

YZF-R1における材料技術

Component Technologies Developed for YZF-R1

小池俊勝 Toshikatsu Koike 伊藤寿浩 Toshihiro Itoh
栗田洋敬 Hirotaka Kurita 大須賀 勝 Masaru Ohsuga

●技術本部 基盤技術研究室

1 はじめに

高機能な商品は高機能な部品を必要とする。パワーと軽さを高い次元で兼ね備えたマシン、YZF-R1には新しい材料技術を採用入れた部品がいくつか実用化されている。そのうちの主なものについて紹介する。

2 技術の概要

2.1 ピストン

高回転、高出力型エンジンのピストンには繰り返しの爆発に耐えられる十分な強度はもちろんのこと、軽さが強く要求さ

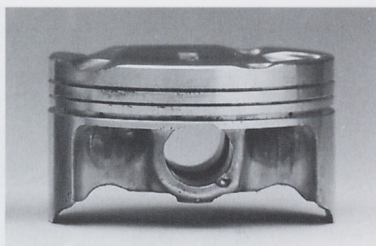


図1 制御鍛造ピストン

れる。軽いピストンは自身の慣性質量を低減させ、エンジンのパフォーマンスを向上させるとともに、コンロッドやクランクシャフトへの負担を軽減し、エンジン全体を軽量でコンパクトにするのに役立つ。ピストンの材料には高Si-アルミ合金が一般に使われており、成形方法としては金型 casting が主流である。これはここ70年間変わっていない。しかし金型 casting ピストンは欠陥をゼロにはできないこと、铸造性のよい合金しか使えないことなどから、今以上の薄肉軽量化を行うには材料技術的に限界に達している。1996年から本格的に市販車への採用が始まった制御鍛造ピストン（図1）は、高強度のアルミ合金を使った軽量ピストンをリーズナブルなコストで供給することを目的として開発したものである。YZF-R1に採用している連続铸造材AHSG（鍛造品）の化学成分とS-N線図を金型铸造ピストン材のJIS AC8Aと比較して表1、図2にそれぞれ示す。AHSGはCuを多く添加して時効硬化性を高めたことと、鍛造による組織微細化の相乗効果により、JIS AC8Aに比べて疲労強度が約30%向上している。

铸造欠陥のない高強度なアルミ合金が使えるようになったことで、従来の限界を打破るピストンの薄肉軽量設計が可能になった。

表1 化学成分

| | Si | Cu | Mg | Ni | Fe | Mn | Cr | Al |
|---------|-------|------|------|------|------|------|------|----|
| AHSG | 11.50 | 3.90 | 0.40 | - | 0.20 | 0.18 | 0.12 | 残 |
| JISAC8A | 11.80 | 1.00 | 1.30 | 1.20 | 0.19 | - | - | 残 |

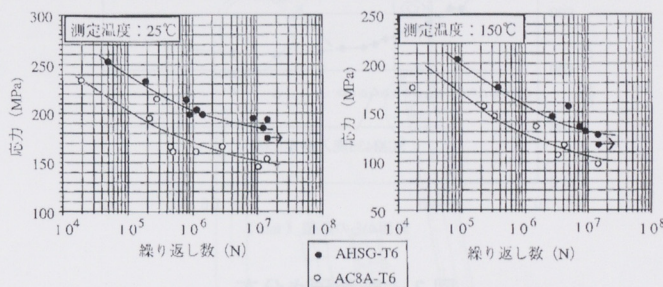


図2 S-N線図

2.2 コンロッド

コンロッドは、ピストンの上下運動を回転運動に変えるためにピストンとクランクシャフトを連結している部品である。高回転、高負荷状態で使用されるコンロッドは信頼性を確保しつつに軽量化するかということが技術課題のひとつであり、材料には次の3つが特に要求される。

- (1) 慣性力や爆発力に耐える高い疲労強度
- (2) 弾性変形を小さく抑える高いヤング率
- (3) 軸受け部の高面圧に耐える十分な耐摩耗性

現在のところこれらの特性をすべて満足し、かつコストとのバランスが最も優れているのは鉄鋼材料である。なかでも低炭素合金鋼に表面から炭素を浸入させて硬化させた浸炭焼入れ材は、図3に示すような高い表面硬さを備えることによって、高い疲労強度と耐摩耗性を同時に満足させることができる。一方、運転時のコンロッドには、引張りや圧縮方向の荷重だけではなく、曲げや荷重も複合的に作用する。また実際のコンロッド形状には応力集中部が存在する。このためコンロッドの薄肉軽量化を高いレベルで実現するためには運転時の荷重条件のもとでコンロッドの各部にかかる応力をできるだけ正確に把握して限界設計を行う必要がある。材料研究グループでは、運転時に近い荷重条件のもとで応力集中部の応力を実験的に測定できるコンロッド実体試験法を確立し

