

チタン中空バルブの開発と冷媒バルブの研究

Development of Titanium Hollow Valve and Study of Sodium-potassium Valve

真 田 泰 平*

Taihei SANADA

要 旨

溶接部位の強度を保証しつつ最大限に中空化するバルブ仕様を確立し4.4 gの軽量化を達成、レースへ適用した。さらにチタンバルブに冷媒を封入する高品質耐酸化プロセスを確立し、バルブ高温部を 100 °C以上冷却する技術を開発した。冷却効果により中空部の拡大が可能となり、吸気バルブで 4.8 g、排気バルブでも 4.6 g の軽量化を進めた。実機 2 レースイベント耐久試験は終了したが、吸気バルブは冷媒の熱交換影響による出力低下が発生し、排気バルブも一部耐久性の課題が残った。

ABSTRACT

Valve specifications with the largest hollow area possible while still assuring the strength of welded areas were established, achieving a weight reduction of 4.4 g per valve, and applied to races. In addition, a high-quality oxidation resistant process was established for filling titanium valves with sodium-potassium, and technology that cools the high temperature areas of the valve by 100°C or more was developed. These cooling effects enabled expansion of the hollow area, further reducing the weight by 4.8 g per intake valve and 4.6 g per exhaust valve. Engine 2-race event durability tests were completed, but the intake valve experienced a drop in output due to the effects of sodium-potassium heat exchange, and some issues with exhaust valve durability also remained.

1. ま え が き

2006年以降、レギュレーションにより金属間化合物のエンジン部品への適用が禁止された。このためチタンアルミ(以下 TiAl, 密度 4.05 g/cm³, ヤング率 155 GPa)のバルブをチタン合金(吸気バルブの場合, 密度 4.65 g/cm³, ヤング率 114 GPa)へ変更する必要がある。

チタン合金(以下 Ti)を用いてバルブを軽量高剛性化しエンジン高回転化するためには、傘部と軸部の中空化が必須となった。また Ti バルブへの冷媒封入を検討し、さらなる中空部の拡大による軽量化を目指した。

2. 開発内容

バルブ中空構造の開発と冷媒封入技術の確立により、軽量高剛性 Ti バルブの開発をおこなった。

2.1. バルブ中空構造開発

傘部の中空化は傘部の掘り込み加工、プラグ軽圧入、電子ビーム溶接(以下 EBW)、応力緩和熱処理の工程とした。

*四輪R&Dセンター

傘部の断面写真を Fig. 1 に示す。EBW はバルブ傘の燃焼室面からおこない、プラグ(Plug)外周を十分に溶かす深さとした。溶接部は熱処理組織が破壊され疲労強度が未溶接部の 30%に低下するため、傘中実バルブ同等の部品強度を保証する未溶接部の残肉厚量(Non-welded area)を傘の単体疲労テストより設定した。Fig. 2にテスト結果を示す。残肉厚の要件は 1.27 mm 以上とした。

残肉厚量の要件を満たして傘部を最大限に中空化し、軸部の中空化と合わせて中実バルブに対し 4.4 g の軽量化を達成した。

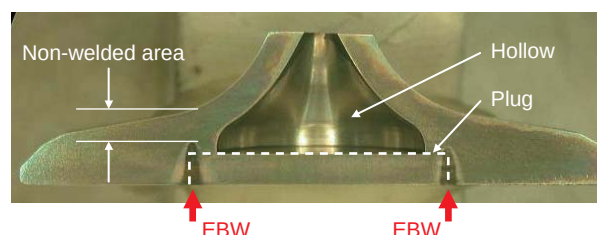


Fig. 1 Section of hollow head of intake valve

2.2. Ti 冷媒バルブ開発

冷媒として使用されるナトリウム(以下Na)やナトリウムカリウムは活性なため、空気中で容易に酸化する。またチタンの酸化物生成標準自由エネルギーはNaとカリウム(以下K)より低い⁽¹⁾ため、酸化した冷媒をTiバルブ内に封入するとバルブ内壁が酸化し強度低下を引き起こす。よってTi冷媒バルブには冷媒材料を酸化させずに封入するプロセスが必須となる。

冷媒排気バルブの断面写真を Fig. 3 に示す。傘部と軸部を中空とし、冷媒を中子(Inner plug)と軸端プラグ(Stem end plug)で密封する構造とした。

冷媒の封入設備と注入の様子を Fig. 4 に示す。中空部への酸素混入を防ぐため、冷媒注入前にグローブボックスで中空部をアルゴン(以下 Ar)へ真空置換した。酸素濃度は10 ppm 以下とした。冷媒材料は常温で液体の Na-78 wt

