

薄肉軽量マルチゲート LPDC 製法 アルミホイールの開発

Development of a Thin, Lightweight Aluminum Wheel by Multi-gate LPDC Process

高 橋 聡*
Satoshi TAKAHASHI

要 旨

本開発のアルミホイールは、ホイール機能に必要な特性を明確にし薄肉軽量化した。薄肉化の手法としては、金型方案の改良により材料の機械的性質を向上させた。新開発した金型方案は、アウトリム外周に設けたゲートを横型底面に配置することで、ゲートの位置や数、および形状を必要に応じ任意に設定できるため、素材肉厚の低減を可能とし冷却速度を向上させる。冷却速度の向上は組織の微細化をもたらし、伸びを大きくすることで疲労強度およびじん性を向上させた。この結果、インナーリムおよびスポーク部の製品肉厚を25%薄肉化し、ホイール製品重量で10%の軽量化を達成した。また、鋳造サイクルタイムの短縮およびひずみ取り工程の省略により生産性が向上した。

ABSTRACT

The characteristics required for wheel function were clarified and a thin, lightweight aluminum wheel was developed. The method adopted to reduce wheel thickness involved improving the mechanical properties of the materials by modification of the die layout. In the newly developed die layout, the gates that are set at the periphery of the outer rim are positioned at the bottom of the slide die so that the number of gates, their locations, and their shapes can be changed freely as needed. This arrangement made it possible to reduce the thickness of the material and increase the cooling rate. The faster cooling rate resulted in a finer structure, yielding greater elongation, which improved the fatigue strength and increased the toughness of the material. As a result, the thickness of the product in the inner rim and spoke portions was reduced 25%, achieving a 10% reduction in the weight of the wheel. This also shortened the casting cycle time and eliminated the need for a reforming press, therefore improving productivity.

1. まえがき

アルミホイールはデザインおよび軽量化のニーズから需要が増加している。高いデザイン自由度に加え、低コストで製造できる鋳造製法の割合は、現在製造されているアルミホイール数量の殆どを占めている。その中でも低圧鋳造製法(LPDC製法)は、重力鋳造製法(GDC製法)と並んで鋳造アルミホイールの代表的製法である。近年、環境・エネルギー問題が求められ、アルミホイールも更なる軽量化が必要となっている。

このような背景の中、今回開発したマルチゲート LPDC 製法アルミホイールは、既存 LPDC 製法設備に大きな変更

を加えることなく、更なる薄肉軽量化を可能とし、また同時に鋳造サイクルタイム短縮による生産効率向上を達成した。以下、その軽量化の考え方と新開発 LPDC 製法について紹介する。

2. アルミホイールの軽量化

2.1. アルミホイールの要求特性

アルミホイールの軽量化を検討するにあたり、各部位に要求される特性を明確化した。Fig. 1にホイールの各部位の名称を示す。

ホイールの機能である強度および耐久性を確保するため

*栃木研究所

に、Fig. 2⁽¹⁾で示すような単体での試験が一般的に用いられる。これらの試験は、ホイールに要求される特性を部位ごとに評価するものである。

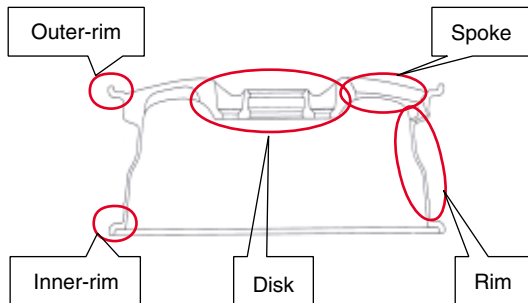
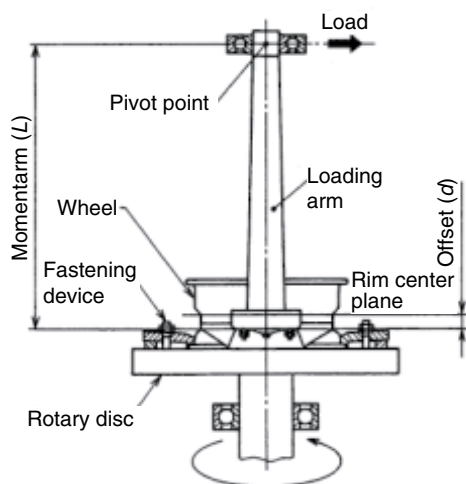


