アルミニウム軽量車体における高品質 ダイキャスト部品の利用

山縣 裕*

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 53, No. 7 (2003), pp. 309-313

Light aluminum body using high quality die-casting parts

Hiroshi YAMAGATA*

Keywords: aluminum, body, motorcycle, die-casting

1. はじめに

当社はスポーツ系大型二輪車などを中心として車体用の材料にアルミニウムを積極的に採用してきた。アルミニウムは軽量な車体を作るために有効な素材で、1980年以前よりGPレーサーの車体などでは研究使用されていた。しかし、高強度かつ耐応力腐食性のある合金の開発、溶接の信頼性確保、あるいはコストを安く作り込む量産技術の進歩などが必要であったため、一般市販車に使われだしたのは1984年以降のことである。図1に参考のためアルミニウムの五つの特性をまとめた。アルミニウムには、軽量化による低燃費化を実現する構造部材として、あるいはリサイクル容易な材料として、地球環境保全の視点からも期待は高まっている。

スポーツ系大型二輪車を中心にアルミニウムの使用は急速に広がったが、これまでの車体は、板材や押出型材あるいは鍛造品などの成形品と重力铸造物を溶接組立てし構成してきた¹⁾。これは当初からの基本構成であり、その中で種々の改良がなされてきている。たとえば鍛造品の使用をやめ形状自由度の高い重力铸造品にかえると、板材の成形限界の向上に対する努力などである。しかしながら、板材や押出材は自在な曲面を作り出すのに制約があり、一方、制約の少ない重力铸造物は薄肉化や大型化に限界があったため、部品点

数が多く組立工数が多くかかっていた。

車体設計の理想から言えば、曲面を自在に作れ、強度上必要な部分に必要な肉厚をもたせ、かつ不要部分はできるだけ薄肉化し、結果的に軽量高剛性な構造を得ることである。そこで、これらのニーズにこたえるべく、薄肉で大型部品が成形可能で、十分な強度・伸びを持たせることができ、同時に

図2 スポーツ系大型二輪車「2003年モデル YZF-R6」外観

図1 アルミニウムの特長

図3 雪上車「RX-1」外観

溶接接合可能な製品ができる高品質ダイキャストを開発した。今回スポーツ系大型二輪車（図2）および雪上車（図3）の車体部品に本技術を採用した。本文ではこの関連の技術を紹介する。

2. 要素技術

2.1 高品質ダイキャスト技術

従来、アルミニウムの鋳造技術には表1のような技術が一般的に知られている。このうちダイキャストとして日本で略称される高圧ダイキャスト技術（high pressure die-casting）はきわめて生産性の高い技術で、精度が高く値段も安いのでクランクケースをはじめとして多くの採用実績がある。

ダイキャストは溶けたアルミニウムをピストン-シリンダ機構で金型中に高速で注入し製品とする。溶けたアルミニウムを注入するので、他の鋳造方法と比べ、転写精度のよい薄い鋳物が生産可能である。さらに、型内の真空吸引を併用したダイキャスト技術は、減圧により注入溶湯に抵抗がなくなることによる湯流れ充填の改善および充填時空気の巻き込みが減少するなどのメリットがある。これらには様々な方法が提案されてきており、使用例は多い。しかし、材質的には一定の改善効果は見られるが、塑性加工あるいは熱処理や溶接に適した材質までには至っていなかった。これはダイキャスト品の含有ガス量の多さ、酸化物の巻き込みなどが技術的に解決されていなかったためである。そのため、T6熱処理あるいは溶接が必要な部材には、表中の砂型鋳造、金型鋳造あるいは低圧鋳造などの製品が従来用いられてきた。

著者らは従来のダイキャストの問題点を克服するため、従来からある真空ダイキャストに次のような点に留意することで溶接性および熱処理性において飛躍的な品質向上が可能となった。

(1) 金型キャビティ部の真空度を向上させるためリーク部にすべてシールを入れる。このことで3 kPa程度の高真空が操業中に維持される。

(2) 多系統の温度調節機により金型の温度制御を精密に行う。このことを積極的に行うことで金型の温度バランスをよくし、湯流れを助け、冷却速度を制御することで材質を改善する。

(3) 湯流れシミュレーションにより最適な金型方案を設定する。薄物のシミュレーションにはノウハウが必要である。

(4) 部品形状に最適な注入速度の選択および制御を行う。特に量産時の繰返し精度を確保する。このことで製品のばらつきは減少でき、同時にショットごとの異常が検出できる。

