

オフロード二輪車用軽量高強度 後輪ホイールハブの開発

Development of Aluminum Alloy Rear-wheel Hub with Lightweight and High Strength
for Off Road Motorcycles

縣 正 樹*

Masaki AGATA

伊 藤 靖 樹*

Yasuki ITO

内 山 幹 雄*

Mikio UCHIYAMA

高 橋 恭*

Kyo TAKAHASHI

要 旨

オフロード二輪車、特にモトクロス走行をおこなう競技車では、足まわりのばね下質量の低減は重要である。今回、ばね下質量低減に大きく寄与するオフロード二輪車用の軽量高強度後輪ホイールハブを開発した。その構造上の特徴は、円筒ストレート部の薄肉化と駆動力が伝わるホイールハブのスプロケット側フランジ厚肉部の中空構造化である。部品構造の必要強度を確保するため、製法には薄肉形状に最適なダイカスト製法を、材料にはAl-Si-Mg系合金を採用し、熱処理はT5とした。これにより、従来材に対して耐力が27%、引張強度が30%向上した。鋳造に関しては、溶湯処理、キャビティ内減圧、プランジャ射出後の局部加圧を実施して、機械加工により中空形状とする素材厚肉部の内部品質を確保した。以上により、ホイールハブ単体で10.1%の軽量化を達成した。

ABSTRACT

A rear-wheel hub with lightweight and high strength that satisfies the needs for motocross riding and contributes considerably to the vehicle mass reduction has been developed. To reduce material, a hollow structure is used in the thick section of the flange on the sprocket side of the wheel hub, which transmits driving force. The thin-wall design is employed in the straight, cylindrical section of the hub. To maintain necessary strength of the structural part, the die-casting method, which is most suitable for a thin-wall product, is applied. With regard to the casting, the inner structure quality is ensured by applying a molten metal treatment, reducing the amount of gas by evacuating the cavity and providing a squeezing function after plunger ejection. As for the material, an Al-Si-Mg alloy is employed and T5 heat treatment is applied. Thus, the yield strength is improved by 27% and the tensile strength is increased by 30% compared to the conventional material.

1. はじめに

オフロード二輪車のモトクロス競技では、ジャンプセクションや、タイトなコーナが連続した不整地走行をおこなう。そのため、車両には軽快な操縦性と高い走破性能が求められる。足まわり部品には、走行時のジャンプ等により、大きな衝撃が加わるため、それに耐えられる高い強度が要求される。同時に、ばね下質量の低減による路面追従性向上のため、軽量化も重要である。オフロード二輪車用ホイールハ

ブのスプロケット側フランジは、駆動力を伝達するため、高い負荷を受ける部位である。そのため、フランジ厚肉部を中空形状にして軽量化することは難しいとされてきた。今回、機械的特性を向上させた新材料を用い、金型方案、鋳造条件を最適化することで、スプロケットフランジ側厚肉部の中空化、円筒ストレート部の薄肉化を可能とし約10%の軽量化を達成した。Fig. 1に本技術を搭載したモトクロス車両と開発品の外観を示す。本稿では、その材料仕様、金型方案、鋳造条件などについて述べる。



Fig. 1 Appearance of CRF450R and developed wheel hub

2. 開発のねらい

下記の二つを開発の主なねらいとした。

- (1) 従来の仕様に対し、軽量化効果として明確に現れる 10 %以上の軽量化をおこなう。
- (2) 従来製法のホイールハブと同等の耐久信頼性とする。

3. 開発技術要素

3.1. 部品構造

アルミダイカスト製法による一体成形された後輪ホイールハブは、車軸が通るハブ円筒部と、その軸方向両端部に設けられたブレーキディスク側フランジ、スプロケット側フランジで構成される。スプロケット側のフランジは、駆動力を伝えるため負荷が高く、反対側のブレーキ側フランジと比較して厚肉となっているのが通常である。この厚肉部によりハブ質量が大きくなる傾向にある。軽量化を図るためには、フランジ内側の厚肉部を中空構造にすることが効果的である。Fig. 2に従来仕様と開発したホイールハブの形状を示す。今回、スプロケット側フランジと円筒ストレート部を結ぶテーパー部を大断面化し、切削による肉抜き加工で大きく中空構造を形成するとともに、円筒ストレート部を薄肉化した新形状を採用し軽量化を図った。

