

ターボチャージャ用高精度コンプレッサホイール鋳物の製造技術開発

Development of Manufacturing Technology for Precision Compressor Wheel Castings for Turbochargers

古河スカイ(株)

五月女 貴之*
Takayuki Sotome

迫田 正一*
Shoichi Sakoda

概要 欧州の排ガス規制及びアジア市場の拡大により世界的規模で自動車向けターボチャージャの需要が増えている。コンプレッサホイールはターボチャージャの主要部品であり、耐久性だけでなく高い寸法精度をお客様から要求される。コンプレッサホイールに求められる特に重要な特性は製品のイニシャルバランス(同軸度)である。当社鋳鍛工場においてイニシャルバランスを向上させるための新たな製造技術を開発した。

1. はじめに

アルミニウム合金鋳物コンプレッサホイール(コンプレッサインペラともいう。以下、C/Wと記す)はターボチャージャの主要部品である。当社鋳鍛工場(栃木県小山市)ではC/Wを1965年から製造し、お客様のニーズを満足すべく高品質の製品を納入してきた。

図1にターボチャージャの模式図を示す。C/W、タービン、ハウジングなどから構成され、同一シャフトにC/Wとタービンが連結されている。エンジンの排気ガスを受けてタービンが回転することによりエンジンの吸気側に取り付けられたC/Wも回転し、圧縮空気がエンジンに供給される。

日本ではディーゼル車に対して排気ガスが黒いなどの理由から環境に悪影響を与える車とのイメージが強いが、ヨーロッパ

などでは燃料価格も含めた低燃費、低CO₂排出量などメリットの多いディーゼル車の需要は図2に示すように着実に拡大している。加えて環境規制の強化とともにディーゼル車へのターボチャージャ装着は不可避となっているため、ターボチャージャの需要は確実に伸びる情勢である。

一方で、ターボチャージャの性能向上に伴い、C/Wに対するお客様からの品質要求レベルは極めて高くなっている。150,000 rpm以上の超高速で回転するため、耐久性はもとより高い寸法精度、特にイニシャルバランスと呼ばれる製品の同軸度が要求される。

当社ではお客様のニーズに応えるべく、イニシャルバランスを顕著に改善するための新たな製造技術を開発した。本報ではその技術について報告する。

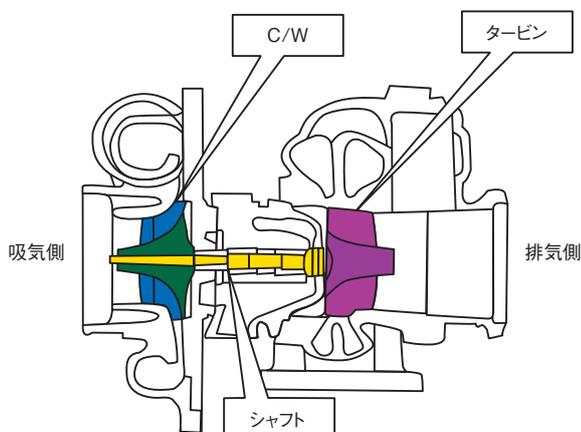


図1 ターボチャージャ模式図
Cross section of typical turbocharger.

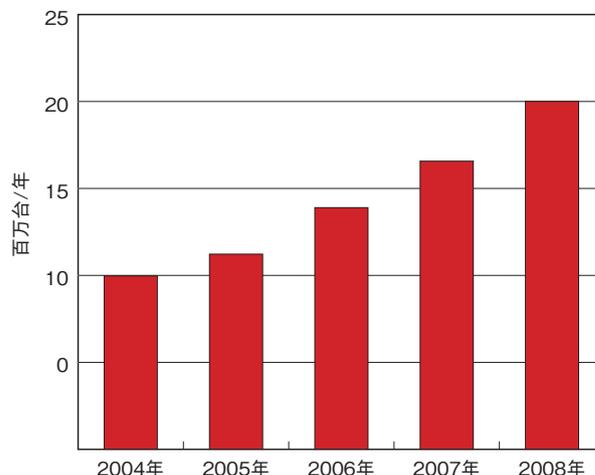


図2 世界のディーゼル車生産予想¹⁾
Forecast of diesel vehicle production.