(5) 製品中の酸化物あるいはガス量を低減するため溶湯の清浄化処理を行う。製品の伸びを確保するには、破断チル層低減の策を講じる必要がある。

以上のようなことを特徴としている。

これらの相乗効果により、製品内のガス混入量を重力鋳造品なみの3ml/100g以下にすることができた。その結果、ダイキャスト技術を薄肉、大型の方向に拡大し（図4）、溶接やT6熱処理ができるようになった（図5）

溶接および熱処理を可能とするには、鋳造条件の制御管理が一段高いレベルで要求される。そのためには形状出しは容易に行え、その上に材質制御のための条件管理を行う必要がある。形を出すことに汲々としているようでは、材質の向上

表1 各鋳造法の生産性

	生産可能数量/1h
ダイキャスト 軽量かつ生産性に優れている！	50～60
砂型鋳造	5～10
金型鋳造	20～40
低圧鋳造	15～30

図4 高品質ダイキャストの目指すもの

従来品: ビード中にブローホール

高品質ダイキャスト品: 健全なビード

図5 従来ダイキャスト品と高品質ダイキャスト品の重ね溶接断面比較

は望むべくもない。そのために上述(2)～(4)の技術は重要である。図6に従来法とCF法の模式図を示す。製品の材質を向上させるための各種制御機器を装備している。

今回ダイキャスト品を採用するに当たり、構造の強度解析を行うとともに、そのデータを鋳造方案の湯流れ解析に使用し、金型方案の最適化を行った。

2.2 材料と熱処理

車体に必要な延性と耐力の両立のために、材料はAl-10%Si-0.3%Mg-0.6%Mnの新塊グレードを採用した。ダイキャスト用材料は金型との焼付防止のためにFeの添加が不可欠であったが、Feの添加は針状晶を形成し伸びを低下させる。そのため本材料はFeの添加をやめ、Mnで焼付防止を図った。また、この材料は鋳造性と耐食性が優れているとともに、Mg添加量および図7に示す熱処理条件を変えることにより延性と耐力が調整できる。今回は必要な延性と耐力および部品のひずみを考慮し、FまたはT5熱処理を採用した。

■従来のアルミニウムダイキャスト技術

■高品質アルミニウムダイキャスト技術

図6 従来ダイキャスト法と高品質ダイキャスト法の比較模式図

図7 高品質アルミニウムダイキャストの熱処理ごとの強度、伸び値分布

図9 従来 TIG と高速 MIG 溶接部近傍の硬さ分布比較

板厚4.5mm部の板厚中心部(100倍)

同拡大 (1000倍)

図8 厚肉部の Sr 添加組織

さらに、冷却速度の遅い厚肉部でも強度、伸びの低下を最小限に抑えるため、Srを添加し組織の微細化を図った(図8)。厚い部分でも共晶 Si が微細化され高強度化されている様子がうかがえる。

2.3 高速 MIG 溶接技術

高品質ダイキャストで铸造された製品は含有ガス量が少なく、TIG および MIG 溶接ともに可能である。今回ダイキャスト品の溶接を研究する中で、MIG 溶接の高速化の研究を行った。従来のアルミニウム TIG 溶接や MIG 溶接(溶接速度で 250 mm/min 程度)は、入熱による素材強度の低下と溶接ひずみが課題であった。今回 1000 mm/min のデジタル制御高速 MIG 溶接技術を開発採用することにより、高い接合強

図10 YZF-R6 の車体構成

度を実現し、同時に生産性を大幅に向上した。図9に高速 MIG 溶接により溶接熱影響部の硬さ低下が起きていないことを示す。

3. 高品質ダイキャスト部材の適用

3.1 スポーツ系大型二輪車「YZF-R6」

2003 年モデルの YZF-R6 は、そのリアアームとシートフレームに高品質ダイキャストを採用している(図10)²⁾。類似のダイキャスト技術を用いた車体がアウディ社³⁾の量産車、

トヨタ社⁴⁾の試作車など四輪車においても最近多く採用される傾向にある。四輪の車体と違いモータサイクルの場合は、ダイキャスト品が外観に直接現れる。そのため3次曲面が自由に使える特性を生かしながら外観商品性を向上させるとともにその品質確保には十分な注意を払っている。

二輪車において、リアアームは後輪を懸架する重要な部品である。メインフレームの剛性と相まってリアアームの剛性は操縦性を左右する。そのため単なる強度が問題とされる設計ではなく、各方向への剛性のバランスが最も重視される。ダイキャスト技術はこれら要求に対し、肉厚を部分によって自由に変えられることや、従来の板金構造では困難であったリブを自由に立てられるなどの優れた自由度を有している。リアアームは、高品質ダイキャスト製の2部品を主要構成部材とし中心線で高速MIG溶接接合している(図11)。これにより部品点数が従来14点であったものが4点に削減できた。また、溶接長さも4.3mから2.3mに減らせた上に接合位置が中央線部になったこともあり、溶接後必要とされてきた矯正工程は不要となった。また、シートフレームは、従来の24部品の溶接組立構成からダイキャスト一体構成となり、大幅な部品点数の削減を達成している。溶接がなくなったことにより寸法精度も向上した(図12)。