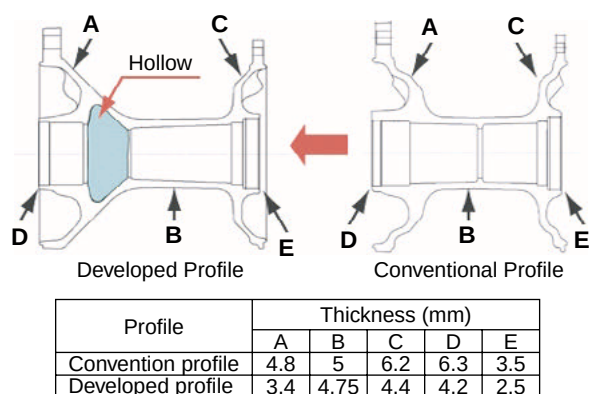


Fig. 2 Comparison of developed profile and conventional profile

3.2. CAE 解析

CAE は、部品を試作する前段階で、3次元 CAD モデルでの機能および性能を早期に評価し得る手法として有効である。軽量化を図った新形状ホイールハブモデルに、実機を想定した負荷を入力し、応力解析をおこなった。Fig. 3にCAE 解析結果の例を示す。CAE 解析結果から、高応力発生部の形状変更をおこなった。得られた新形状から、耐力185 MPa以上(従来材に対し 15%向上)、引張強度 250 MPa 以上(従来材に対し 20%向上)という材料要求強度を求めた。

3.3. 製法

本部品の製法には、生産性が高く、薄肉高精度が可能なダイカスト製法を用いた。しかし、ダイカスト製法は、高速でキャビティ内に溶湯を射出するため、重力鑄造法(GDC)、低圧鑄造法(LPDC)に対して、ガスの巻込みが多く見られる。本部品は、厚肉部の肉抜き加工を採用しているため、従来以上に内部品質に対する要求が高くなったので以下の技術を施した。

3.3.1. 溶湯処理

- (1) フラックス材による酸化物の除去をおこない、溶湯品質を確保した。Fig. 4 にKモールド法による酸化物確認のサンプルを示す。破面に、酸化物は確認されない。
- (2) 流量や時間を制御した窒素ガスのバブリングにより、水素ガスを低減した。Fig. 5 にバブリング後の減圧凝固サンプルを示す。水素ガス量は 0.3 cm³ 以下のレベルを確保できた。