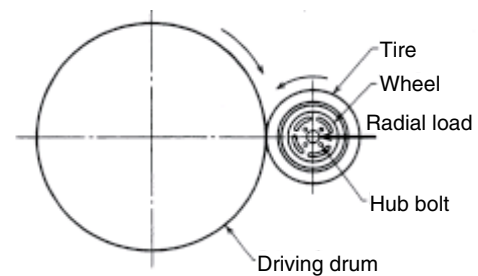
Fig. 1 The part name of the wheel

ホイールの耐久性を評価する回転曲げ疲労試験(Fig. 2-a)ではFig. 3-aに示すようにディスクからスポーク部にかけて高い疲労強度を求められ、またドラム耐久試験(Fig. 2-b)では、Fig. 3-bに示すようにディスクからスポーク部に加えてリム部の疲労強度も求められることが分かる。また、アウトリム部の耐衝撃性を評価する落下衝撃(Fig. 2-c)では、Fig. 3-cに示すようにアウトリム部およびインナリムからリム部にかけてのじん性が求められることが分かる。

薄肉軽量化を検討するにあたり、デザインの優先とタイヤ組み付け部形状の制約を受けるアウトリム部は薄肉化の対象から除外した。またハブへの取り付けレイアウトの制約を受けるディスク部も薄肉化の対象から除外して、薄肉軽量化に対してスポーク部、インナリム部およびリム部に着目して検討した。



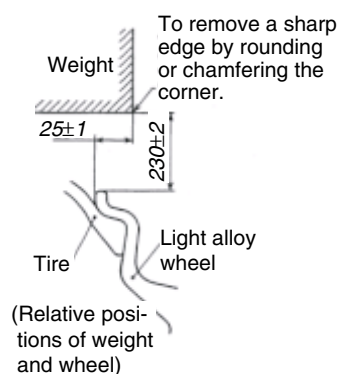
a) Bending endurance test apparatus (example)



Remarks 1 The width of the drum shall be provided with a surface flat and wider than the overall width of the tire to be used in the test of the wheel.

2 The diameter of the drum shall be, at least, 1700mm.

b) Radial load endurance test apparatus (example)



c) Impact test apparatus for passenger car (example)

