

中空クランクシャフトの開発

Development of a Hollow Crankshaft

溝 上 清 信*
Kiyonobu MIZOUE

川 人 康*
Yasushi KAWAHITO

溝 川 謙*
Ken MIZOGAWA

要 旨

軽量高品質の中空クランクシャフトをフリクション接合で実現した。ジャーナルのオイル通路を中空構造とし、平均油圧で 500 kPa 向上(圧損低減)と 400 kPa の脈動振幅低減、および最低油圧を 600 kPa 向上の効果があった。また、コンロッドベアリングのクリアランスを調整して、1 kW の性能向上と 1200 km 超の耐久性およびベアリング磨耗の抑制を確認した。レース投入はできなかったが、実用的な Honda F1 初の 10 kg 以下の中空クランクの見通しを得た。

ABSTRACT

A hollow crankshaft of light weight and high quality was realized through the use of friction welding. The oil passage in the journal was made a hollow structure, and this had the effect of increasing average oil pressure by 500 kPa (reducing the pressure drop), reducing the pulsation amplitude by 400 kPa, and raising the minimum oil pressure by 600 kPa. The connecting rod bearing clearance was also adjusted and confirmed to yield 1 kW of performance enhancement and over 1200 km of durability as well as curbing bearing friction. Although this new crankshaft was never used in a race, this developed technology has provided the prospect of the first hollow crankshaft of 10 kg or less for practical use in the Honda Formula One.

1. まえがき

F1エンジンの高回転高出力開発において、クランクシャフト(以下クランク)の耐久信頼性は必須である。併せて、ピンとジャーナルしゅう動部の低フリクション化と軽量化、およびねじり共振に対する高剛性化が必要とされる部品である。コンロッドの中空構造の他部品への水平展開として 2003 年末より軽量高剛性中空クランク開発を進めていた。一方、国際自動車連盟(FIA)は、2006年から「溶接は、前後のメインベアリングジャーナル間で許されない。」と明文化したため、溶接による中空構造クランクは投入不可能になった。そこで、2005年に中空クランクの構造製造技術を確立しレース投入を目指した。

中空クランクを成立させるため、最重要となる接合部の強度と精度を安定させる接合技術、接合部の加工精度向上やバリ除去などにより品質保証する製造技術が必要であった。

2. 中空構造の接合技術の確立と品質保証

中空構造構築のため、接合位置と強度成立性の検証および接合方法の選定をおこなった。高品質高精度な V10 中空

クランク製作にあたり、5連のフリクション接合(以下FW接合)の精度を向上させ、接合バリ残りや加工および窒化の変形に対する品質保証を実施した。中空構造および断面を Fig. 1 に示す。

2.1. 中空構造仕様

中空の接合位置と最適形状はCAE検証から、Fig. 2 で示すジャーナル中央の接合を選択した。

中空ピン径：φ34 mm(ジャーナル肉厚：6 mm)で強度要

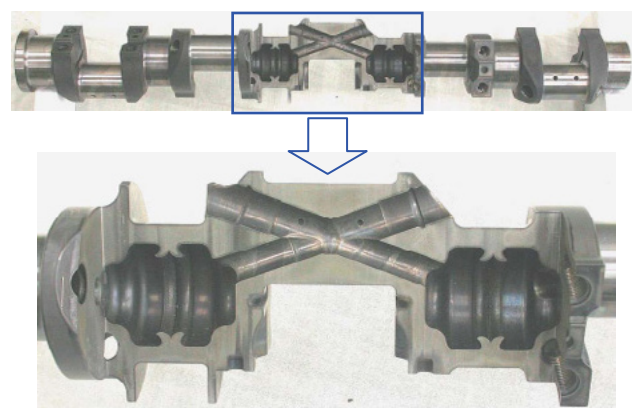


Fig. 1 Section of hollow crankshaft

件の成立見通しを得た。爆発荷重による曲げ応力は中空構造で緩和され中実より応力が低くなった。慣性荷重も中空の影響は小さく、中実のφ33ピンより中空φ34ピンの方が低応力となった。

2.2. 接合技術と強度確認

電子ビーム溶接(EBW)、拡散接合、FW接合の3製法に対して、単体の疲労強度で比較評価をおこない、接合部で素材同等の強度が得られたFWに仕様決定した。

2.3. 5連FW接合

基本条件を、回転数1900 rpm、予備圧10 ton、予熱時間9.5 sec、アップセット圧30 ton、アップセット量9 mmとした。接合面の面粗度を向上し、接合前の洗浄でアセトン脱脂を実施した(Fig. 3)。

