

# スプリットピン形状を有する クランクシャフトの焼入れ工法開発

Development of Induction Hardening Method for Split-Pin Crankshaft

浅野 司<sup>\*1</sup>  
Tsukasa Asano

\*1 エンジン事業部 生産技術部

## 要旨

新開発3.3L V型6気筒ディーゼルエンジンF33A-FTVの主要部品であるクランクシャフトは、乗用車向けでは日本初(当社調べ)となる、スプリットピン形状を採用している。この形状に対し、従来の焼入れ工法を適用するとピン部の熔融回避と焼入れ深さ品質確保の両立ができないという課題が発生した。本稿では、この課題を隣接するピンのコイルに流れる電流を逆方向にするという新工法により解決したため報告する。

キーワード：スプリットピン、高周波焼入れ

## Abstract

The crankshaft of new V6 type engine has split shape Pin which is first case for passenger car in Japan. It is difficult to apply conventional induction hardening method to split shape Pin due to the problem that both prevention of melting Pin and securing hardening depth are not achieved at the same time. In this article, it is shown that the difficulty is resolved by opposite direction of current in the coils of induction hardening.

Keywords : split shape Pin, induction hardening

## 1. はじめに

新開発3.3L V型6気筒ディーゼルエンジンは、従来V型8気筒ディーゼルエンジンからのコンパクト化・軽量化を実現するために主要部品であるクランクシャフトにスプリットピン形状を採用している。この形状は、中間ウェブを介さず直接ピン部同士を連結するもので、ピンオフセット角を30度にするにより、隣接ピンとのラップ量が増加し、直接連結が可能となっている(図1)。

このスプリットピンクランクシャフトの量産加工ライン(国内乗用車初\_当社調べ)を実現するなかで、加工各工程のリスク評価と実証試験により焼入れ工程において課題があることが明らかとなった。

本稿では、この焼入れ工程の課題を新工法にて解決したため報告する。

### 通常のV6クランクシャフト



### スプリットピン クランクシャフト

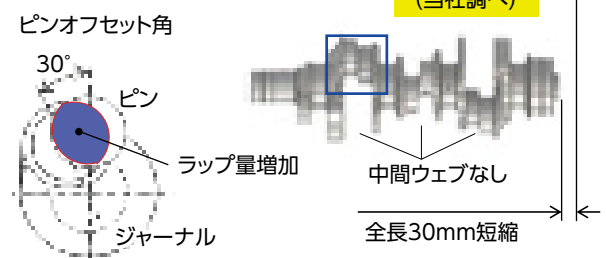


図1 スプリットピンクランク形状  
Fig.1 Shape of Split-Pin Crankshaft

## 2. 高周波焼入れ

クランクシャフトのピン部には、耐摩耗性と耐疲労強度を確保するために、ピン表面からの一定以上の焼入れ層深さが要求される。

焼入れとは、鋼をオーステナイト組織の状態に加熱後、急冷することによりマルテンサイト組織の状態に変化させることをいう。本焼入れ工程においては、10～30kHzの高周波電源を用いた高周波焼入れを採用している。

高周波焼入れの加熱原理は、ワークに発生するジュール熱を利用したものである。コイルの中にワーク(導電体)を置き、高周波電流を流して交番磁束を発生させると電磁誘導によりワークに渦電流が生じる(図2)。この渦電流が発生するとワークの電気抵抗によりジュール熱が発生し加熱される<sup>[1]</sup>。

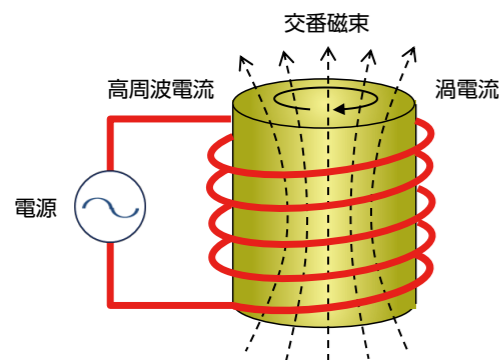


図2 誘導加熱の原理  
Fig.2 Principle of Induction Hardening

量産ラインでは、高周波焼入れを採用することが多く、今回の焼入れ工程においても採用している。その理由を以下に示す。

- ①直接加熱のため熱効率が良く短時間の加熱で済む
- ②短時間加熱、急冷処理のため酸化、脱炭、変形が少なく、圧縮残留応力による耐疲労性も向上する
- ③短時間加熱のため、設備を小型化できる

## 3. スプリットピンの焼入れ方式

スプリットピンの焼入れにおいて、従来同様にピンを1箇所ごとに加熱を行うと加熱1回目で形成された焼入れ層を加熱2回目でもう一度加熱することとなり、硬度低下する可能性がある。そのため、本形状においては、二箇所同時加熱による焼入方式を採用している(図3)。