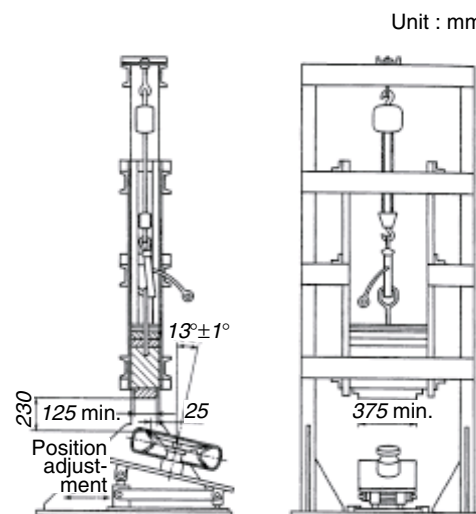


Fig. 2 Test apparatus for the wheel

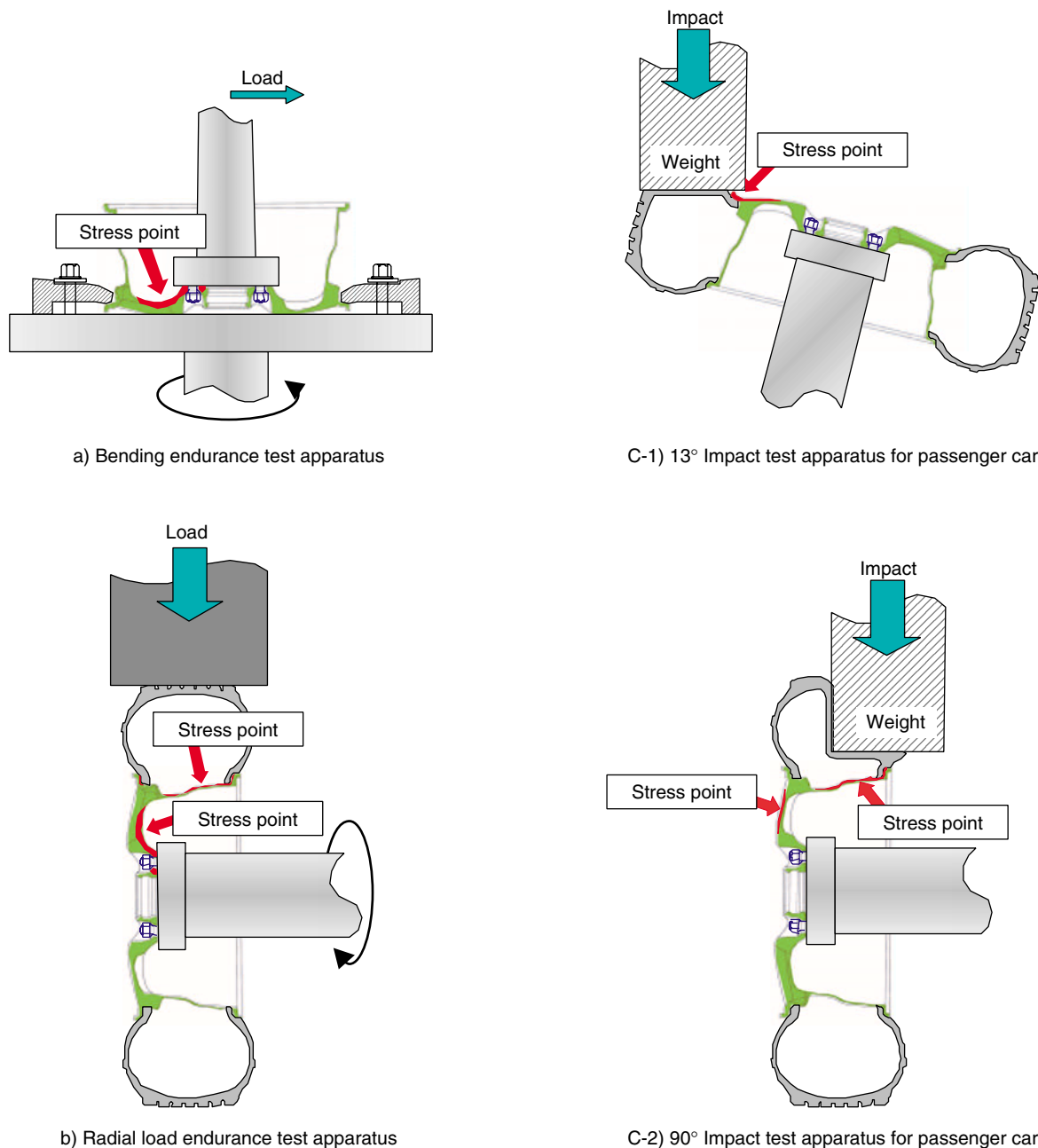


Fig. 3 Stress point by wheel test apparatus

2.2. 機械的性質の向上

ホイールの強度および耐久性を維持しつつ薄肉軽量化をするには、材料の機械的性質を向上させることが不可欠である。

本開発においては、現有 LPDC 設備の活用のために、溶解炉および熱処理炉を共用することを前提とした。このため、使用する材料は鋳造アルミホイール用として一般的な AC4CH-T6 材を適用した。Table 1 に本開発に用いた AC4CH 材の代表的な成分組成を示す。