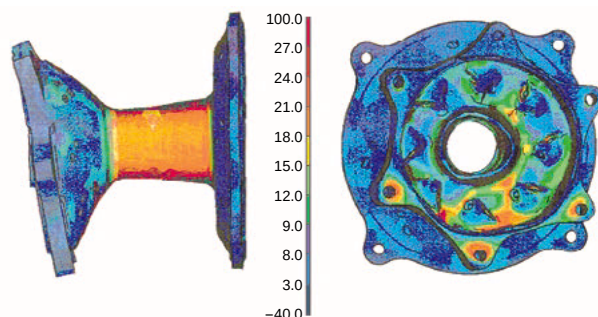


Fig. 3 Stress analysis result of wheel hub



Fig. 4 K-mold sample

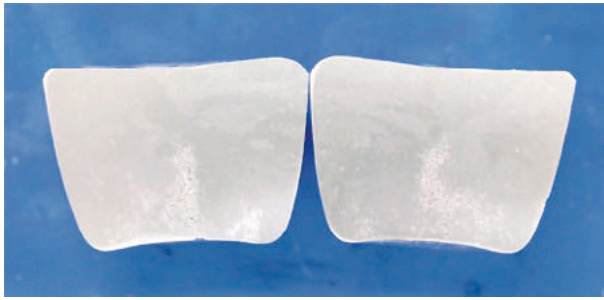


Fig. 5 Vacuum solidification sample

3.3.2. 鑄造技術

- (1) 破断チルを防止するため、射出スリーブは、保温性に優れるセラミックスリーブを採用し、ヒータで温度制御した。射出スリーブ潤滑は水溶性潤滑剤に対し、溶湯断熱効果の大きい粉末潤滑剤を採用し、溶湯の温度低下を防止した。
- (2) 型締動作完了と同時に、キャビティ内を減圧し、負圧によって湯流れ充てんの改善と充てん時のエア卷入を防止した。Fig. 6に真空ダイカストの構造を示す。
- (3) 鑄造シミュレーションを用いて、オーバフロー位置、ゲート位置、ゲート面積、充てん時間等の金型方案、鑄造条件の最適化をおこなった。Fig. 7にシミュレーション結果を示す。湯流れシミュレーションでは、オーバフローに沿って均一な充てんパターンとなるよう検討した。ガス巻込みのシミュレーションでは、オーバフローにガスを追込むような方案を目指した。溶湯温度のシミュレーションでは、湯まわり不良が発生しないよう、金型方案と鑄造条件を決定した。

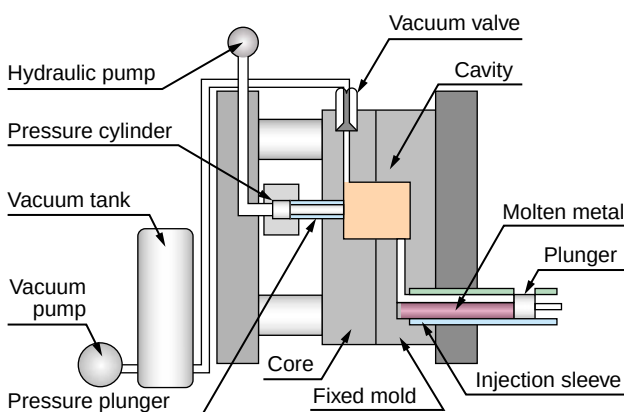


Fig. 6 Outline of vacuum die casting system

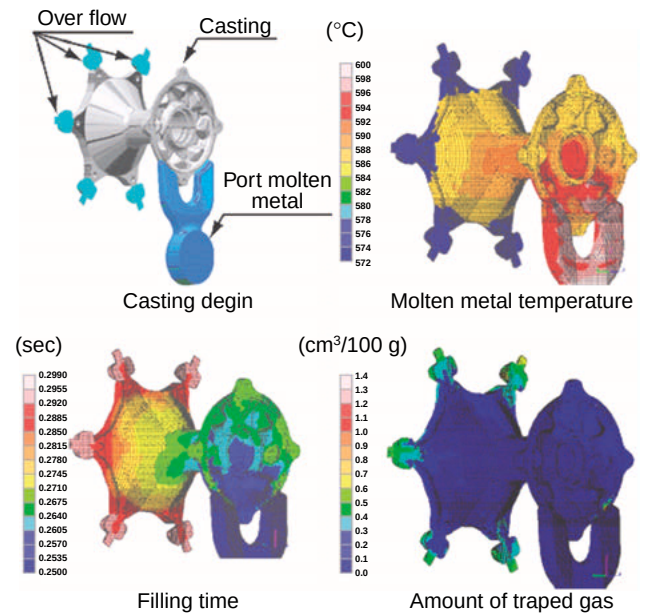


Fig. 7 Simulation of molten metal flow

- (4) スプロケット側フランジ厚内部には、プランジャ射出後、局部加圧(スクイズ)をおこなった。凝固前のタイミングで効果的に加圧して引け巣、ブローホールなどの発生を低減した。

3.4. 材料仕様

材料は、軽量ホイールハブとしての材料要求強度を満足するため、Al-Si-Mg 系ベースに添加合金の成分範囲を規定した新材料を採用した。Table 1 に成分を示す。

