

エンジンブロック用CV黒鉛鑄鉄の 生産技術の開発



(株)豊田自動織機 峯田 宏之 仁科 芳彦 安達 直功 横井 隆 小原 卓

自動車用エンジンへの高い環境・性能に対する要求から、基幹部品であるシリンダーブロックには、高強度化による軽量化や高い冷却性能が求められている。この要求を満たす材料としてCV黒鉛鑄鉄に注目した。課題である材質・鑄造品質のばらつきと難切削性に対して合金制御と鑄造条件管理による工法開発で克服し、エンジンブロック用のCV黒鉛鑄鉄量産化を実現した。



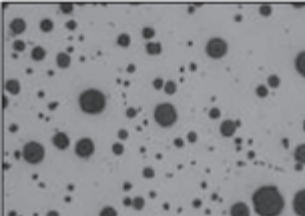
1. はじめに

CV黒鉛鑄鉄は従来の普通鑄鉄と比べ被切削性に劣り、鑄造性・品質ばらつきが大きい材料であり機能部品や量産部品に適用されてこなかった。

従来の鑄鉄材料とCV黒鉛鑄鉄の比較を表1に示す。黒鉛の形態はマグネシウム（以下Mgと記す）

などの黒鉛球状化元素を添加することで調整し、黒鉛球状化率（以下、球状化率と記す）で表される。鑄鉄は黒鉛形態により機械的特性が変わるため、要求に応じて種々の合金・接種剤を添加して組織制御を行っている。

表1 鑄鉄材料の特性値

項目	FC (片状黒鉛鑄鉄)	CV (芋虫状黒鉛鑄鉄)	FCD (球状黒鉛鑄鉄)
黒鉛形状	片状黒鉛	芋虫状黒鉛	球状黒鉛
球状化率	0 [%]	20-70 [%]	70以上 [%]
引張強度	180-300MPa	350-500MPa	400-900MPa
熱伝導度	48 [W/m-℃]	38 [W/m-℃]	30 [W/m-℃]
被切削性	良い	劣る	劣る
鑄造性	良い	難しい	難しい
組織			

CV黒鉛鋳鉄は高強度だけでなく、エンジンの要求特性である放熱性や振動吸収性も優れており、シリンダーブロックの材料として適している。しかしながら、従来の鋳造工法では球状化率が安定しないため、そのままではシリンダーブロックに適用できない。そこで、材料要求値に適合させるために課題を明確にして、CV黒鉛鋳鉄を安定して量産できる鋳造工法の開発をし、エンジンプロック(写真1)への適用を実現したので報告する。

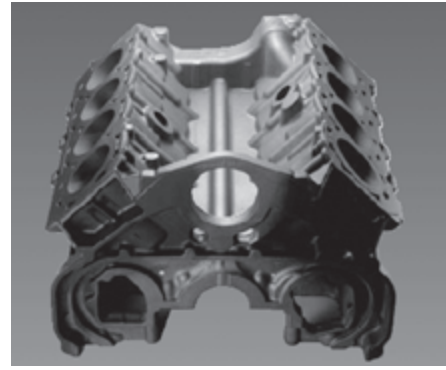


写真1 エンジンプロック粗材の外観

2. 開発目標と課題

エンジンのシリンダーブロックにCV黒鉛鋳鉄を適用するためには以下に示すように大きく3つの課題があった。

(1) 要求材料特性を満足する鋳造条件の決定

(2) 軽量化と鋳造品質を両立させる最適設計

(3) 安定した品質が確保できる工程の確立

これらを解決するために設計・加工・鋳造部門が協業での開発を行った。

3. 課題解決への取り組み

3.1 要求材料特性を満足する鋳造条件の決定

材料要求値はボア・ジャーナル部の強度を確保することであり、ボア部のフェライト組織の析出を抑制する必要がある。これを満足するための鋳造条件の決定を行った。

対策として銅(Cu)、錫(Sn)等の合金添加を試み、被切削性を考慮して硬度への影響が最小となる最適値を決定した。次に球状化率を調整し実体の強度を測定して、管理すべき球状化率の範囲を20%以上とし、上限値は被切削性を考慮して40%以下とした。

3.2 軽量化と鋳造品質を両立させる最適設計

CV黒鉛鋳鉄はシリンダーブロックのような複雑形状では肉厚変化が大きいことによる引け巣やピンホールなどの鋳造欠陥の発生が懸念される。従って設計段階でいかに作りやすい形状にするかが重要である。

