、冷間加工後に時効した場合の組織変化や機械的性質の変化については、必ずしも系統的な知見が得られているとは言えない。そこで本研究では、溶体化した β 型チタン合金 Ti-20V-4Al-1Sn を冷間圧延した後に時効し、その際の微細 α 相の析出状態を透過型電子顕微鏡(以後、TEM)等により詳細に観察するとともに、組織形態と機械的性質との関係について調べた。さらに、得られた結果を同合金に時効のみを施した材料の場合と比較した。

2. 実験方法

2-1 供試材 まず、Ti-20V-4Al-1Sn 合金板材に 1123 K, 1.8 ks の条件で溶体化処理を施して β 単相とした。その後、圧下率 30% の条件で冷間圧延を行った。以後、溶体化まま材を ST 材、冷間圧延した材料を ST/CR 材と称する。冷間圧延が時効硬化に及ぼす影響を調べるため、ST 材および ST/CR 材に 748 K, 2.4~119 ks の条件で時効し、両材の時効曲線を調べた(図 1)。また、この結果に基づき、最大硬さとなる時間(ST 材:43.2 ks, ST/CR 材:4.8ks)時効した両材(以後、ST/AG 材、ST/CR/AG 材)を以下の各試験に供した。

2-2 組織観察および α 相の体積率 光学顕微鏡による組織観察は ST 材、ST/CR 材および両材の時効材(ST/AG 材、ST/CR/AG 材)について行った。その際、各材の圧延方向(L 方向)、圧延横方向(W 方向)および厚さ方向(T 方向)に垂直な面をエメリ研磨(#120~#2,400)およびバフ研磨(#3,000)により鏡面状に仕上げた後、クロール氏

液を用いてエッチングした試料を用いた。また、時効にともなう微細 α 相の析出状態を明らかにするため、ST/AG 材および ST/CR/AG 材については TEM 観察を行った。さらに、各材について X 線回折を行い、文献⁽²⁾に基づいて析出 α 相の体積率を推定した。X 線回折は、CuK α 線を用いて $2\theta=40\sim90^\circ$ 、測定刻み 0.02deg.、走査速度 1 deg./min の条件で行った。

2-3 硬さの測定および引張試験 各材の L, W および T 方向と垂直な面においてマイクロビッカース硬さを試験力 1.96 N の下で測定した。また、L 方向と W 方向を試験片軸とする試験片を用いて引張試験を行い、両方向の機械的性質を調べた。その際、試験片の表面および側面はエメリ研磨およびバフ研磨により鏡面状に仕上げた。

3. 実験結果

3-1 時効曲線 図 1 に示すように、ST 材では時効時間 10 ks に硬さが上昇を開始し、その後 43.2 ks で最高硬さを示した。一方、ST/CR 材では時効開始直後から硬さが上昇し、すでに 4.8 ks の時点で最高硬さに到達した。また、ST 材の場

Fig.1 Age-hardening curves (aging temperature:748K).

合と比較して、ST/CR 材の最高硬さは顕著に高い値を示した。

3・2 微視組織観察 図 2 に、ST 材および ST/AG 材の各方向から観察した組織およびその面の硬さの測定結果を、また図 3 には、ST/CR 材および ST/CR/AG 材のそれらをまとめて示す。

図 2 から理解されるように、ST 材では溶体化にともない全ての方向で結晶粒が等軸状であった。これに対し、時効した ST/AG 材においては α 相の析出にともない全域に渡って黒色化し、また ST 材と比較して著しく硬さが上昇していた。一方、図 3 に示すように ST/CR 材では冷間圧延により組織中にはすべり線が認められ、加工硬化により ST 材よりも硬さが上昇していた。さらに ST/CR/AG 材では黒色化には至らないものの、全体的に褐色化し、先述のように同材の硬さは ST/AG 材よりも高い水準に達していた。なお、以上の 4 種類の材料において、各面で測定した硬さは同

Fig.2 Microstructure of (a) ST and (b) ST/AG (43.2ks).

Fig.3 Microstructure of (a) ST/CR and (b) ST/CR/AG (4.8ks).

Fig.4 TEM micrograph of the aged materials:(a)ST/AG (43.2ks), (b)ST/CR/AG (4.8ks).

Table 1 Mechanical properties and volume fraction of α phase of each material.

		Young's Modulus (GPa)	Yield Stress (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Reduction in Area (%)	Elongation (%)	Volume Fraction of α Phase (%)
ST	L	76	657	665	45	35	0
	W	82	695	707	44	32	
ST/CR	L	80	695	802	37	24	1
	W	87	722	836	32	21	
ST/AG	L	104	1099	1219	11	10	42
	W	109	1150	1240	12	11	
ST/CR/AG	L	96	1204	1293	2	5	34
	W	101	1294	1366	2	4	

L : Longitudinal Direction W : Width Direction

程度であった。

図 4 に、ST/AG 材および ST/CR/AG 材における α 相の析出状態を TEM により観察した結果を示す。同図より、ST/AG 材における析出 α 相と比較して、ST/CR/AG 材の析出 α 相は小であり、またそれらはより密に析出していた。

3・3 機械的性質 表 1 に、各材の機械的性質を、後述する α 相の体積率と併せて示す。同表から理解されるように、ST 材および ST/CR 材ともに時効処理により大幅に静的強度が上昇した。特に、冷間加工を施した ST/CR 材に時効処理を施した場合には静的強度が極めて高い値を示したが、その一方で延性値は大きく低下した。

さらに、各材について L 方向と W 方向の静的強度を比較すると、時効材を含めて W 方向の方が高い値を示していた。これは、板材成型時の熱間圧延により、すでに集合組織が形成され、その後の溶体化や時効後においてもそのような集合組織が残存したことに起因すると推察される。

4. 考 察

以上のように、ST 材および ST/CR 材ともに時効により硬さおよび静的強度が上昇する点では同様であった。しかしながら、3・1 節で説明したように、冷間加工した ST/CR 材の場合には時効にともない早期に硬さが上昇を開始した。また、表 1 から理解されるように、ST/CR/AG 材の場合、その析出 α 相の体積率が ST/AG 材より低いにもかかわらず、硬さや静的強度は著しく高い水準となった(図 3、表 1)。このような ST/CR 材を時効した際に生じる事象は、冷間圧延により多数導入された転位が α 相の優先的な析出サイトを提供した結果、 α 相の析出が加速するとともに、同相が密に析出したためであると考えられる。実際、図 4 に示した TEM による組織観察の結果からも ST/AG 材より ST/CR/AG 材において α 相が密に析出している様子が認められた。

5. 結 言

β 型チタン合金 Ti-20V-4Al-1Sn に冷間圧延を行った後、時効処理を施したところ、溶体化まま材に時効した場合よりも、硬さおよび静的強度が短時間に著しく上昇した。このような冷間圧延にともなう時効の加速現象および硬さや静的強度の著しい上昇は、冷間圧延時に導入された多数の転位が優先的な α 相の析出サイトを提供した結果、同相が密に析出したためと考えられる。しかしながら、冷間圧延後の時効は上記のような顕著な強度向上をもたらす一方で、延性の低下を招いた。

文 献

- 1) T. Morita, W. Takahashi, K. Kawasaki, T. Maeda, Influence of cold-rolling and short-time aging on mechanical properties of Ti-20V-4Al-1Sn Alloy, J. Japan Inst. Metals, 70-10, (2006), 797-803.
- 2) W. Takahashi, A study of functional improvements of titanium alloy, Doctoral thesis of Kyoto University, (1995), 166-219.