チタンアルミ材バルブの開発

Development of Titanium Aluminide Valve

土　屋　雅　之*　　綱　島　　栄*　　橋　本　　尚*
Masayuki TSUCHIYA　Sakae TSUNASHIMA　Hisashi HASHIMOTO

要　旨

金属間化合物であるチタンアルミ材はレギュレーションの上限である40 GPa/(g･cm³)に近い高比剛性を持つ．高耐熱強度も兼ね備えており F1 エンジンのシリンダヘッドバルブに適用し高回転化に寄与した．真空焼鈍熱処理を開発してじん性向上をはかり，品質不具合を克服するために渦流探傷検査技術を最適化して加工工程で発生するマイクロクラック品の流出防止手法を確立した．

ABSTRACT

Titanium aluminide intermetallic compound has a high specific stiffness close to 40 GPa/g·cm^3, the maximum allowed under the regulations. The material also has high temperature strength and its use in the cylinder head valves of Formula One engines has contributed to achieving higher engine speed. Vacuum annealing has been developed to try to enhance fracture toughness, and a technique has been established to prevent products with micro-cracks from being shipped if they occur during processing, by optimizing eddy current inspection technology to overcome quality issues.

１．まえがき

チタンアルミ材(以下 TiAl)は 155 GPa のヤング率と 4.05 g/cm³の密度，高温高強度特性を持つ．チタン材を用いた動弁バルブ(以下バルブ)に代替適用することで，軽量高剛性化によりエンジン高回転化に寄与できた．しかし金属間化合物であるがゆえの低じん性と製造品質に起因するバルブ折損(Fig. 1)が頻発し，高じん性化と品質向上が必要となった．

Fig. 1　Broken valve

バルブ用の素材は真空アーク再溶解(VAR溶解)材を２度の押し出し工程を経て製造する[1]．この素材はヨーロッパの１社でしか生産しておらず[2]，バルブ完成までの工程分担や品質保証を含む交渉と開発，高回転化を目指すレースエンジン適用を同時に進めた．

２．開発技術

2.1. 高じん性化焼鈍熱処理

2003 年から材料規制で 40 GPa 以上の比剛性材料が禁止強化となったため，Table 1 に示すような Al 量を減少させた成分系に変更した．当初 VAR 溶解時の電極部垂れ落ちから Fig. 2 のような偏析組織が存在し，2003 年は全バルブの組織観察による品質選別をおこない，その後は VAR 溶解時の溶解棒短縮化と組織限度見本による品質選別手法を確立した．

一方，素材のＸ線回折相分析により材料組織がα２相(Ti_3Al)γ相(TiAl)β相(bcc-Ti)より構成されることが判明した．β相は金属相であるためじん性に寄与するが，本来その

＊四輪R&Dセンター

Table 1　Chemical composition of TiAl (atomic%)

	Al	Cr	Nb	Ta	B	Ti
2002	46.5	2.5	1.0	0.5	0.1	Bal
2003-2005	42.0	2.5	1.0	0.5	0.1	Bal

量は微量であり，バルブ用素材が加熱押し出し製法であるため準安定相として存在すると考えられた．また素材製造時の偏析や押し出し条件ばらつきによりβ相量は安定しなかった．

β相量を安定させて材料の伸びを向上させるために焼鈍熱処理を適用した．α２＋γ＋βの３相が存在する1000 ℃にて真空均熱焼鈍熱処理をおこない，その後アルゴンガスによる強制空冷をおこなうことで，β相量を 20 atomic% 以上に増加させた．機械特性評価結果を Fig. 3 に示す．２％以上の常温伸びと 800 MPa 以上の常温回転曲げ疲労強度が得られ，バルブの高強度と高じん性を両立した．

2.2. マイクロクラック探傷非破壊品質保証技術

TiAl 材の押し出し工程ではステンレスシースで被覆する．このため加工時に高延性のシース部と低じん性のTiAl部を両方削らねばならず，加工振動からクラックの可能性があった．また押し出し工程で素材に残留応力が存在することから，仕上げ加工時に発生するクラックも考えられた．開口しているクラックであれば蛍光探傷等の浸透探傷で検出可能だが，圧縮を伴う開口しないクラックが存在する場合があり，浸透探傷では検出できず流出させてしまう．Co-Ni材ボルトでも経験したが押し出し工程で製造した高強度材は研磨加工で圧縮を伴うクラックが入る場合がある．