図1はCAE解析により引け巣を予測した例であ

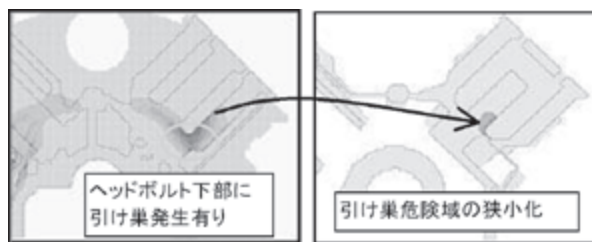


図1 CAEによる閉ループの解析

る。初期の試作形状では、ボア下部の厚肉部に広く引け巣が分布し貫通により圧洩れになることが予測された。構造解析を踏まえ適正形状にすることで問題のないレベルまで引け巣領域を縮小することができた。このように鋳造要件を設計にフィードバックすることで鋳造品質を確保することを行った。

3.3 安定した品質が確保できる工程の確立

CV黒鉛鋳鉄が不安定な材料とされる原因のひとつは球状化率のばらつきが大きいことである。黒鉛の球状化に寄与するMgの残留量が工程条件によって変化することがそのばらつきを引き起こしていると考え、図2に推定要因を模式的に示した。図中の①~③に要因を分類し対策を実施した。

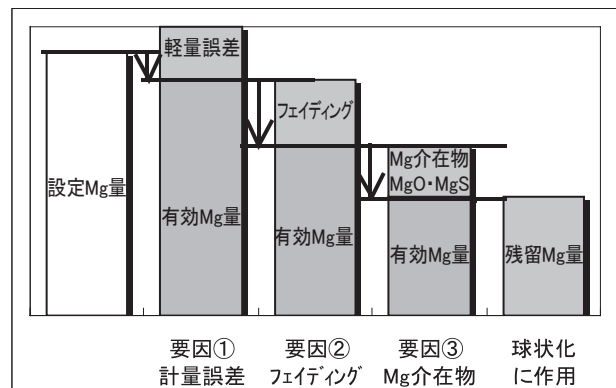


図2 Mgの減耗プロセスの推定

【要因①】 計量精度

球状化合金の計量精度を高めるため、切出しの振動・時間を適正化を実施し、計量ばらつきを低減させた。また計量結果に対してインターロックを取ることで後工程への流出を防止した。

【要因②】 フェイディング・Mg合金の反応ばらつき

Mgは溶湯との接触で激しく反応するため、蒸発・酸化によるロスと強力な酸化作用による酸化ロスが発生する。それらに加えフェイディング現象による球状化率の低下が起こる。対策としてMgの反応を抑えて歩留りよくMgを残留させることを考え、酸化作用のあるカルシウム(Ca)、セリウム(Ce)等の合金を混合する効果を検証した。

Ceを適量混合することでMgの添加量を低減することができ、かつ球状化反応を安定化させることに成功した。フェイディングに対しても抑制効果があり、球状化率を安定維持することを実現した(図3)。

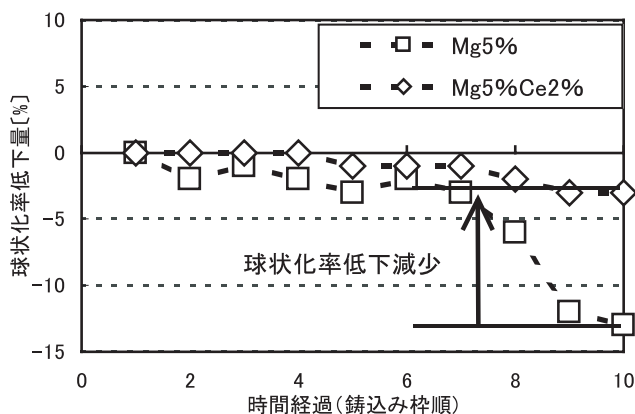


図3 球状化率の減少率と時間経過

【要因③】 Mgの介在物化

Mgは硫黄(S)や酸素(O)と結合しやすく、MgSなど介在物化することで球状化の能力を失う。対策として溶湯中O量の影響を最小にするため、パラメータ設計実験を行い接種剤種類と添加量の最適化を図った。次に溶湯中のS量に対して常に最適なMg合金量を添加できることを検討した。図4はS量を変化させた溶湯にMg合金球状化剤を0.3wt%添加した時の残留Mg量の挙動分析結果を示す。

残留Mg量とS量の関係を数式化することで、事前に元湯分析したS量から最適なMg合金量を予測することを可能にした。写真2は装置化して分析室に設置した自動計量操作盤の成分入力モニターである。