* 古河スカイ(株) 鋳鍛事業部

2. C/Wの製造工程

図3に当社で製造しているC/Wを示す。本製品はらせん状の翼形状及び平滑な製品表面に特長がある。

当社では石膏鑄型と低圧鑄造法を用いてC/W鑄物を製造しており、石膏鑄型を用いた精密低圧鑄造法 (precision low pressure casting) の英語の頭文字を取ってPPC法と呼んでいる。

2.1 製造工程概要

C/Wの製造工程は次のとおりである。なお当社では一部を除いて完成機械加工前の素材をお客様(ターボチャージャ製造メーカー)に納入している。

<型設計>

- ① 型設計
- ② アルミニウム合金製マスタモデル製作
- ③ マスタモデル転写
- ④ ゴム型製作
- ⑤ 石膏型製作

<製品製造>

- ⑥ 石膏型乾燥焼成
- ⑦ 鑄造工程
- ⑧ 仕上げ工程(口切り、洗浄)
- ⑨ 熱処理工程(溶体化)
- ⑩ 翼矯正
- ⑪ 熱処理工程(人工時効処理)
- ⑫ 検査工程:素材出荷
- ⑬ 完成機械加工及びバランスカット工程

2.2 マスタモデル転写

製品と同一形状のマスタモデルをもとに、ゴムメス型を作製する。

2.3 ゴム型製作

前工程で作製したメス型に常温硬化性シリコンゴムを流し硬化させることによりC/Wと同一形状のゴム型を作製する。

2.4 石膏型製作

石膏は水を加えて攪拌し、流し込むだけで水和凝結反応により硬化する無機材料である。ゴム型を枠にセットして、その中に水と石膏を混合したスラリーを流し込み硬化させ、ゴム型を脱型することにより石膏鑄型を製造する。



図3 各種C/W製品
Selected compressor wheels.

2.5 石膏型乾燥焼成

表1に示すように凝結した石膏を加熱乾燥することにより2水石膏から無水石膏へ結晶水を脱水させて、鑄造時の石膏鑄型として用いる。石膏乾燥炉の最終乾燥温度は無水石膏への脱水反応が確実に終了する220℃～230℃が一般的である²⁾。

2.6 鑄造工程

当社の用いている低圧鑄造法模式図を図4に示す。石膏鑄型の下方に密閉した容器に入れて保温した溶湯面に空気圧力を加えて、石膏鑄型と連結し溶湯中に挿入されたストークを介して石膏鑄型内に溶湯を押し上げて注湯する。重力鑄造方法と比べると加圧の効果により収縮巣などの内部欠陥を低減できる効果がある。

なお、C/Wに用いる合金は、強度及び鑄造性のバランスから、主にAl-Si-Cu-Mg合金を用いる。

2.7 完成機械加工及びバランスカット工程

当社で製造したC/W素材はお客様にて完成機械加工及びバランスカット工程を経てシャフトに組み付けられる。

2.7.1 完成機械加工

非常に厳しい寸法許容差を満たすため、C/W素材は機械加工によって最終形状まで加工される。

この工程では図5に示すような軸穴加工と上面、底面及び側面の切削加工が行われる。

2.7.2 バランスカット工程

バランスカット工程は高速回転体として使用する本製品には非常に重要な工程であり、C/Wの上部(以下、ポストと呼ぶ)及び底面部を減肉し回転体としてのバランスを取る。

製品によって減肉する重量、位置とその数、深さ及び長さの上限が決められており、この上限値を超えるとバランスオー

表1 混水と加熱による石膏の状態変化
Plaster transformation by water mixing and heating.

温度	石膏の状態	分子式	備考
常温	半水石膏	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	混水前の粉体
常温	余剰水含む2水石膏	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	混水後に凝結
100℃	余剰水蒸発	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
約120℃	2水石膏から半水石膏に脱水	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	
約200℃	半水石膏→無水石膏に脱水	CaSO_4	鑄造鑄型

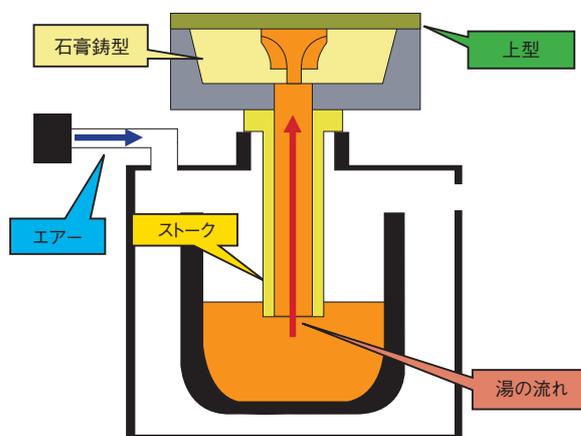


図4 低圧鑄造法模式図
Apparatus for low-pressure casting.