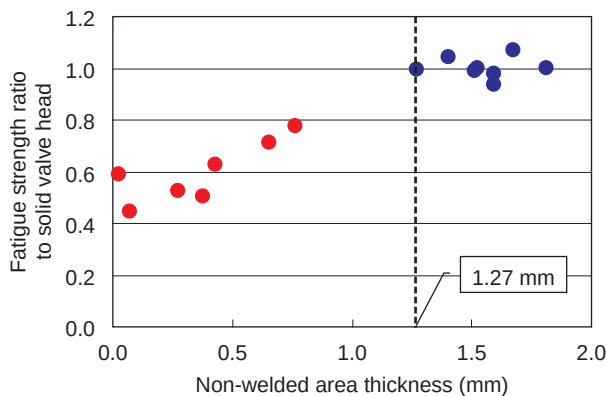


Fig. 2 Fatigue test results for welded valve head

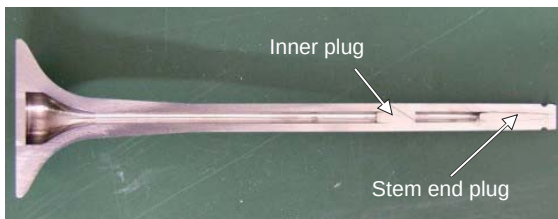


Fig. 3 Section of exhaust NaK valve

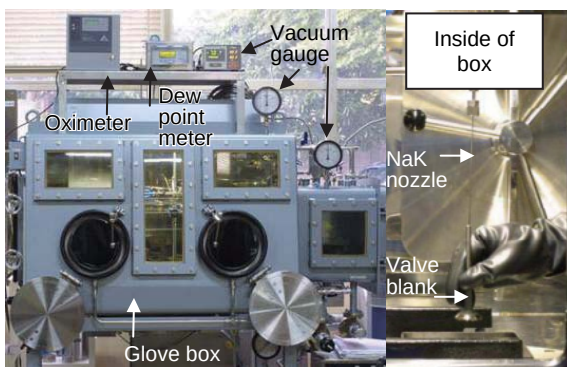


Fig. 4 NaK filling facility and filling operation

Table 1 Comparison of current and NaK valves

	Intake valve			Exhaust valve		
	Current	NaK	Difference	Current	NaK	Difference
Temperature (°C)	718	544	-174	840	737	-103
Fatigue strength (MPa)	227	615	+130%	126	211	+67%
Valve weight (g)	35.1	30.3	-4.8	32.7	28.1	-4.6

%K(以下NaK)を選択し、ボトルから注入ノズルを介してバルブ内へ直接注入することで酸素に触れる機会を最小限とした。封入量は中空部での流動性を考慮し、中空容積の50%とした。

グローブボックスの内部には、中子と軸端プラグを圧入するプレス器を設置し、NaK注入後に密封をおこなった。最後に大気中で軸端面をレーザ溶接し完全密封した。

3. 実機テスト結果

3.1. 冷媒による温度低減効果

傘部温度低減効果の確認のため、傘中央に焼入れした耐熱鋼のチップを埋め込み、エンジン運転後の硬度変化からバルブ温度を推定した。結果を Table 1 に示す。吸気バルブは174℃の温度低減により素材の疲労強度が130%改善し、4.8gの軽量化が可能となった。排気バルブは103℃の温度低減により素材の疲労強度が67%改善し、4.6gの軽量化が可能となった。

3.2. エンジン性能、耐久性

冷媒吸気バルブは、モータリングテストで500rpmの限界回転数向上が確認されたが、性能テストでは5kWの出力低下が発生した。体積充填効率の低下が起きていたことから、冷媒の熱交換により傘裏側や軸が温度上昇して吸気が暖められ、吸気の充填率が低下したと推定する。

冷媒排気バルブは実機耐久テストで2レースイベントを終了したが軸端溶接部に微小クラックが見られた。仕様を凍結するホモロゲーションエンジン提出の期限がせまり、クラックの対策時間が取れず、適用を見送った。

4. まとめ

- (1) 部品強度を落とさない傘部溶接技術を確立し、中空化により Ti 中実バルブに対し 4.4 g の軽量化を達成した。本バルブは 2006 年の第一戦からレースへ適用された。
- (2) Ti 冷媒バルブのための耐酸化高品質プロセスを完成した。バルブ高温部で 100 °C 以上冷却効果が確認され、吸気バルブ 4.8 g、排気バルブ 4.6 g の軽量化を可能とした。
- (3) 冷媒封入により十分な冷却効果が確認されたが、吸気バルブにおいては体積充填効率の低下が一因と思われる出力低下が発生する場合がある。

参考文献

- (1) 腐食防食協会：腐食・防食ハンドブック，丸善，p.32 (2000)

■ 著 者 ■



真田 泰平