添加成分の含有量は、

- (1) Si 含有量は、9.5-11.5 mass%とし、良好な鑄造性を確保した。
- (2) Fe は金型への焼付き防止に有効な元素であるが、針状のAl-Fe-Si化合物を晶出させ、延性の阻害要因となる。そのため Fe の含有量は、0.15 mass%以下とした。
- (3) Mn は 0.5-0.8 mass%含有し、Fe 量低減で発生しやすくなる金型焼付きの防止を図った。
- (4) Sr 0.01-0.02 mass%を含有し、共晶 Si の微細化を図った。共晶 Si の微細化は、伸び特性向上に有効である。
- (5) Mg 添加は、時効処理時の Mg_2Si 析出により材料強度を向上させることができる。Mg 含有量の増加によって、耐力は向上するが延性は低下する。ホイールハブに必要な耐力と延性のバランスから、0.4-0.5%を設定した。

Table 1 Chemical composition

(%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Sr	P	Sn	Ni	Other
Developed alloy	9.5 - 11.5	≤0.15	≤0.03	0.5 - 0.8	0.15 - 0.50	≤0.07	0.04 - 0.15	0.010 - 0.015	≤0.001	-	-	≤0.10
Conventional alloy	8.5 - 11.0	≤1.0	1.0 - 2.5	≤0.3	≤0.2	≤1.0	-	-	-	-	≤0.3	-

Fig. 8 に開発合金の金属組織を示す。共晶 Si が微細化されており、針状の金属間化合物は認められない。

3.5. 熱処理

熱処理は必要な耐力を得るために、T5を採用した。T5で最大の効果を得るためには、高い温度から焼入れし、Mgを過飽和に固溶させ、人工時効にて、 Mg_2Si を多く析出させる必要がある。Fig. 9 に時効曲線を示す。最大強度を得るために、焼入れは水冷を採用し、時効条件は、 $170^\circ\text{C} \times 7\text{ Hr}$ に設定した。Fig. 10 に鋳造後の焼入れ方法違いによる耐力の特性を示す。同じ 170°C の時効で水焼入れは、空冷に対し耐力が10%向上した。これは、焼入れ時の急冷によりMgの固溶量が増加し、効果的な時効硬化が得られたためと考えられる。なお、F材に対しては、25%の向上となった。型から取り出した後、水焼入れするまでの時間と耐力の関係を Fig. 11 に示す。型から取り出した後、短時間で焼入れした方が、耐力は高く、焼入れまでの時間が遅くなるのに

従って減少する。これは、時間が経過するのに従って、ワーク温度が下がるためである。必要強度を得るために、型から取り出した後10秒以内で水冷することとした。焼入れ水槽は、必要強度を安定して得るために、常時 60°C 以下で管理することとした。