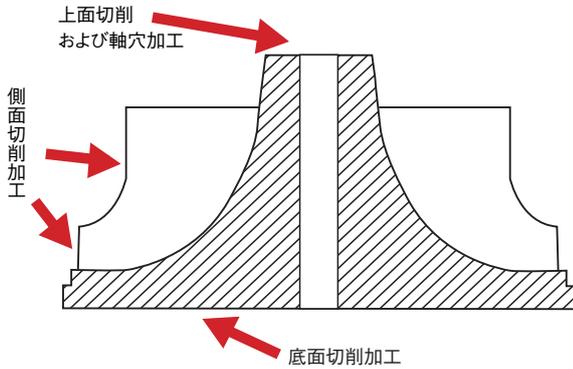


図5 C/W完成機械加工模式図
Schematic of final machining of compressor wheel.

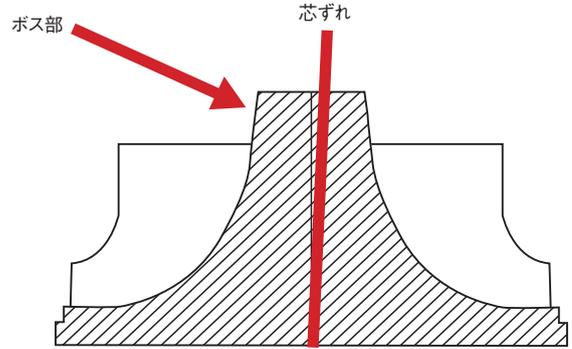


図6 C/W断面図
Cross section of compressor wheel.

パーとなり不良品となる。また、本バランスカット工程は複数回繰り返すことが一般的である。

3. C/W素材のイニシャルバランス

上述した完成機械加工品のバランスカット工程において機械加工方法及び加工精度だけではなく、C/W素材としてのバランス(=イニシャルバランス)が良好である必要がある。すなわち素材のイニシャルバランスが良好であれば、バランスカット量も小さくでき、更にバランスカット工程の回数も少なくできるからである。

3.1 イニシャルバランス評価方法

C/Wのイニシャルバランスは3次元測定機を用いて製品の芯ブレ量を測定し同軸度で評価した。芯ブレ量とは(1)式に示すように製品底面中心を基準として製品ボス部中心位置との偏差量を表す。同軸度とは次の関係がある。

$$A = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$

A : 同軸度(mm)

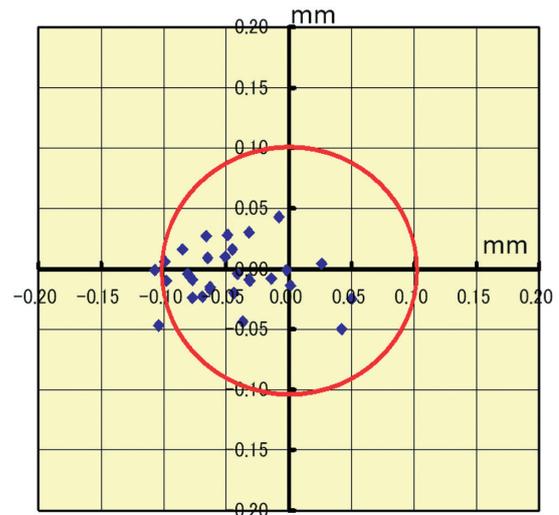
x : 芯ブレ量(x軸方向の偏差mm)

y : 芯ブレ量(y軸方向の偏差mm)

図6に製品断面の略図を示すが、上記した芯ブレ量は製品底面中心とボス中心(図中の矢印)との“芯ずれ”を評価する指標である。

3.2 改善前のイニシャルバランス

図7に改善前のC/W素材の芯ブレ量分布及び同軸度を示す。最大で同軸度が0.1 mmを超えるものもありバラツキが大きいことが分かる。



N数30, 同軸度平均0.060(mm), 標準偏差0.028(mm)

図7 バランス改善前の製品芯ブレ量分布
Distribution of product runout before improvement of balance.

4. イニシャルバランス改善技術

イニシャルバランス改善のためには型転写精度を向上すること、及び型そのものの寸法偏差を小さくすることがポイントである。ここでは最も大きな改善効果の得られたマスタモデルの転写技術の検討結果について説明する。

4.1 マスタモデル転写方法の検討

当社の従来転写方法に対して新たな転写方法を開発した。表2に各転写方法の特長を比較して示す。

4.1.1 従来転写法：等分型

ゴム型造型のためのメス型を作成する技術として当社では等

分型を用いてきた。これは図8に示すように翼1枚に対応する部分を樹脂加工し、これを組み合わせてゴムメス型とする。

本技術は型の加工及び組み立てに大変高度な技能を必要とし、また分割型であるためつなぎ目の部分が製品に転写されることから製品表面品質が劣るという問題があった。上記した理由により本方式での寸法精度は作業者の技能に大きく左右され、イニシャルバランスも偏差が大きかった。本転写方法を用いた製品の芯ブレ量分布は図7に示すとおりである。

4.1.2 改善転写法検討：電鑄転写型

本方式は図9に示すようにマスタモデルにメッキを施し、その後マスタモデルを溶解することにより、ゴムメス型を作成する方法である。転写精度は最も高い方法であるが、非常に高度

表2 マスタモデルの転写方法比較
Comparison of two methods of master model reversing.