材料および熱処理を変えずに機械的性質の向上を図る有効な方法として組織の微細化が知られており、組織のサイ

ズを表す Dendrite Arm Spacing (以下 DAS II)⁽²⁾ が小さいほど機械的性質の伸びおよび衝撃値が大きく向上する⁽³⁾。これはアルミホイールの製造においても顕著に現れ、Fig. 4 に示されるように DAS II の微細化により伸びが大きく向上する。また冷却速度の向上により DAS II が微細化されることから⁽⁴⁾、冷却速度を高くすることが機械的性質を向上させるために有効な手法である。

通常、伸びの向上はじん性の向上につながることから、落下衝撃試験に対しては、アウトリム部およびインナリムからリム部にかけて DAS II を微細化し、伸びを向上させることが有効である。

Table 1 AC4CH chemical composition

	(wt.%)					
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn
JIS standard	0.20 Max	6.5 ~ 7.5	0.25 ~ 0.45	0.10 Max	0.20 Max	0.10 Max
A representative example	0.003	7.10	0.320	0.005	0.121	0.016
	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr	Al
JIS standard	0.05 Max	0.20 Max	0.05 Max	0.05 Max	0.05 Max	Bal.
A representative example	0.005	0.120	0.005	0.000	0.001	Bal.

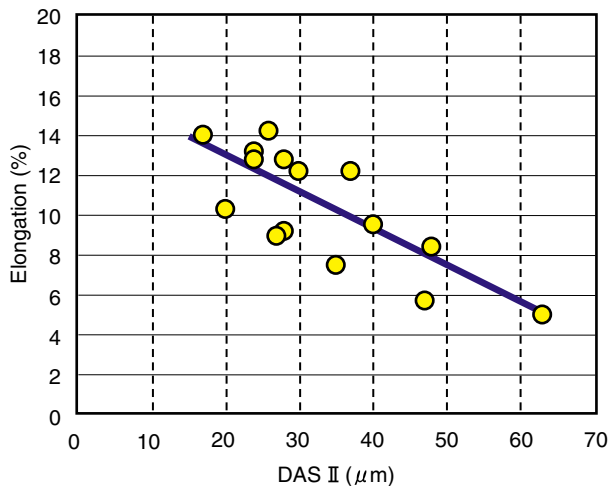


Fig. 4 Relation between DAS II and elongation of the Aluminum wheel

一方、疲労強度と伸びの間にも相関があることが報告されているが⁽⁵⁾、本開発の実験結果においても Fig. 5 に示されるとおり疲労強度と伸びの間に相関がみられ、特に高サイクル疲労強度は耐力よりも伸びに依存することが分った。アルミホイールの耐久性から要求される疲労強度は、高サイクル疲労強度が主であることから、アルミホイールの耐久性を向上させるには伸びを向上することが有効である。

以上より、アルミホイールの軽量化に対して、インナリムからリム部およびスポーク部の伸びを向上させること、つまり冷却速度を向上して疲労強度とじん性を向上させることが、効率の良い薄肉軽量化を可能とすることが分かる。

3. LPDC 製法アルミホイールの課題

3.1. LPDC 製法の課題

LPDC 製法に限らず、鋳造アルミホイールは機械的性質を向上させるためには DAS II の微細化が効果があり、そのためには冷却速度を高くする必要がある。

Fig. 6-a にアルミホイール LPDC 製法で最も一般的なセンターゲート方案の概略図を示す。センターゲート LPDC 製法は、ホイールセンター部に設けられた 1 箇所のゲートから製品全体に溶湯を充てんする方案であり、湯まわり性