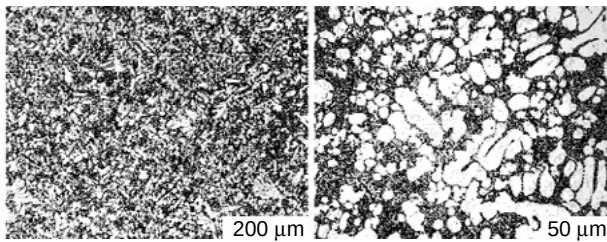


Fig. 8 Microstructure of developed material

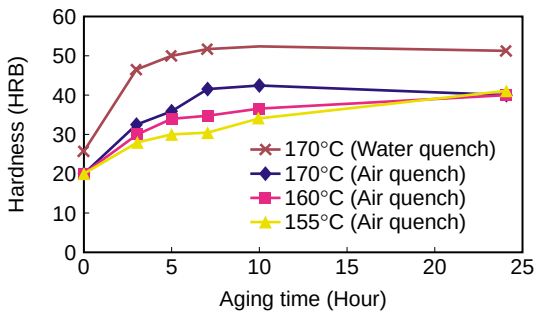


Fig. 9 Aging curve of developed material

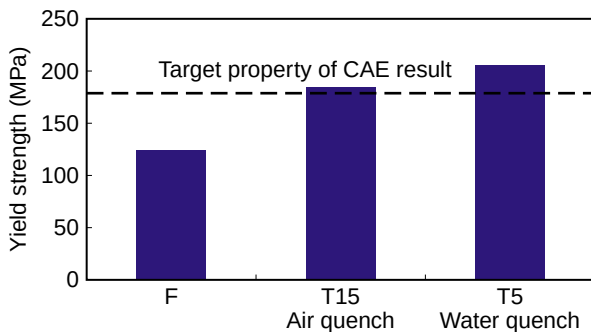


Fig. 10 Yield strength of each quench method

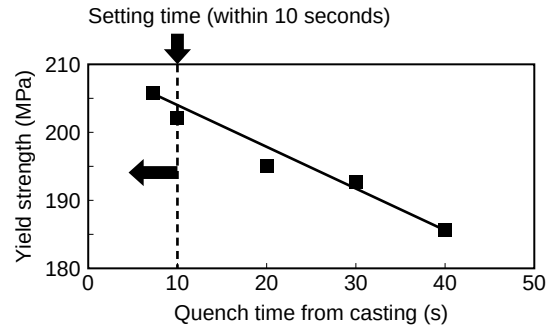


Fig. 11 Relationship between yield stress and quench time from casting

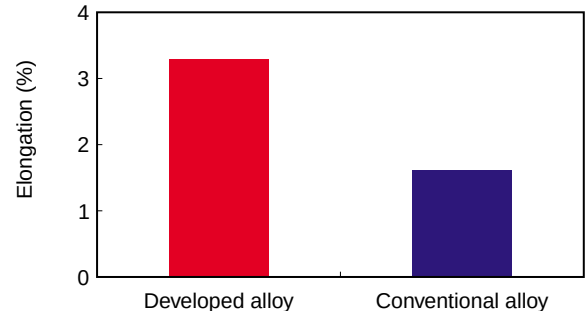
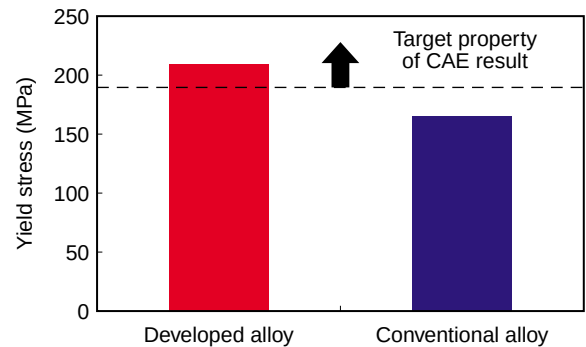
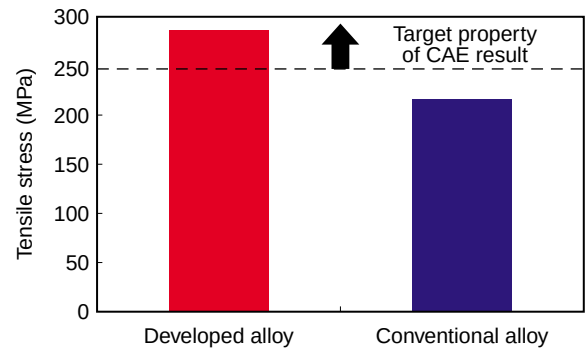


Fig. 12 Mechanical properties of developed alloy and conventional alloy

4. テスト結果

新形状を採用することにより、質量は従来材の1065 gから957 g となり、10.1%の軽量化を達成した。

4.1. 機械的特性

Fig. 12に機械的特性の結果を示す。本材料、熱処理仕様により、耐力 206 MPa, 引張強度 286 MPa, 伸び 3.3%の特性を得ることができた。従来材に対し、耐力27%, 引張強度 30%, 延性 106%向上することができた。

4.2. 内部品質

Fig. 13 にホイールハブ素材の内部品質を示す。スプロケット側フランジ厚肉部, 円筒ストレート部を含め, 内部品質は、ダイカストとして高品質なレベルを達成した。

4.3. 曲げ疲労強度

Fig. 14に開発材と従来材の両振り疲労曲線を示す。モトクロスではジャンプの着地でホイールハブが大荷重を受ける回数は 10^3 回レベルであり、レース車両の寿命から考えても 10^5 以下である。本材料は繰返し回数 10^3 ~ 10^6 回で従