クラック部の渦電流変化を検出する渦流探傷技術を最適化し非破壊品質保証をおこなった．渦流探傷はシースを除去したブランク加工後と完成加工後の二回おこない検出精度を高めた．加工代の残るブランク加工状態では比較的大きなクラックを検出でき有効であった．加工完成バルブへの渦流探傷は，新たなセンサプローブを開発し，ロボットアームを用いた位置決めおよびセンサとバルブギャップの最適化，信号処理フィルタ最適化によるノイズ防止をおこなった．この結果，実物バルブで深さ 100 μm のマイクロクラック検出を可能とし，テストピースでは深さ10 μmのマイクロクラックを検出可能とした．

Fig. 4 にバルブの渦流探傷の様子を示す．

2.3. 効果

インレットバルブ軽量化ではそれまでのチタンバルブに対し 2002 年は 6.0g の軽量化と +600 rpm の高回転化に寄与し，2003 年は 2.4 g の軽量化と +240 rpm の高回転化に寄与した．

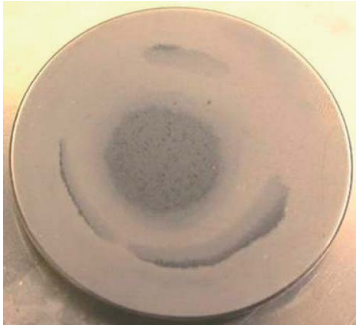

Fig. 2　Segregation structure of valve

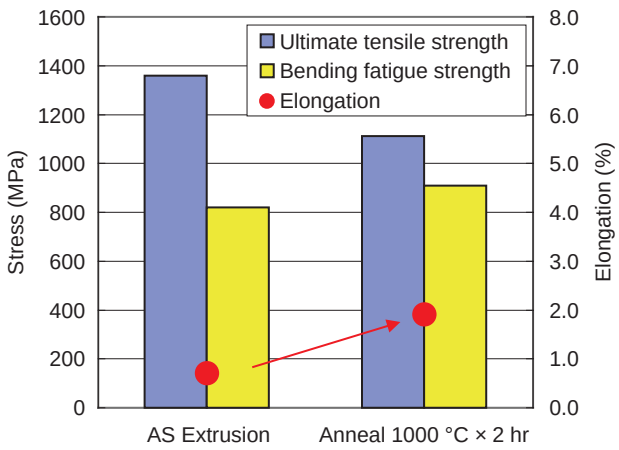

Fig. 3　Mechanical properties of TiAl

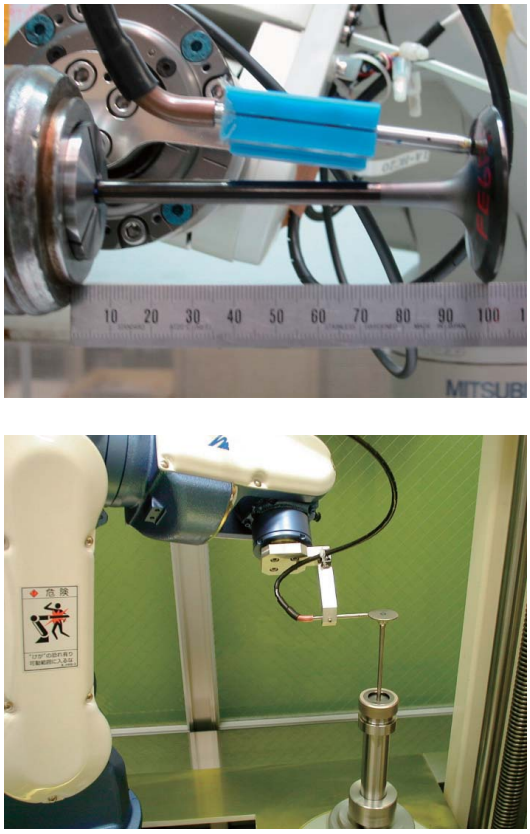

Fig. 4　Method of eddy current inspection

３．結論

真空焼鈍熱処理と渦流探傷法により長距離信頼性を保証した軽量TiAlバルブを開発し，インレット，エキゾーストバルブに適用しエンジン高回転化に寄与した.

参考文献

（１）特開 2000-24748
（２）http://www.mwracing.eu/

■著　者■

土屋雅之

綱島　栄

橋本　尚