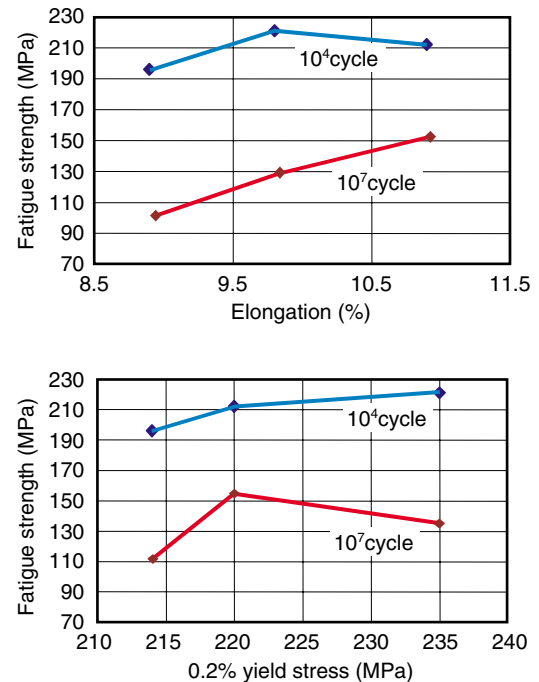


Fig. 5 Relation between fatigue strength and 0.2% yield strength/elongation

を確保および良好な内部品質を得る指向性凝固のために厚い素材肉厚が必要となる。厚い素材肉厚は、冷却速度が低いばかりでなく、溶湯充てん時間を増大させる要因となる。

Fig. 6-b に示すサイドゲート方案はセンターゲート方案よりも冷却速度を高くするためにリム部 2 箇所にゲートを設けた製法である。しかしながら、リム部からディスクセンター部分までの湯回り性を確保する必要性から素材肉厚を薄くするには限界がある。

3.2. 従来のマルチゲート LPDC 製法

LPDC 製法において、冷却速度の向上と溶湯充てん時間の短縮の双方の改善方法としてマルチゲート化が考えられてきた。前述のサイドゲート方案を更に拡張し、マルチゲート化によるメリットを追求した一例を Fig. 7 に示す。アウタリム部に 4 ヶ所のゲートから溶湯が充てんされるため湯回り性の確保が容易であり、素材肉厚を薄く設定することが可能となる。その結果、冷却速度を大きくできると同時に

