

ブロック積層接合による中空構造のアルミニウム合金 エンジン部品的高速試作技法

Rapid Trial-Production Technique for Aluminum Alloy Engine Components with Hollow Construction
using Block Buildup-Brazing

和田 武*
Takeshi WADA

直本 達夫*
Tatsuo JIKIMOTO

岡島 秀典*
Hidenori OKAJIMA

要 旨

ブロック積層接合・高速加工法により、シリンダヘッドなどの中空構造アルミニウム合金エンジン部品を製作するプロセスを開発した。これにより、従来の砂型鋳造法のように型を用いないため、短期間に高精度な先行試験用シリンダヘッドの製作が可能となり、早期の仕様決定を可能とする。

ABSTRACT

A process was developed for manufacturing cylinder heads and other such aluminum alloy engine components with hollow construction by means of block-buildup brazing and a high-speed machining technique. This approach does not use a mold as the conventional sand-mold casting technique does, so it was able to manufacture a high-precision cylinder head for preliminary test purposes in a short period of time, and so allow a rapid determination of specifications.

1. はじめに

エンジン開発の初期段階では、性能検証など早期仕様決定のために、短期間でテストエンジン製作が求められている。しかしながら、水冷シリンダヘッドなどの一体中空構造部品を試作する場合、中子を使用した砂型鋳造が一般的であり、型製作、鋳造に長期間を要している。そこで、中空構造をスライス分割した高速削り出し加工と積層接合技術の確立により、型製作を不要とし、短期間で試作を可能とした。

2. ブロック積層接合・高速加工法

製作プロセスを Fig. 1 に示す。製品図である 3D モデルを元に、中空構造部のみ抽出した 3D モデルを作成し、4.1. 節に後述するようにスライス位置を決める。決定した厚さに加工されたブロックにノック穴加工を施す。ノック穴を加工基準とし中空構造部を上下面から 3 軸、および 5 軸高速加工機を用いて加工する。ノック穴を基準とし個々のブロックの間に厚さ 0.04 mm のアルミホイル状のブレー

ジングシートを挟み込み積層し、真空炉中で加圧しながら加熱しろう付けをおこなう。ろう付けされたブロックは T6 処理 (JIS H0001-1998) を施した後、外周形状加工、穴明け加工を経た後バルブシートやバルブガイド圧入、仕上げ加工をおこない完成する。

3. 積層接合技術

3.1. 中空構造部の成形

中空構造部を成形するには粉末ラビッドを活用した製法があるが、強度、精度に課題があった。そこで、高強度、高精度な部品をより早く製造する手法として積層接合技術を検討した。アルミニウム材の接合としては、パルス通電接合⁽¹⁾や拡散接合⁽²⁾があるが、接合面の酸化皮膜の残留により接合強度に課題があるため⁽³⁾、接合強度を得やすい積層ろう付け法を選択した (Fig. 2)。積層ろう付け法とは、個々ブロック間にブロック母材より低融点のブレージングシートを挟み込み積層し、真空炉中で加圧しながら母材が融解しない温度まで予熱した後、ろう材のみが融解する温度まで加熱してろう付けをおこなうことである。

*二輪 R&D センター

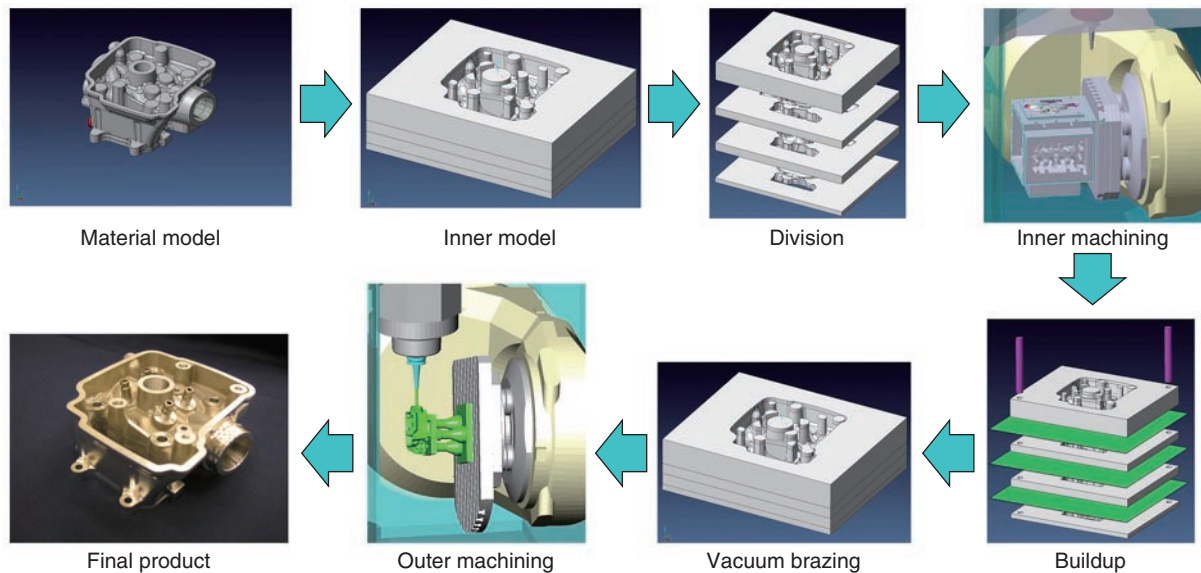


Fig. 1 Rapid trial-production process for engine components with hollow construction