ている。繰り返し過重下で試験を行うことによって疲労寿命の相対的な比較も可能である。図4に同一コンロッド形状、同一荷重条件で材料を変えた場合の試験結果の一例を示す。浸炭焼き入れコンロッドは、従来の焼き入れ焼戻しコンロッドに比べ約2倍の応力に耐えることがわかる。

高強度な材料と実体試験技術を活用することによって、軽量のコンロッド（図5）を短期間で実用化するのに貢献した。

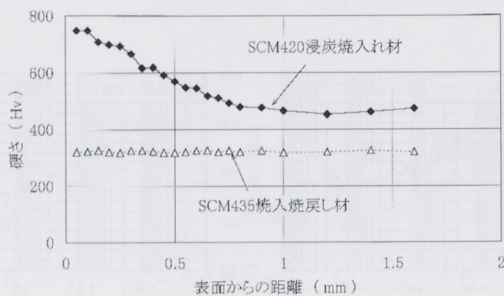


図3 断面硬さ分布

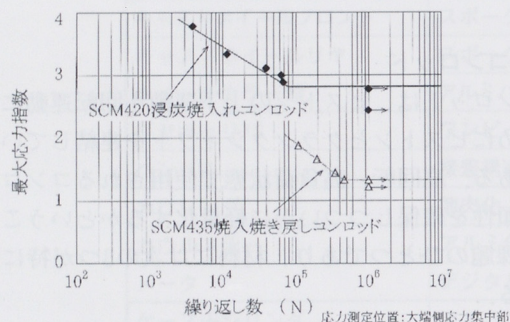


図4 実体疲労試験結果

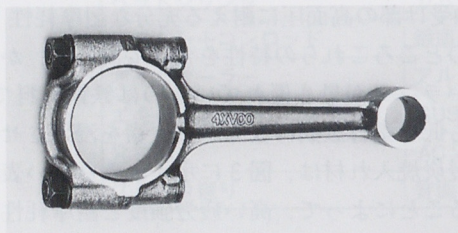


図5 浸炭焼入れコンロッド

2.3 シリンダブロック

表2 高性能エンジン用シリンダブロックの要求機能

| | |
|---|------------------------|
| 1 | 耐摩耗性、耐焼付性に優れたボア面を有すること |
| 2 | 放熱性がよいこと |
| 3 | 軽量、コンパクトであること |
| 4 | 剛性が高く、変形が少ないこと |
| 5 | 低コストであること |

表2にシリンダブロックの要求機能を示す。高性能モータサイクルのシリンダブロックには、軽量で放熱性に優れたアルミ合金鋳物が使われる。一般にアルミ合金は鉄鋳に比べて硬さが低いため、アルミ合金製シリンダブロックにおいては、ボア面の耐摩耗性をいかに確保するかということが重要な技術課題の一つである。課題を解決する方法として、鉄鋳ライナをシリンダブロックの鋳造時に鋳包むか圧入する方法が一般的であるが、近年、より高いレベルの軽量化と放熱性向上を目的として、鉄鋳ライナに変えてボア面にニッケルコンポジットめっきを施したシリンダブロックが、当社の高性能エンジンにおいては主流になりつつある。ニッケルコンポジットめっきは耐摩耗性、耐焼付性も鉄鋳と同等以上の性能を示すことが実証されている。YZF-R1においては、より一層の薄肉設計を可能にするクランクケース一体型のシリンダブロック構造とし、鋳造法にはダイカストが採用さ

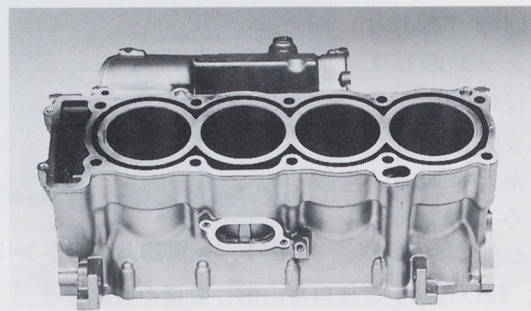


図6 クランクケース一体型シリンダブロック

れている（図6）。しかし一般にダイカスト材はマイクロボアを多く内在するため、ダイカスト材の上に直接良好なめっき皮膜を形成することは困難である。マイクロボアをほとんど発生させないPF（Pore Free）ダイカストのような技術も世の中にはあるがコスト高となる。YZF-R1では、ボア面のマイクロボアを皆無にする手段としてアルミ合金押し出しライナ（以下、本ライナという）の鋳包み構造を新たに採用した。本ライナは以下の特性をすべて満たすべく材質選定を行った。