	等分型(従来法)	電鑄転写(改善法)
マスタモデル	残る	溶解除消
転写精度	作業スキルに左右	優れる
技術レベル	高い	高い
製品表面品質	劣る	優れる

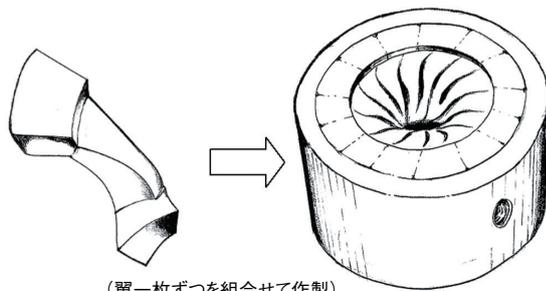


図8 等分型転写法(従来法)
Split mold reversing method (existing)

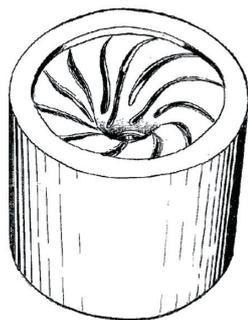


図9 電鍍転写法(改善法)
Electroplate reversing method (improved).

の技術が要求される方法である。

特にメッキ技術については、メッキ業者との共同研究を行い、試行錯誤を重ねた。電解メッキ時に先端部分に優先的に電流が流れるため、マスタモデルにメッキできない問題があった。しかし、適切なメッキ条件を見出し、ゴム型造型に耐えるゴムメス型を作製する技術を確立した。

図10に電鍍転写法で作成した鋳物製品の同軸度及び芯ブレ分布を示す。図7と比較して同軸度及び標準偏差が大幅に改善されていることが分かる。

4.2 インシャルバランス改善品の効果

このようにマスタモデルに忠実な転写法を検討した結果、新たな電鍍転写法を開発し、C/Wのインシャルバランスを改善することができた。

本改善品は、従来品と比較して完成機械加工品バランス不良率は著しく低下し、量産ロット間のインシャルバランス変動も

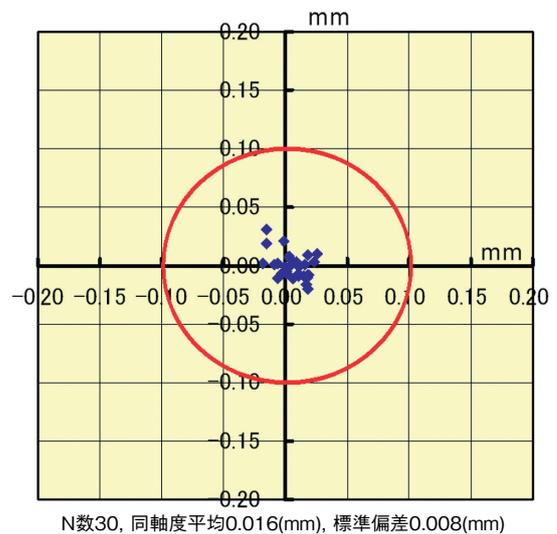


図10 製品芯ブレ分布(電鍍転写法)
Distribution of initial runout of plated product by electroplate reversing method.

小さいとの報告を受けており、当社製品はお客様から高い評価を得た。

5. おわりに

乗用車及び商用車のターボチャージャは今後更なる小型化、高出力化が進み、C/Wは現在よりも高回転数及び高温での耐久性が要求される。

品質面では本報で報告したインシャルバランス以外にも疲労強度向上及び高温強度向上が今後の課題である。

一方、供給面ではお客様からの強い増産要求に応えるべく当社はベトナム工場を新設し、生産の主力を日本からベトナムへ移しつつある。

今後も品質、量ともにお客様のニーズに応え、C/Wの性能向上に貢献していきたい。

なお、本稿は平成18年4月発行のFurukawa-Sky Review No.2に掲載されたものである。

参考文献

- 1) 東洋経済新報社：週刊東洋経済2005年8月27日号。
- 2) 日本鋳物協会：精密鋳造法(1981)，234。