

酸化物添加と還元雰囲気焼結法による ベータ型チタン合金の高強度・高靱性プロセス

(財) 鉄道総合技術研究所 森 久史 (株)JR 総研エンジニアリング 野田 雅史
(財) 鉄道総合技術研究所 松井 元英 森本 文子 岩瀬 研吾 辻村 太郎
千葉工業大学 船見 国男

1 はじめに

β 型チタン合金の高強度化と高靱性化は、主に β 相の固溶体強化と α 相の析出によって行われるのが一般的である。固溶体強化は主にアルミニウム等の添加が有効である。一方の α 相の析出は溶体化および時効処理、加工熱処理によって行われ、 α 相の形状、寸法および体積率を制御して行われる。析出 α 相の制御は高靱性化を可能にするが、 α 相の析出に伴う濃度変化とともに、 β 母相の固溶強化元素濃度が低下し、強度が低下する傾向が見られる。そこで、作成素粉末中に酸化物としてアルミナ添加を行い、還元雰囲気中における焼結で、アルミナの分解による α 相制御と β 相の固溶体強化と粒成長抑制を同時に行うプロセス技術を考案し、検討した。

2 適用技術の原理

当手法は、 β 当量となるように調整したFe, V, Cr粉末およびチタン粉末、アルミナ粉末を混合し、高温、高圧、還元雰囲気下において焼結する方法である。反応中、高温、高圧下での焼結時にアルミナを分解し、酸素より解離したアルミニウムを β 相内に固溶化し、また、 α 相に濃度勾配を与え、 β 粒径の過度な成長を抑制する。分解で発生する酸素は一部を固溶化し、余剰酸素をガスにより還元する。この時の系全体の自由エネルギーは次の通りである。

$$G_{total} = G_m + n \sum_{k=2}^r \left(\frac{\partial G_m}{\partial x_k} \right)_{x_j} \left(\frac{\partial x_k}{\partial n_i} \right)_{n_j} - n \left(\frac{\partial G_p}{\partial n_p} \right) - n \left(\frac{\partial G_g}{\partial n_g} \right)_{p,V}$$

ここで、第二項は多成分系の混合エネルギー、第三項は空隙の移動および第四項は還元反応エネルギーであり、析出および固溶に関するエネルギー変化は第一項目に含める。上式から平衡条件を得て化学ポテンシャルを求め、モル数、成分、分圧等を複数の条件の仮定と熱力学、相変態および高温変形機構を検討して反応温度、時間、圧力、還元ガス種類、ガス圧、流量等を決定する。

$$PV = \mu = \frac{\partial G_{total}}{\partial n}$$

ここで、 P は圧力、 V は体積である。

3 適用技術

Feを2%, Vを10%, Al_2O_3 を0.5%とし、残りをチタンとなるように配分した混合粉末を攪拌後、冷間等方静水圧プレス(490MPa)、水素雰囲気中において熱間静水圧プレス(1573K×4hおよび1073K×2h、いずれも110MPa)で成形した。成形後の金属組織は図1に示す2相混合の状態を得られ、TEMおよびX線回折により、析出相が α 相であり、母相が β 相であることが同定され、

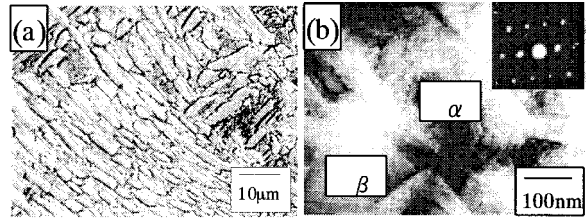


図1 (a) 光学顕微鏡組織および (b) 透過型電子顕微鏡組織と電子線回折

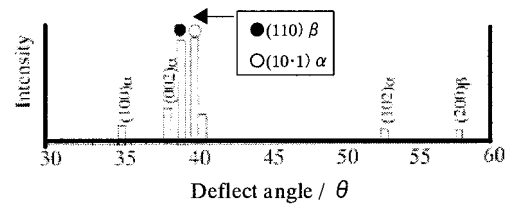


図2 X線回折結果

アルミナは残留していないことが確かめられた。金属組織は、 β 粒径が約100~160 μm であり、 β 粒内に α 相が板状析出した状態で認められた。当方法で作成した時には β 粒径の粗大化は生じておらず、靱性向上に有効なアスペクト比の小さい板状 α 相が得られる。引張試験および破壊靱性(1/2TCT)を行って、室温、大気中の0.2%耐力、引張強さ、伸びおよび破壊靱性を求めて同組成の casting material (Ti-10V-2Fe-3Al合金)と比較した結果を表1に示すが、強度並びに破壊靱性が増加した。

表1 引張試験および破壊靱性試験結果

	0.2%耐力(MPa)	引張強さ(MPa)	伸び(%)	破壊靱性(MPa $m^{3/2}$)
当材	900-950	1100-1350	10-15	50-65
鑄造材(比較材)	890-930	1000-1400	10-20	45-50

4 むすび

β 型チタンの粉末法による作成でアルミナ添加を行い、還元雰囲気下での焼結時にアルミナを解離させ、 α 相制御、固溶体強化、粒成長抑制を行って高強度・高靱性化のプロセス手法を提案した。その結果、高強度および高靱性が得られる組織の状態を得ることができた。今後は、 α 域および β トランザス付近での2段階焼結方法や作成条件の定量化等について検討してゆく。