図11 YZF-R6のリアアーム

これらに使用した材料は高い耐食性を有しており、従来ダイキャスト部品に行っていた塗装前のクロム酸クロメート処理を廃止し、表面処理は1コート1ベークの黒塗装仕様とした。

当モデルは、中子を用いた金型鋳造のメインフレームも同時に採用している。これも従来の展伸材+小物金型鋳物14点の部品構成だったものを大型の中空金型鋳物2点のみの構成とし、組付け工数の簡素化とともに寸法精度向上がなされている。いずれも薄肉で、軽量・高剛性に寄与している。

3.2 雪上車「RX-1」

北米を主な市場としている雪上車においても、2003年モデルのRX-1で新設計のオールアルミニウム製フレームを採用⁵⁾した。当モデルは地球環境保護の観点より燃費や排ガス性に優れた4ストロークエンジンを業界で初めて搭載した。従来の2ストロークエンジンからの変更によりエンジンの重量が増加したためフレーム各部に要求される強度・剛性特性を効率的に確保しながら軽量化を図った。押出材、成形板材、高品質ダイキャスト材(日立金属⁶⁾提供)を適所に配した設計とすることにより従来の雪上車SRXに対し重量を12%低減するとともに約2倍の車体剛性(ねじれ剛性)を確保し、優れた高速安定性を達成した(図13)。

4. 環境負荷の検証

地球環境問題への関心が高まる中で、LCA(Life Cycle Assessment)は、生産から最終的に廃棄処理されるまでの総合的な観点から環境負荷の少ない製品を開発するための指標である。LCAの考えに基づき、従来のアルミニウム展伸材+鋳物材から今回の高品質ダイキャストへの工法置換を検証してみた。使用(走行)段階および廃棄段階では同じアルミニウム材のため差はほとんど生じないが、ダイキャストは堰折り後の返り材がそのまま工場内で再溶解できるうえに工程が簡素化されるため製造段階においては8割以上の製造エネルギー量の低減がなされる。YZF-R6リアアーム1台分のエネ

	リアアーム	シートフレーム
従来品
ダイキャスト品
構成部品点数	14点→4点	24点→1点
溶接長	4.3m→2.3m	3.2m→0

図12 従来品と高品質ダイキャスト品の構成比較

図13 雪上車 RX-1 車体構成

図14 リアアームの高品質ダイキャスト化による製造エネルギー削減

ルギー削減量は、100Wの電灯が2000時間点灯できるほどであることがわかった(図14)。

5. おわりに

高品質ダイキャスト技術を開発することにより、ダイキャストのもつ形状自由度、生産効率を生かし、重力鋳造なみの強度、伸び、溶接性を実現できた。また、この技術を当社製品の車体部材に採用することにより、外観デザインの自由度が高まり、部品点数および生産工程の大幅な削減ができた。

従来、ダイキャスト品は精度は高いが、強度の信頼性が必ずしも十分ではなかったため、ケースなどの高強度は要求されない部品に多用されてきた。弱点である含有ガス量の多さは、アルミニウムが軽くなるなどとも言われてきた。しかし、高生産性が期待できる高圧ダイキャストで部材の性質を展伸材に近づけようとする技術開発はまだ、始まったばかりとも言える。

本技術の関連技術は、環境・安全で先行しているドイツの

いくつかの鋳造会社が先行しているとベンチマークされる。日本においては、アイデア提案は多く見られるが、実生産の実績はほとんどない。高機能の設備や大型の金型を用いた技術開発には資金が必要である。産学官の取組み、また、こういった分野には極端にアクティビティの低い国内の大学での基礎研究が期待される。

参考文献

- 1) 山縣 裕：塑性と加工，**40** (1999)，920.
- 2) 瀧本 宏，狩野康信，天野浩一，高橋信治，泉 透：Yamaha motor technical review, **35** (2003)，95.
- 3) H. Mayer, F. Venier and K. Koglin: ATZ/MTZ, Audi A8-Sonderausgabe, August (2002)，94.
- 4) 齋川 宏，稲盛 茂，谷川祐治：TOYOTA Technical Review, Vol. 52 No. 1 (2002)，36.
- 5) 中野太久二，窪田隆彦，宮崎政直，西嶋進一，泉 徹，瀧田尚志，甲斐 学，土井伸二：Yamaha motor technical review, **35** (2003)，57.