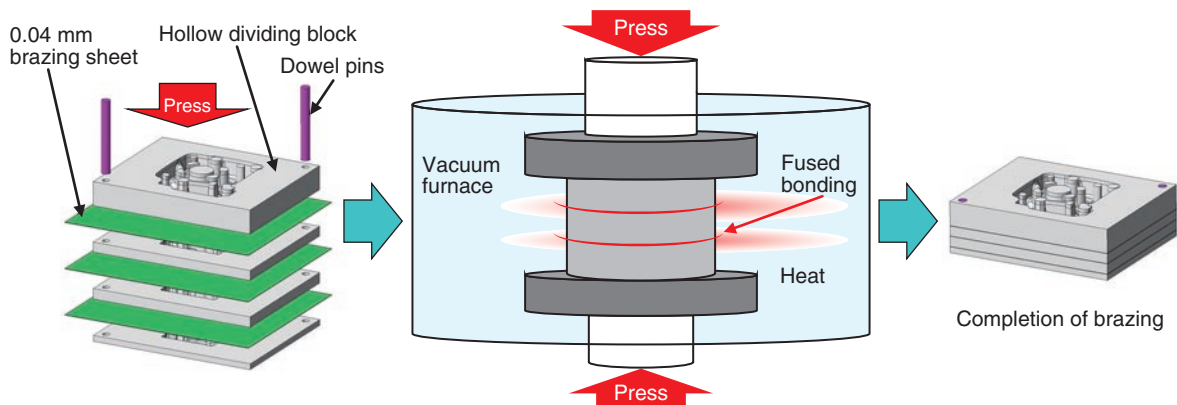


Fig. 2 Block buildup brazing process

3.2. ろう付け品質検証

加工可能な板厚にスライス分割したブロックは接合面が複雑な形状になり、面積、面圧にばらつきが生じる。Fig. 2 に示すように、ろう付け時は荷重をかけることで、接合面のろう材を密着させて品質を安定させている。ろう付け品質検証として、以下の3項目を実施した。

- ・ CAE による接合面の面圧分布解析
- ・ 接合面の強度解析
- ・ X線 CT による中空部の精度検証

3.2.1 接合面の面圧分布解析

ろう付けはある一定の荷重をかけておこなうが、接合面が複雑であることから面圧がばらつき、ろう付け品質が不安定になる懸念がある。そこで、CAE による面圧分布解析をおこなった。Fig. 3 の左図に示すように、上部サポートがない吸排気ポート内バルブガイド部周辺の面圧が低くなっている（青色）ことがわかる。そのため、面圧分布を均

一化する手段として上部サポートを付加するような補強をおこなった。その結果、Fig. 3 の右図のように、補強部の面圧の改善が確認できた（緑色）。

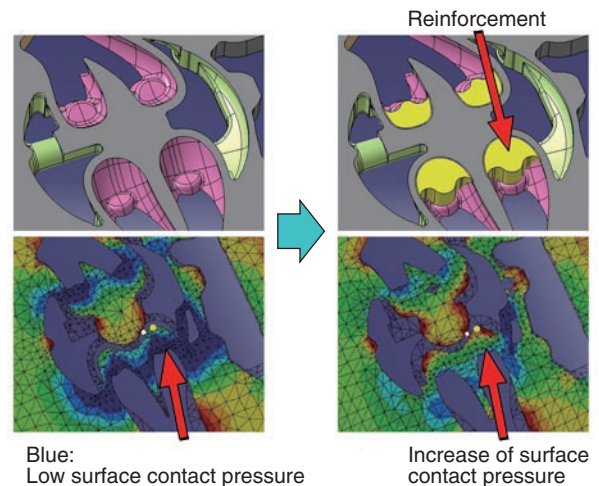


Fig. 3 Equalizing of surface contact pressure

3.2.2. 接合面の強度解析

面圧解析は製品形状の3DモデルにてCAEは可能であるが、強度検証は接合面の接着強度が問題となるため、面圧、荷重違いでろう付けしたテストピースで引張り試験をおこない、面圧解析結果と引張り試験結果の組合せから強度を予測するロジックを確立した。面圧違いにおける引張り試験結果をFig. 4に示す。図中の破線はA6061-T6、およびAC2B-T6の素材引張り強度を示す。砂型铸造素材に対し約20%以上高い引張り強度を確保できた。