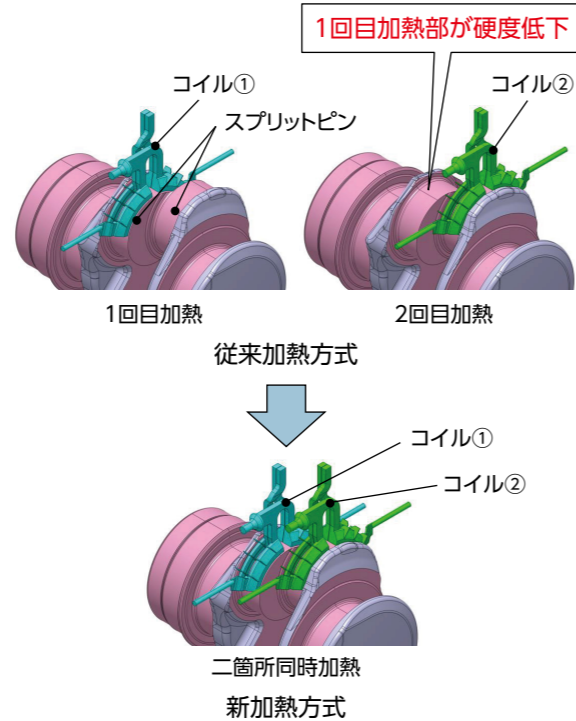


図3 従来加熱方式と新加熱方式  
Fig.3 Comparison of old and new heating method

## 4. 課題

二箇所同時加熱方式でスプリットピンの焼入れを行う場合、ピン部の溶融回避と焼入れ深さ確保を両立させることが課題となる。

同時加熱の際、隣接コイルによる入熱が加わることで、熱容量が小さいピン角形状に磁束が集中することにより溶融が発生する(図4-1)。溶融は入熱量を減らすことで解消できるが、その背反として焼入れ深さを満足することができない。これらの両立範囲は、量産ラインで管理可能な電力範囲の50%程度であり、量産困難である(図4-2)。

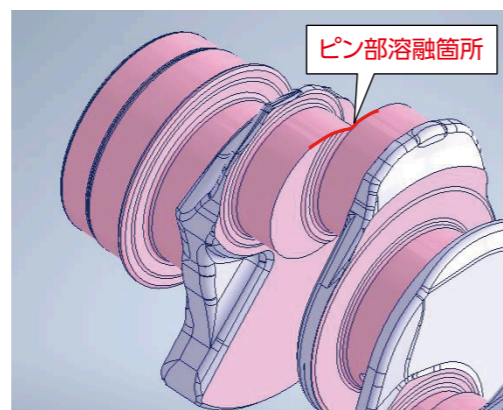


図4-1 品質不良発生部位  
Fig.4-1 Melted portion of Split-Pin

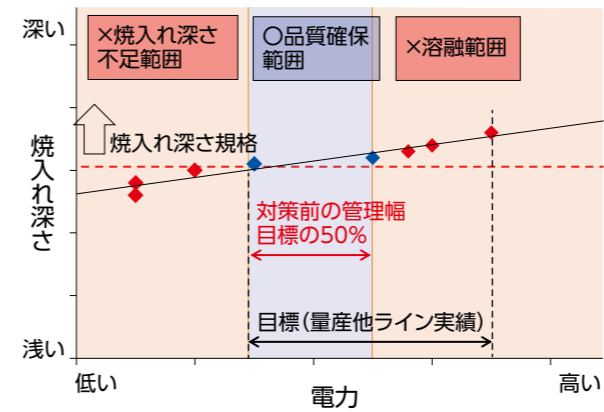


図4-2 対策前の電力管理幅  
Fig.4-2 Power management range before measures

溶融現象を明らかにするため、磁場解析による視覚化を行った(図5)。その結果、つなぎ部における過加熱現象が解析上でも現れた。この現象は、隣接コイルにより発生する磁束が干渉し強め合うことが要因と推定された。

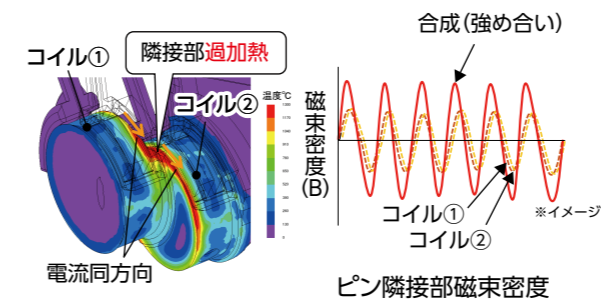


図5 対策前の磁場解析結果と磁束密度イメージ  
Fig.5 Magnetic field analysis result before measures

## 5. 対策

溶融対策として、隣接コイルによる磁束強め合いを抑制する必要がある。そのためには、隣接コイルより発生する磁束方向が常に逆向きとなり、磁束を弱め合う干渉を促すことが必要と考えられた。この状況を実現させるため、隣接するコイルの電流方向を逆向きにした<sup>[2]</sup>(図6)。さらに、2つのコイルへ1つの電源で電流を供給する構成とすることで、常に磁束を弱め合う干渉を起こさせることを可能とした。

