

(論文)

組立型クランク軸用鋳鋼スローの熱間ロール加工法の高度化

Application of Advanced Hot Rolling to Cast Steel Crankthrows for Semi-built-up Type Crankshafts



吉田泰正*
Yasumasa Yoshida



高橋洋一*(工博)
Dr. Youichi Takahashi



久保亮貴**
Ryouki Kubo

Micro-shrinkage is unavoidable in cast steel crankthrows. In order to consolidate micro-shrinkage in the product surface area, hot rolling is applied to the pin and fillet area of cast steel crankthrows. To further improve quality, a hot rolling method for the fillet taper area was developed. Micro-shrinkage consolidation of the hot rolled fillet taper area was verified. Currently, hot rolling of the fillet taper area is applied to all cast steel crankthrows.

まえがき = 大型船舶の推進用機関である 2 ストロークディーゼルエンジンに使用されているクランク軸の一例を、写真 1 に示す。このように非常に大型の部品であるため、一体物で製造することは不可能で、通常、図 1 に示すように、回転の中心軸であるジャーナル軸と、偏心部であるクランクスロー（以下、スロー）とを焼ばめにより結合して製作する。写真 2 にスローの例を示す。このスローには鋳鋼製と鍛鋼製の 2 種類があり、表 1 にそれぞれの特徴を示す。鋳鋼品は余肉の少ないニアネットの形状が作れること、生産性が高いなどのメリットがある一方、その内部に不可避的に存在するミクロシュリンケージにより、疲労強度は同一の引張強度を持つ鍛鋼品と同等とはみなされていなかった¹⁾。鋳鋼製スローにおいては、鋳造・製鋼技術の改善、材料開発、応力集中部位であるフィレット部の疲労強度を大幅に向上させる「冷間ロール加工」技術²⁾の適用などにより信頼性向上を図っており、鋳鋼製スローを使用したクランク軸の生産量は世界全体の約 30% に達している。

近年のエンジンのコンパクト化・高出力化に伴い、クランク軸の信頼性向上に対するユーザからの要求もますます厳しくなっており、当社では、さらなる信頼性の向上、高強度化技術の開発に取り組んでいる。

その取組みの一環として、製品の仕上表面近傍に残存する鋳鋼品特有のミクロシュリンケージを、熱間での塑性加工により圧着・消失させることにより、材料の信頼

性を向上させる“熱間ロール加工法”を開発し、その有効性を確認した。この結果に基づき、当社高砂製作所内（鋳鍛鋼事業部）に実機加工装置を 1999 年に設置し、実用に供している³⁾⁴⁾。

エンジンメーカ、ライセンサからのさらなる材料の信頼性向上の要求に応えるために、熱間ロール加工の加工範囲を従来のピン・フィレット部（図 2）に加えて、フィレット傾斜部に拡大するための技術開発を行い、実機



写真 1 組立型クランク軸
Photo 1 Build-up type crankshaft

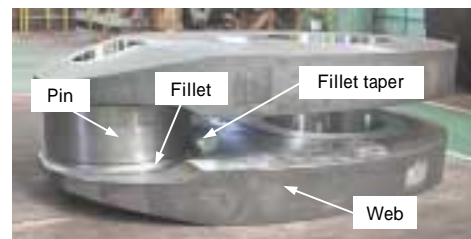


写真 2 クランクスロー
Photo 2 Crankthrow

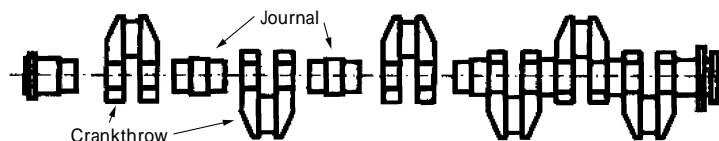
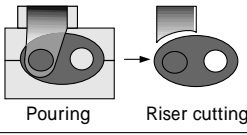
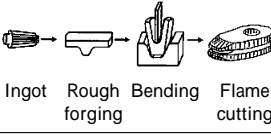


図 1 焼ばめによるクランクスローとジャーナル軸の結合
Fig. 1 Connection of crankthrows and journals by shrink fitting

* 鉄鋼部門 鋳鍛鋼事業部 技術部 ** 鉄鋼部門 鋳鍛鋼事業部 製造部

表 1 鋳鋼スローと鍛鋼スローの特徴

Table 1 Characteristic of cast steel and forged steel throw

| Cast steel | Forged steel |
|---|--|
| Manufacturing method | |
|  |  |
| Merit | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Near net shape • High productivity | <ul style="list-style-type: none"> • Possible to consolidate internal cavity by forging |
| Demerit | |
| <ul style="list-style-type: none"> • A little lower fatigue strength as compared with forged steel | <ul style="list-style-type: none"> • Low productivity |