3.2.3. X線CTによる中空部の精度検証

ウォータージャケットと吸排気ポート中空部のろう付け時の加圧による変形量をFig. 5に示す。灰色部が±0.2 mm以内、±0.2 mm以上はその他の色で表している。緑色の部分が約0.3 mmの変形であり、3Dモデル形状に対し、図面許容値内の変形量であることが確認できた。

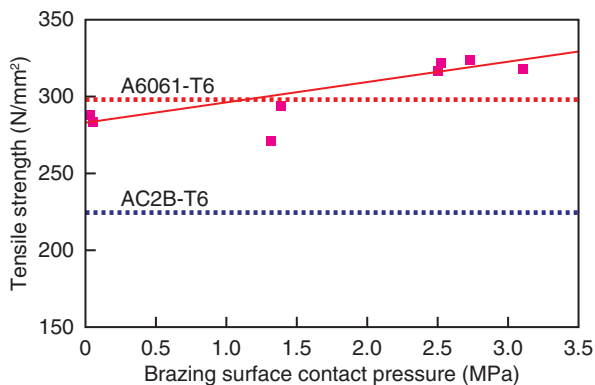


Fig. 4 Comparison of calculation of surface contact pressure and measurement of brazing tensile strength

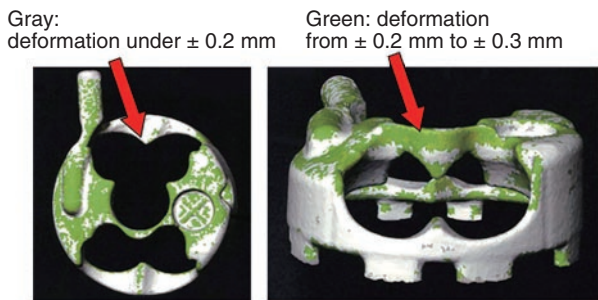


Fig. 5 Measurement of hollow construction deformation by using X-ray CT

4. 高速分割加工技術

機械加工を短期間でおこなうためには、3Dモデルの分割手法、3D加工データの高速作成手法、高速加工手法の最適化が必要である。

4.1. 3Dモデルの最適分割手法

スライス分割数が多いほどアンダカット部（3軸加工不

可部）は減少するが、単品剛性が低くなることでろう付け時の加圧による変形が起こる。これらを考慮しながら中空形状部のスライス断面に離れ小島ができない位置で分割する。さらに3軸加工、5軸加工などの組合せにより、段取り、加工時間が最短になるように分割位置を最適化する（Fig. 6）。

4.2. 3D加工データ高速作成手法

3軸加工機とは通常、立型マシニングセンタと呼ばれ、X軸、Y軸、Z軸の3軸を有し、数値制御にて機械加工をおこなう設備のことを指し、テーブルに対し刀具（Z軸）は垂直方向のみの移動となり、オーバハング部は加工できない。また、5軸加工機とは、3軸の他に2軸追加し刀具（Z軸）を任意の角度に傾けられる構造を有し3軸加工機で加工しきれないオーバハング部の加工が可能である。5軸加工機のみでスライスした分割ピースをすべて加工する場合、ツール角度ごとのホルダやスピンドルの干渉確認などにより、加工データ作成工数が増大するため、上下面からの3軸加工を基本とした。

3軸加工条件として、加工部形状ごとに加工条件（刀具、加工ピッチ、ツールパスタイプなど）をテンプレートとして登録し、それを用いて加工部位ごとに容易に加工条件を設定できるようにすることで加工データ高速作成を可能とする。その上で、アンダカット部を自動検出し、5軸加工を必要最小限に留めた。

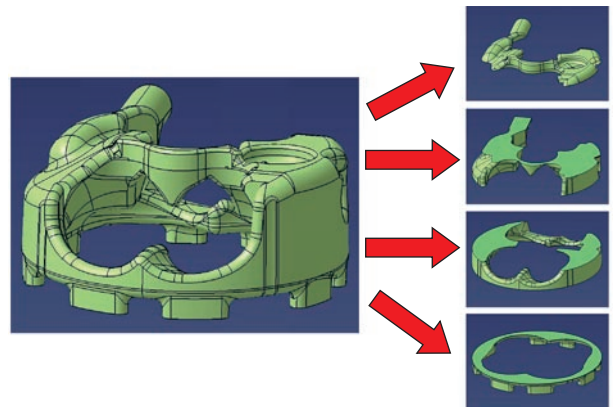


Fig. 6 Optimum dividing of hollow construction

4.3. 5軸高速加工手法

吸排気ポートや燃焼室などの機能部位や、その他の外壁などに加工面粗さをそれぞれ設定する。設定された加工面粗さをもとに設備能力を最大限に生かした加工条件により加工時間を短縮した。加工は2台の5軸加工機を用いる。まず、5軸複合加工機では専用治具（Fig. 7）により、一回の段取りで上下面の連続加工を可能にした。また、5軸マシニングセンタでは専用割り出し治具（Fig. 8）により、一回の段取りで4面を加工可能にした。これにより段取り工数削減と無人運転化で日程短縮が図れた。

