

チタンエキゾーストパイプの開発

Development of Titanium Exhaust Pipe

宗 村 岳*
Takeshi MUNEMURA

山 田 裕*
Hiroshi YAMADA

大 沼 孝 之**
Takayuki OHNUMA

要 旨

F1エキゾーストパイプ軽量化のためにチタン化を目指した。チタン材の針状化熱処理、耐酸化コーティング、サンドイッチプレス製法、精密鑄造製法開発により20%の軽量化を達成した。本仕様のレース適用は成らなかったが、軽量チタンエキゾーストパイプの技術を確立した。

ABSTRACT

This paper discusses the use of titanium exhaust pipes for Formula One race cars in weight reduction. Newly developed processes for titanium material including heat treatment providing an acicular structure, oxidation resistant coating, sandwich press forming, and investment casting manufacturing have achieved a 20% weight reduction. This specification was not applied to race cars but provides technology for lightweight titanium exhaust pipes.

1. 背景と目的

F1のエキゾーストパイプ(以下エキパイ)は車両の上部に搭載され、また単体重量も大きいことから軽量化による車体運動性能向上への影響が大きい。エキパイ材料は高温強度と加工性に優れるインコネル 625(比重:8.5 kg/cm³)が一般的であるが、低比重であるチタン合金(比重:4.5 kg/cm³)の組織制御、耐酸化性の向上と形状製法を開発し、材料置換によるエキパイの軽量化を目指した。

2. 開発技術

2.1. 高温強度

エキパイ構造を Fig. 1 に示す。プライマリ、コレクタ、テールで構成される。材料は神戸製鋼製 KS Ti-9 板材、精密鑄造 Ti-64 材を用いた。

チタン合金は 600 °C を超える高温環境下では強度が低下する。高温強度、耐クリープ性の向上のために、完成形状で1000 °Cの針状化熱処理をおこない、組織コントロールをおこなった。Fig. 2に示すとおり、800 °C以下の温度域まで比疲労強度はインコネル 625 を上回り、材料置換を可能とした。

* 四輪R&Dセンター

**ホンダエンジニアリング(株)

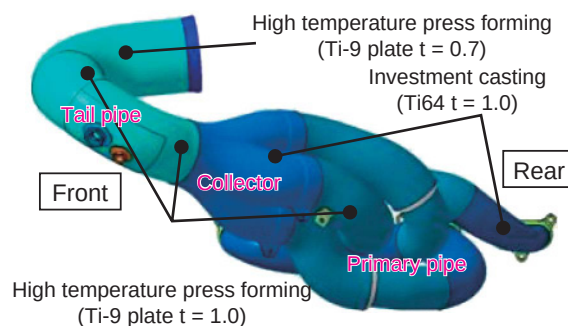


Fig. 1 Structure of exhaust pipe

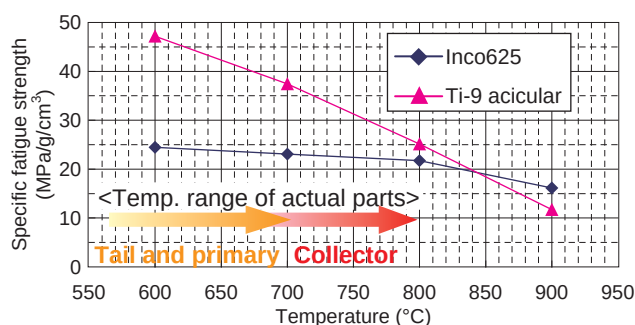


Fig. 2 Specific fatigue strength

2.2. 耐酸化性

チタン合金は高温環境下では酸化が急速に進むため、耐酸化被膜が必要である。アルミニウムを内部拡散させる処理を開発し、チタンアルミ層を表層に形成させ、950℃大気暴露で十分な耐酸化性を確保した。パイプの内面も含めた全面に安定した膜厚の耐酸化被膜を得ることと材料組織制御熱処理を両立する工程を Fig. 3 に示す。Fig. 4 に示すような 30 μm の安定的なチタンアルミ耐酸化被膜を実現した。