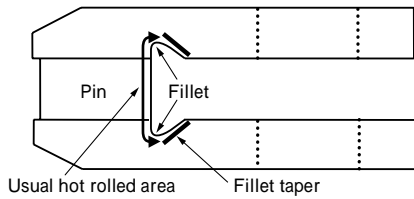


図 2 熱間ロール加工範囲
Fig. 2 Hot rolled area

適用化を実現した。

そこで、本報ではフィレット傾斜部への加工範囲拡大を目的とした加工用ロールの開発、実機への適用結果について述べる。

1. 熱間ロール加工装置

1.1 装置の構成

図 3 に熱間ロール加工装置の模式図を示す。また、写真 3 に熱間ロール加工装置を示す。

本装置は大きくは次の 2 つに分けて構成されており、それぞれの機能および特徴を次に記す。

a) ターンテーブルおよび加熱バーナ

鋳鋼スローをターンテーブル（直径：5m，最大トルク：5.5t・m）上にクランプし、回転させながらピン部、フィレット部を表面より加熱する。加熱には LNG と純酸素を燃料として用いたバーナを使用する。

b) 加圧装置本体

加圧装置（加圧力最大 130t）は、スローの加熱中は後方に退避しており、加工を行うときだけ前進させて使用する。加圧装置本体は、C フレーム構造になっており、その左右に油圧シリンダが取り付けられている。このシリンダの先端に取付けたワークロールとバックアップロールでピン部・フィレット部をはさみ込んで加工を行う。加工量はシリンダの位置制御にてコントロールし、ロールの破損防止のためロール強度に応じて加工圧力リミットを設定できるようになっている。

1.2 加工用ロール

フィレット部およびピン部の加工には、それぞれ図 4 (a), (b) に示す形状のワークロールを用いる。それぞれのロールは、実際のスロー形状に合わせロール径やロール間隔の異なるものが用意されている。(b) のピン用ロールにおいては、ロール全体を上下に移動させること

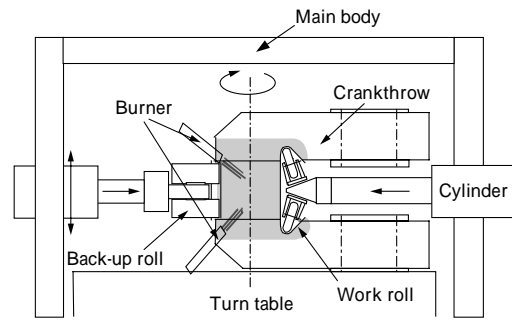


図 3 熱間ロール加工装置の模式図
Fig. 3 Schematic description of hot rolling equipment



写真 3 熱間ロール加工装置
Photo 3 Hot rolling equipment

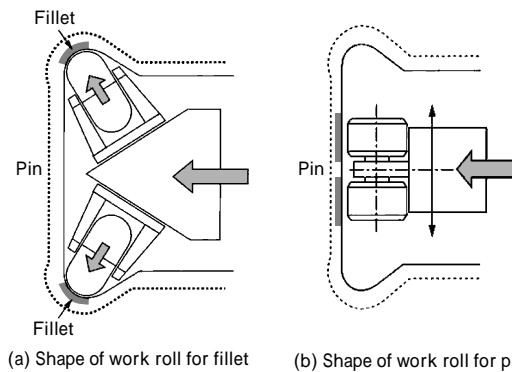


図 4 フィレット用・ピン用ワークロールの形状
Fig. 4 Shapes of work roll for fillet and pin

により、少ないロール数にて広い範囲をカバーできる。

2. フィレット傾斜部用ワークロールの検討

フィレット傾斜部加工用ワークロールとして、種々検討を行った結果、従来のフィレット部用ワークロールの構造をもととした、図 5 に示すようなピン部、フィレット傾斜部同時加工型ワークロールを考案した（ピン側、フィレット傾斜部側ワークロールが一体で回転する構造）。

しかしながら、本構造のワークロールにて加工を行う場合、加圧装置本体（図 3 の Main body）が浮上ることが予想された。これは、以下の事情による。熱間ロール加工における加工荷重は、図 6 に示すようにロール押付荷重と横向荷重となり、横向荷重については、ワークロール側とバックアップロール側は逆方向となる。この差が浮上り力を発生させる力となり、図 7 に示すように、加圧装置本体の支点との距離で決まる浮上りモーメントとして作用する。従来のピン部、フィレット部の加工においては、ワークロール側の横向荷重： F_{tw} とパッ