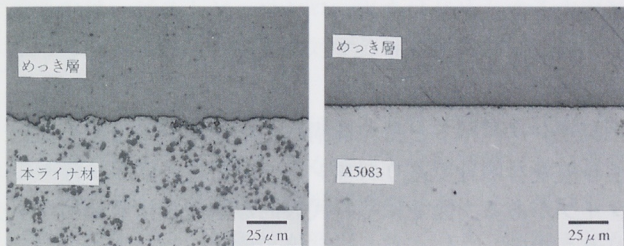
(1) ニッケルコンポジットめっきとの密着性がよいこと。

図7に本ライナ材とめっき層界面、および一般展伸材とめっき層界面のマイクロ組織を示す。めっき層との界面が平滑である一般展伸材のような場合にはアンカ効果が期待できず、めっきの密着性は低くなる。本ライナにおいては、高Si添加アルミ合金の採用とめっき前処理工程の工夫により、ライナ材とめっき層の界面が微細な凹凸形状になるようにした。この界面形状によるアンカ効果によって高い密着性を得

ることができる。

- (2) めっき下地としての強度、硬さを有すること、
時効硬化性を高めるCuの添加と熱処理条件の最適化により、十分な強度と硬さを確保している。
- (3) 熱膨張率がシリンダブロック材と近いこと、
運転時に発生する熱によってライナの外径側にすきまが生じたり、熱応力が発生して変形や割れが生じたりする可能性を低くするため、ライナ材とシリンダブロック材の熱膨張率はできるだけ近いことが望ましい。本ライナでは合金中のSi量をシリンダブロック材と同じレベルとすることにより熱膨張率をシリンダブロック材とほぼ同じ値としている。

ダイカストのシリンダブロックにニッケルコンボジットめっきのボア面を組み合わせられるようになったことで、要求機能を高いレベルで満足させるシリンダブロックを実用化した。



(a)本ライナ材とめっき層界面 (b)A5083とめっき層界面

図7 めっき層界面のミクロ組織

2.4 ハンドル

軸部を中空パイプとし、根元部と接合する構造のハンドル（図8）は、一体構造のハンドルに比べて大きな軽量化効果が期待できる。接着剤による接合は、大がかりな設備や後仕上げ行程を必要とせず、外観も美麗に仕上げるができることなどから合理的な接合方法のひとつである。信頼性の要求される構造部品に使用される接着は構造接着とよばれ、航空機（図8）の機体や自動車のブレーキ部品において多くの実績がある。今回のYZF-R1への適用にあたっては以下の点について特に注意を払った。

(1) 接着剤の選択：

被着体が金属である場合に高い接着強度と耐久性が得られる、1液加熱硬化型エポキシ系接着剤を選定した。

(2) 接合構造：

接合部の構造を図9に示す。接着面に剥離方向の荷

重がかかるのを低減するため、インサート構造とした。さらに、強度と信頼性の向上を目的として、単位長さあたりの表面積を拡大し、接着剤層の厚みを均質化できるネジ構造とした。また、この構造は硬化するまで接着部を固定する役割も兼ねる。

(3) 工程管理：

被接着面の清浄度、接着剤の塗布量を始めとする全行程の管理を細部にわたって行うことによって、安定した品質を確保できるようにした。

本技術は軽量化の有効な手段として、車体部品を中心に幅広い適用が考えられる。

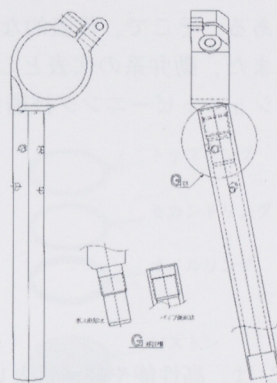


図9 ハンドル構造

3 おわりに

ここに紹介したのは、いずれも高い機能をリーズナブルなコストで実現できる汎用性の高い技術である。今後も新しいニーズにこたえられる材料技術の開発と実用化に努め、お客様に感動を味わっていただける商品作りに貢献していきたいと考えている。

●著者



小池 俊勝



伊藤 寿浩



栗田 洋敬



大須賀 勝