FW接合の条件設定のポイントは、フラッシュ形状をできるだけ立て、メディアが挟まらないようにしたことである。

5連の接合に対して、ワークをつかむ回転側チャックの共ぐり加工(boring together)をおこない、軸芯を出して突き当て精度を向上させた。これにより、ワークのつかみ接触面が多くなり固定側の保持剛性も向上した。また、装置癖は、ワーク突き当て部に厚さ調整シムを用いて軸ずれ補正をおこなった。5連のFW接合(180°位相反転しながらの接合)では、0.5 mm以内の振れ量の目標に対し、最大でも0.35 mmに抑えることができた(Fig. 4)。

2.4. 中空部品質保証

FW接合した中空部はオイル通路も兼ねるため、バリ落ちに対する完全な品質保証が必要であった。まずFW条件でフラッシュを安定させ形状をコントロールした。Fig. 5に示すように、泡バリ(スケール)や加工バリ、およびスパッタは、窒化後に鋼球を使った振動パレルとキャビテーション洗浄で除去した。また、全数をマイクロスコープで確認し保証をおこなった。中空内部の窒化品質をFig. 6に示す。フラッシュ中央部は窒化されないものの、接合部と中空部全体で均一な窒化を確認した。2.5スローの接合品の単体テストで、ベース同等の強度を確認した。

2.5. 熱処理と加工完成精度保証

熱処理の変形に対して、クランクミラー加工品を専用治具として矯正焼入れ法で条件を設定した。振れ量が1.0 mmを超えたものは、曲がりの矯正をした。加工精度は、基準ずらし偏芯センタを使用し、中空部の仕上がり偏肉量をミニマム化した。ジャーナル中空部の肉厚ねらい値 6 ± 0.75 mmに対して 6 ± 0.3 mm、偏肉量最大0.55 mmを達成できた。

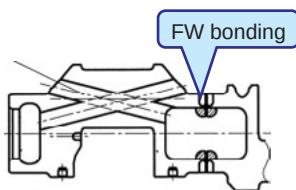


Fig. 2 Journal joint

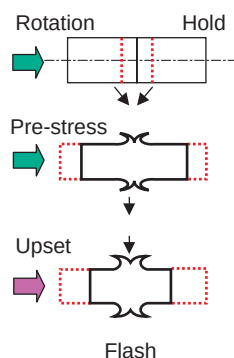


Fig. 3 FW bonding



Fig. 4 Friction bonding



Fig. 5 After cleaning

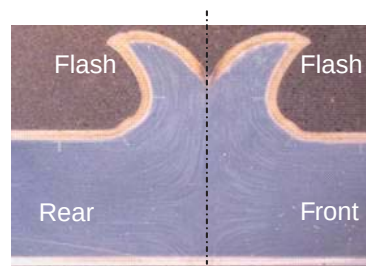


Fig. 6 Nitride of FW section

3. 結果

中実6.55 kg(ウエイト付10.3 kg)に対して、中空5.75 kg(ウエイト付9.5 kg)で0.8 kgの軽量化を達成し、Honda F1 クランクとして初めて10 kg以下を実現した。中空クランクシャフトの給油改善効果は、油圧脈動によって負圧であった瞬間最低油圧が500 kPa回復し、耐久性の見通しも得た。

4. まとめ

高回転高出力の F1 レースエンジン用としての要求特性を満足する中空クランクシャフトの製造技術を確立した。

中空化を信頼性の高い FW 接合で実現し、中空部を油路として使うための清浄度とクランクシャフトの精度を保証可能な生産技術を確立した。

本開発技術で、従来のクランクシャフトに対して 8% の軽量化と、従来構造では得られない油圧脈動低減効果を確認し、実用耐久性で見通しが得られた。2006 年からレギュレーションで溶接クランク構造が禁止され、実戦に投入されることはなかった。

謝 辞

本 FW 接合技術と品質保証にご協力いただいた(株)ホンダエンジニアリングの大沼孝之、松尾伸樹の両氏に対し、誌面を借りて厚く御礼申し上げます。

■ 著 者 ■



溝上 清信



川人 康



溝川 謙