対策後の磁場解析の結果を図7に示す。従来構成では過加熱となっていた隣接部が、上記の対策により過加熱を抑制されていることが示されている。実際のワーク加工においても溶融現象が解消され、焼入れ深さとの両立が可能となった。その結果、管理幅は従来量産レベルまで拡大が可能となった(図8)。

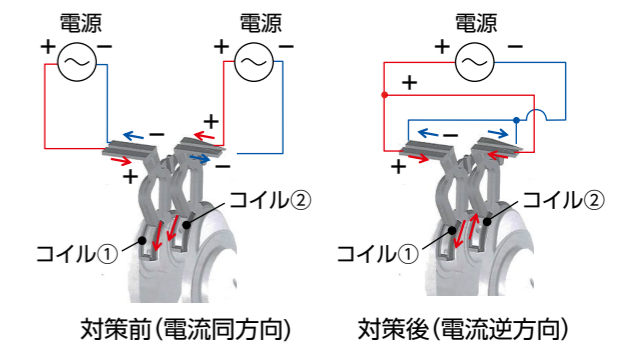


図6 対策前後のコイル電流方向  
Fig.6 Direction of current flowing through the coil before and after measures

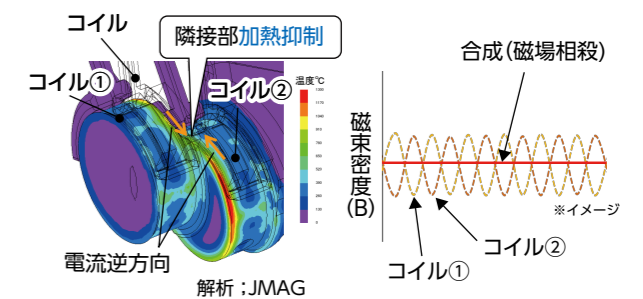


図7 対策後の磁場解析結果と磁束密度イメージ  
Fig.7 Magnetic field analysis result after measures

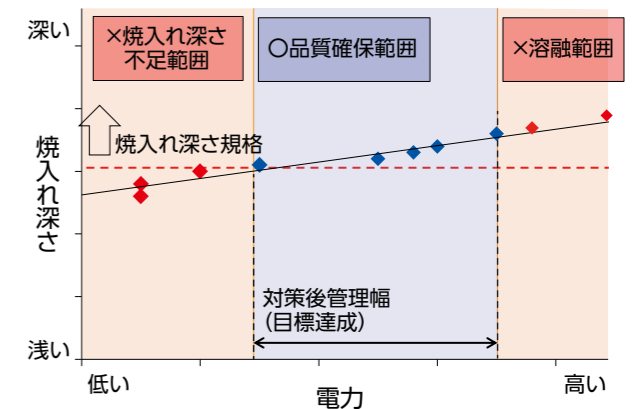


図8 対策後の電力管理幅  
Fig.8 Power management range after measures

## 6. 焼入れ条件のロバスト性評価

品質への影響が予想される主な焼入れ条件の管理値上下限を組み合わせ、管理範囲の境界でも品質が確保できることを確認した。

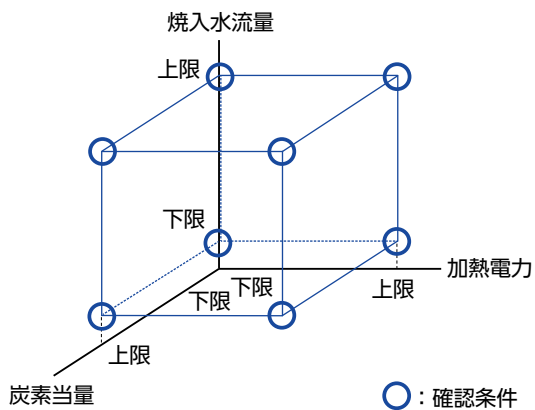


図.9 ロバスト性評価マップ  
Fig.9 Robustness evaluation map

## 7. まとめ

乗用車では日本初(当社調べ)のスプリットピン形状を有するクランクシャフトについて、ピン部の溶融回避と焼入れ深さ確保という、相反する課題を隣接するコイルの電流向きを逆にすることで解決し、焼入れ工法開発を完遂することができた。また、焼入れ条件のロバスト性についても評価し、量産ラインでの管理に問題が無いことを確認できた。

### ■ 参考文献 ■

- [1]大和久重雄:熱処理108つのポイント 大河出版
- [2]特許第6517960号 電気興業株式会社

### ■ 著者紹介 ■



浅野 司