2.3. 加工性

薄肉軽量化と形状自由度の向上のため、板プレス成形部品と精密鑄造部品を組み合わせる溶接した。

2.3.1. プレス成形

チタン合金は常温伸びが小さいため、材料伸びがインコネル材相当となる 600℃以上の熱間プレス成形が必要となった。しかし薄板材は熱容量が低く、炉出し後急激に温度が低下するため割れが避けられなかった。両面をステンレス板でサンドイッチし保温することでプレス成形を可能とした(Fig. 5)。ステンレス板は保温とプレス寸法精度を両立するために1.0 mmとした。このステンレス板は型と

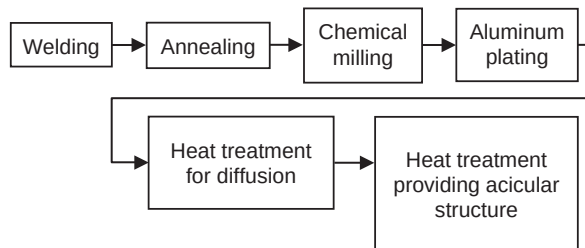


Fig. 3 Process of coating and heat treatment

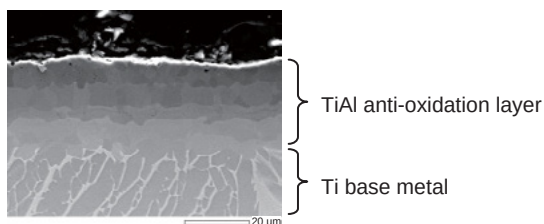


Fig. 4 Cross section of anti-oxidation coating

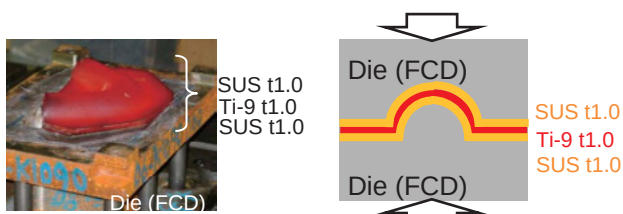


Fig. 5 Process of press forming

チタン合金板が直接触れることを防ぎ、かじり抑制にも役立った。

2.3.2. 精密鑄造

複雑形状のコレクタの薄肉鑄造は実績がなく、またロストワックス鑄造では形状変更を求められるレースでの短納期に対応できない。ラピッドプロトタイピング(RP)模型を用い、レベキャスト法(減圧吸引法)を適用することで対応した。また、減肉酸洗を併用し、目標である 1.0 mm 板厚と 30 日納期を達成した。Fig. 6 にその工程概要、Fig. 7 に外観を示す。

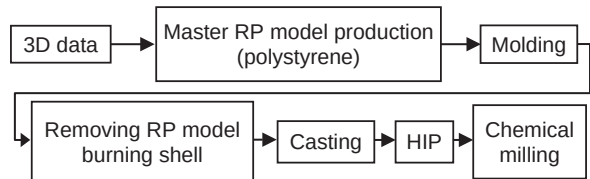


Fig. 6 Process of casting



Fig. 7 Casting collector and primary transitional pipe

3. 結果

エキパイアセンブリで1台あたり 1400 g(20%)の軽量化を達成した(Fig. 8)

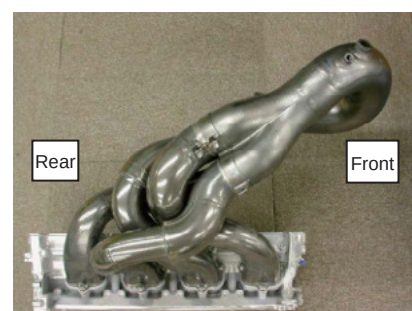


Fig. 8 Full titanium exhaust pipe assembly

4. まとめ

2007年仕様のエキパイはエンジン出口から前方に向かいその後折り返して後方に開口する独特のレイアウトだった。

折り返し形状に起因する高応力発生部位が実走テストで破損に至り、レース適用はならなかった。しかしながら、2006年仕様(ストレートに車両後方に開口するレイアウト)では約 1200 km 使用し耐久性を確認した。

以上より部品形状最適化されたエキパイのチタン化による軽量化を可能とした。

■著 者■



宗村 岳



山田 裕



大沼孝之