来材に対し、10-15%疲労強度が向上し、モトクロス車両用ホイールハブとして十分な性能が得られた。

4.4. ねじり耐久テスト

ホイールハブにスポーク、ホイールリム、スプロケットを組み付けた状態でスプロケットを固定し、リムに一定のトルクを加え、破断までの繰返し数を評価する単体ねじり耐久テストをおこなった。ホイールハブが破断するまでの繰返し数は、Fig. 15に示すように従来材に比べて開発材は約 70%向上した。

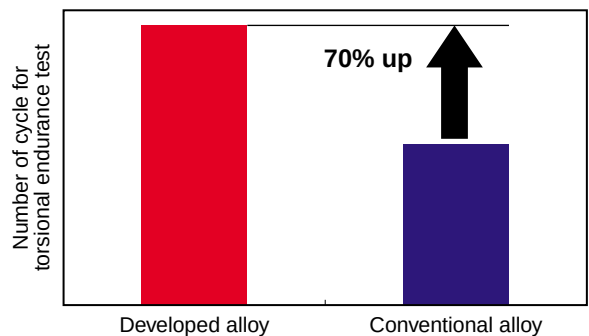


Fig. 15 Comparison of torsional endurance test results

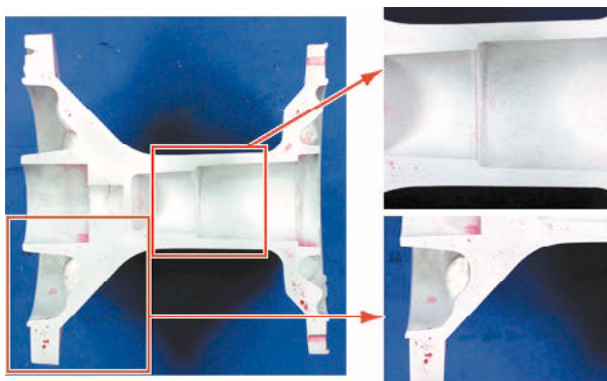


Fig. 13 Internal quality of wheel hub

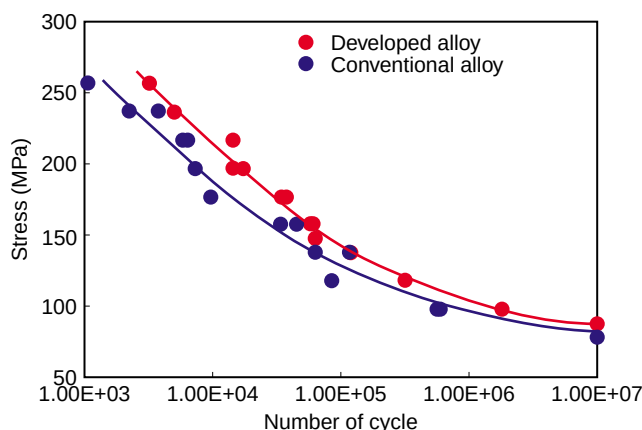


Fig. 14 Fatigue strength of developed alloy and conventional alloy

5. まとめ

- (1) 新材料を用い、熱処理条件を最適化し強度向上を活かしてホイールハブ各部の薄肉化をおこなった。
- (2) 金型方案、鑄造条件の最適化により、ホイールハブの厚肉部の良好な内部品質を確保することで肉抜き加工による中空形状を可能とし、従来比10.1%(-108 g)の軽量化を達成した軽量、高強度の後輪ホイールハブを開発した。

謝 辞

本開発を推進するに当たり、ご協力頂いた㈱九州柳河精機様に深く感謝致します。

参考文献

- (1) 渡辺修一郎：自動車部品用高延性ダイカスト合金，Al-ある，12月号，P13-17(2002)
- (2) アルミニウム技術便覧軽金属協会編，カロス出版，
- (3) 研究報告 74 ダイカストの鑄造欠陥と対策，(社)鑄造工学会ダイカスト研究部(1996)

■著 者■



縣 正 樹



内 山 幹 雄



伊 藤 靖 樹



高 橋 恭