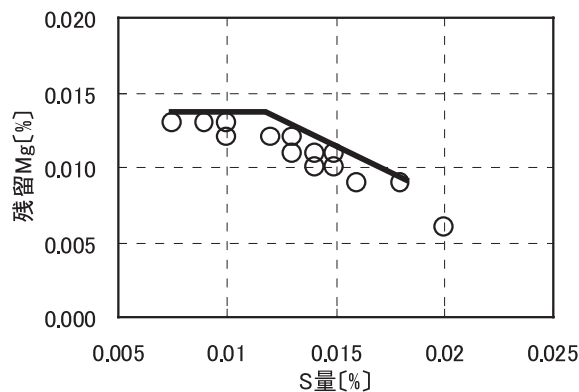


図4 S量とMg合金定量添加時の残留Mg量の関係



写真2 分析室に設置された元湯成分入力盤

S量の分析値を入力すると最適なMg合金量が計算され、自動計量機へ指示されるようになっている。同様に炭素(C)、珪素(Si)の分析値の入力により最適な追加接種剤の量も計算される。

以上の工法で製造したCV黒鉛鋳鉄は従来の方法と比較して残留Mg量のばらつきを半減させることができた(図5)。

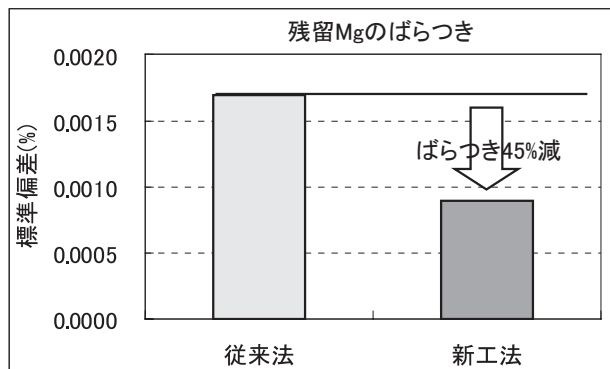


図5 残留Mgばらつき低減取組み結果

4. 球状化率の保証

製品の球状化率を全数保証する方法として超音波による球状化率測定を採用した。球状化率が低いCV黒鉛鋳鉄では検出力が落ちる欠点がある(図6)。検出力が落ちる要因として測定面の平滑度と表層

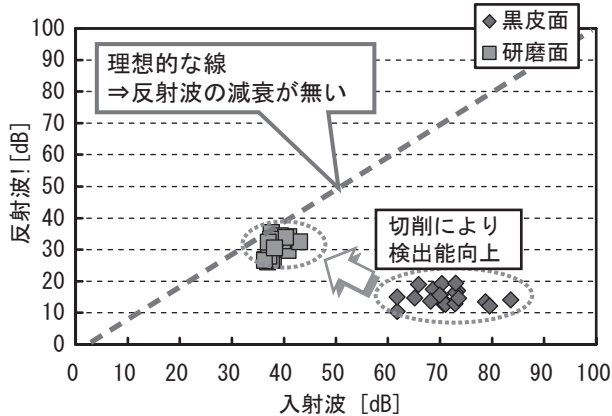


図6 面と研磨面での反射波と入射波の強度の関係

組織が大きく影響していることを突き止めた。検査工程に測定部の切削(写真3)と肉厚自動測定機を導入することで欠点を克服し、球状化率をインラインで全数計測することを実現した。

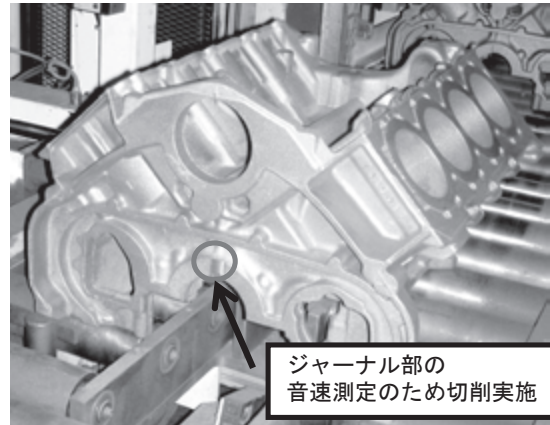


写真3 ブロックジャーナル部の音速測定位置

5. おわりに

本工法開発によりCV黒鉛鋳鉄を安定して生産できる方法を確立することができた。現在、この工法により月産5,000台以上のエンジンプロックを生産している。今後、自動車の環境配慮への要求はますます強くなってくると考えられ、本技術はエンジン分野での新たな材質アイテムとして位置づけることができた。

今後、エンジンプロックに限らず、本材質特性のメリットを活かした製品への展開を進め、さらに技術を向上させていきたいと考えている。

株式会社豊田自動織機
〒475-0033 愛知県半田市日東町4-15
(東知多工場)
TEL. 0569-26-4812 FAX. 0569-26-5505
<http://www.toyota-shokki.co.jp/>