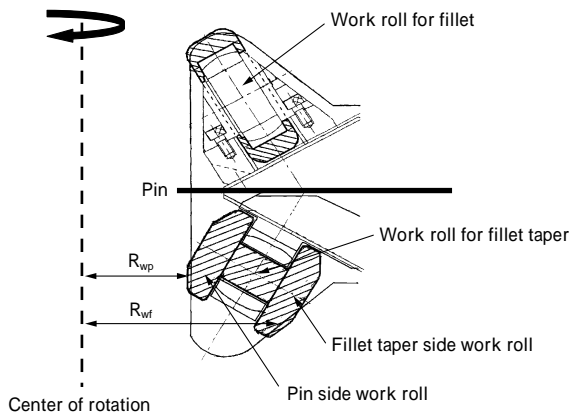


図5 フィレット傾斜部用ワークロールの形状
Fig. 5 Shape of work roll for fillet taper

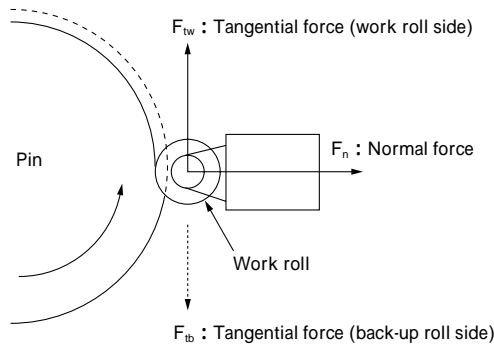


図6 加工荷重
Fig. 6 Working force

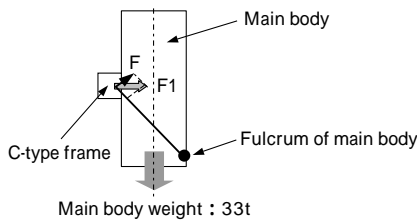


図7 加圧装置本体の浮上がり発生力
Fig. 7 Lifting force of main body

クアッパロール側の横向荷重： F_{tb} の差： $F_{tw} - F_{tb}$ が加圧装置本体の浮上りを起こす限界値よりも小さいため、加圧装置本体の浮上りは起こらない。

一方、ピン部、フィレット傾斜部の同時加工においては、ワークロール側の横向荷重とバックアップロール側の横向荷重の差が浮上りを発生させる限界値以上になることが考えられ、加圧装置本体の浮上りが発生することが予想された。この横向荷重差が大きくなる原因としては、ピン部の回転半径： R_{wp} とフィレット傾斜部の回転半径： R_{wf} が異なるため（ $R_{wf} > R_{wp}$ ）（図5）、ロール加工において、ワークロール側の横向荷重が従来のピン部、フィレット部の加工に比べて過大になると考えられるからである。

そこで、このワークロールのピン側、フィレット傾斜部側の周速が異なる点についての解決策を種々検討し、ピン側のワークロールとフィレット傾斜部側のワークロールがそれぞれ独立に回転する構造（独立回転構造）（図

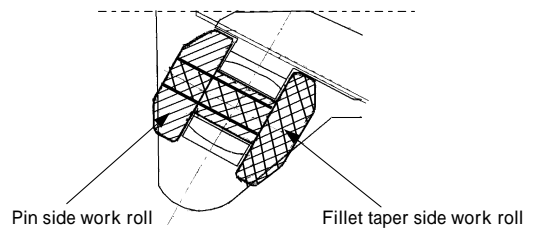


図8 ピン側、フィレット傾斜部側ワークロール独立回転構造
Fig. 8 Independent rotating structure of pin side and fillet taper side work roll

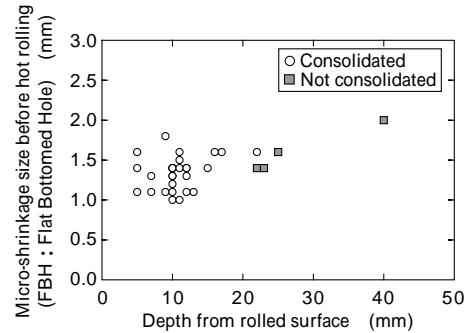


図9 ミクロシュリンケージ圧着深さの調査結果
Fig. 9 Result of consolidated depth examination

8)とし、横向荷重の低減を図ることとした。本ロールにて加工試験を行ったところ、加圧装置本体の浮上がりは発生せず、問題なく加工できた。そこで、フィレット傾斜部用ワークロールとして、ピン側とフィレット傾斜部側のワークロールが、それぞれ独立に回転する構造を採用することとした。

3. フィレット傾斜部への熱間ロール加工の効果確認

フィレット傾斜部に熱間ロール加工を施した場合の表面近傍のミクロシュリンケージ圧着効果を、実機スローにて熱間ロール加工前・後で超音波探傷を行い、調査した。図9に調査結果を示す。熱間ロール加工により、約20mm深さまでのミクロシュリンケージが消失していることが確認された。これは、従来のピン部、フィレット部の熱間ロール加工の効果と同様の効果であり、フィレット傾斜部に熱間ロール加工を適用することにより、ピン部、フィレット部と同等の品質向上効果が得られることが確認された。

むすび=フィレット傾斜部への熱間ロール加工は、現在当社において生産されるすべての鋳鋼製スローに適用され、信頼性の向上に貢献している。

今後は、本技術の活用などによる鋳鋼製クランク軸のさらなる信頼性の向上・高強度化を進め、エンジンのコンパクト化・高出力化に対する顧客の皆様方のご要望に応えていきたい。

参考文献

- 1) IACS UR M53 : Calculation of Crankshafts for I. C. Engines.
- 2) M. Nishihara et al. : 9th International Congress on Combustion Engines (1971) A5 .
- 3) 落 敏行ほか : R & D神戸製鋼技報, Vol.52, No.1(2002) p.11.
- 4) 落 敏行 : 塑性と加工, Vol.44, No.507 (2003) p.96 .