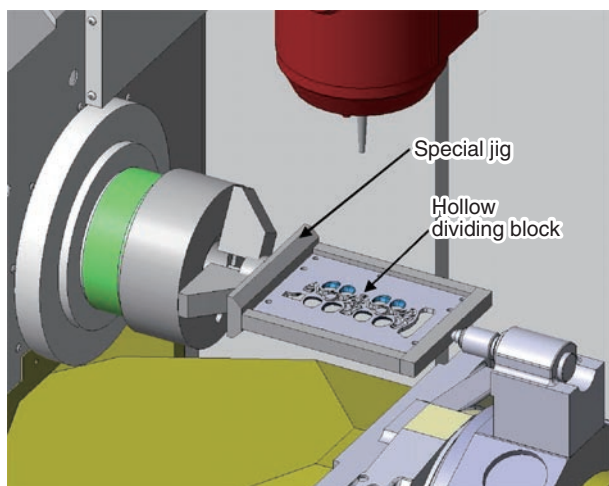


Fig. 7 Special jig for 5-axis integrated mill turn center



Fig. 9 Final product

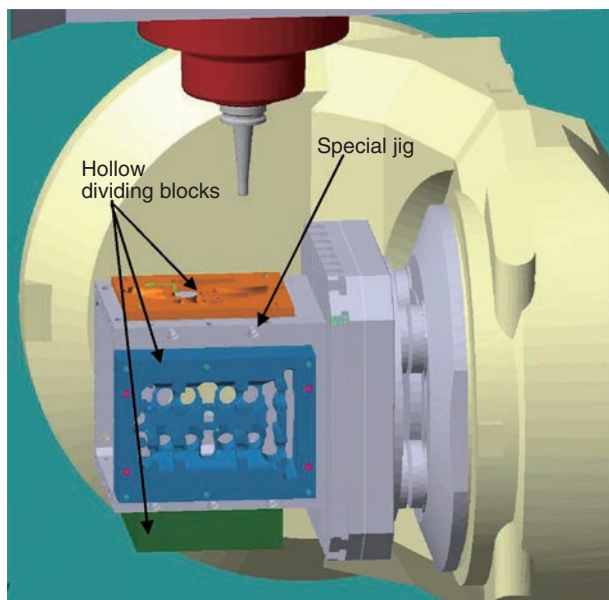


Fig. 8 Special jig for 5-axis machining center

5. 実用性検証

5.1. オフロードレース用エンジンへの適用

エキゾーストマニホールド位置変更による性能確認用シリンダヘッドを製作した (Fig. 9)。従来の砂型鋳造に対して、製作日程で 60% の短縮、1 台当たりの製作コストは 75% の削減ができた。また、強度上の問題もなく先行試験に適用することができた。

6. まとめ

ブロック積層接合・高速加工法を確立し、以下のような成果が得られた。

- (1) 砂型鋳造法に対し、製作日程を 60% 短縮することを可能とした。
- (2) 先行試験品の製作に用いる砂型鋳造法に対し、1 台あたり 75% のコスト削減ができた。
- (3) 加工はすべて削り出しでおこなうため、高精度な部品製作を可能とした。

あとうき

物づくりにおいて日程短縮は常に取り組むべき課題である。本稿では、中空構造部を有する水冷シリンダヘッドをターゲットとし、いかに早く先行試験に投入できるかを目的として、積層接合技術や高速分割加工技術に取り組んだ高速試作技法を紹介した。特に CAE を活用した面圧分布解析では、ろう付け時の加圧による変形を低減させる補強ノウハウを得ることでろう付け品質が向上することへの理解を深めた。今後、多気筒エンジンの先行試験用としても適用していきたい。

謝 辞

アルミニウムの積層ろう付けに御協力を頂いた株式会社エヌ・デイ・ケー加工センターの皆様に、紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 大橋修: パルス通電接合, 溶接学会全国大会講演概要, 第 71 集 (2002)

- (2) 鈴木裕:精密拡散接合技術を利用した中空部品の製作例, 日本機械学会, 第15回機械材料・材料加工技術講演会, 講演論文集 (2007)
- (3) 小谷恵子, 池内健二, 松田福久:実用 AL 合金の接合界面における形成相, 溶接学会論文集, 第14巻, 第2号 (1996)

■ 著 者 ■



和田 武



直本 達夫



岡島 秀典