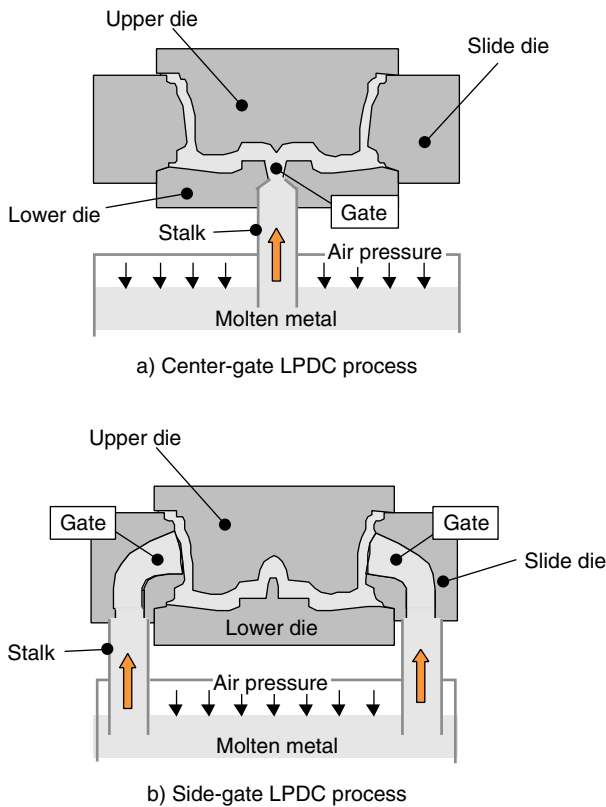


Fig. 6 Schematic illustration of the LPDC process

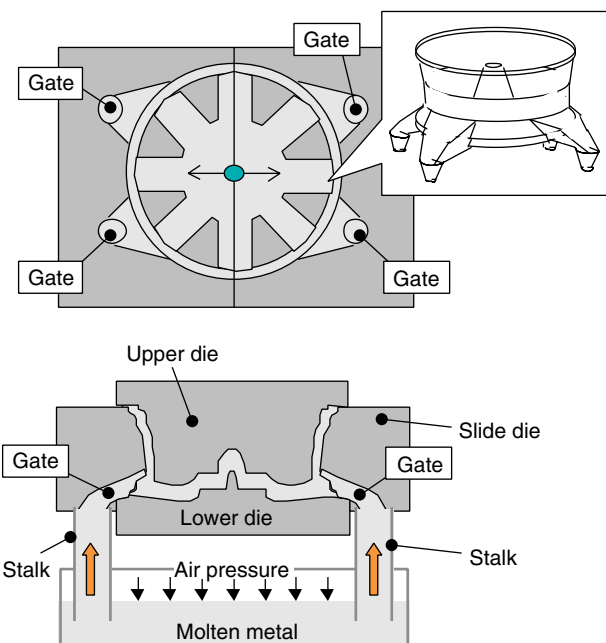


Fig. 7 4-gate LPDC process

溶湯充てん時間の短縮も図られ、機械的性質の向上と生産性の向上の両立が期待された。

しかしながら、従来の LPDC 製法によるマルチゲート化は、湯口方案が型開きの際に、横型のしゅう動を妨げることがないように、ゲート位置や数、およびゲート形状に多くの

制約が求められる。このようなことから従来のマルチゲート化は、生産性を十分に考慮したデザインとする必要がある。これはデザイン自由度に優位性のある LPDC 製法にとっては大きな課題であり、マルチゲート方案による量産例が少ない原因である。

LPDC 製法アルミホイールの軽量化に対する課題をまとめると以下ようになる。

- ・ 素材肉厚が厚いために冷却速度を大きくできないため、機械的性質の向上を妨げる原因となる。また、生産性を向上させる妨げる原因となる。
- ・ その対策として、マルチゲートゲート化による改善が試みられてきたが、ゲート設定の制約を受けるために、その効果が不十分であった。

4. 新マルチゲート LPDC 製法

4.1. 新マルチゲート LPDC 製法の概要

以上述べたような、LPDC 製法アルミホイールの課題を解決できる新しい製法として開発したのが新マルチゲート LPDC 製法である。Fig. 8 に新マルチゲート LPDC 製法の概略図を示す。

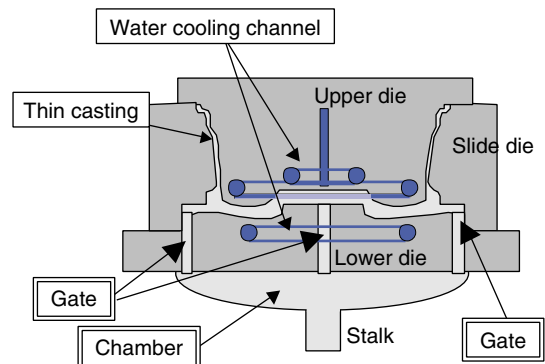


Fig. 8 New multi-gate LPDC process

マルチゲート化に際しては Fig. 9 に示すように、アウトリムの外周に設けたゲートの上面を横型の底面が構成することにより、ゲートが横型の離型を妨害することなくしゅう動が可能である。この結果、ゲート位置およびゲート数を必要に応じて任意に設けることができ、LPDC 製法のマルチゲート化の課題であった湯回り性を改善することができた。また、複数のゲートを任意の位置に設定可能とするためにストークと金型の間にチャンバーを設けることにより、ストークの数を増やすことなくそれぞれのゲートへの溶湯供給を可能とした。更に、DAS II の微細化を図るために、上型の水冷能力を強化することで高い冷却速度を得ることができた。

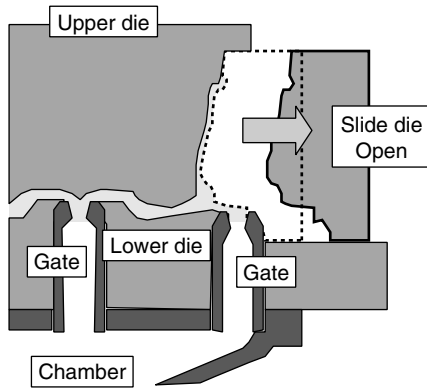


Fig. 9 Gating system of new multi-gate LPDC process

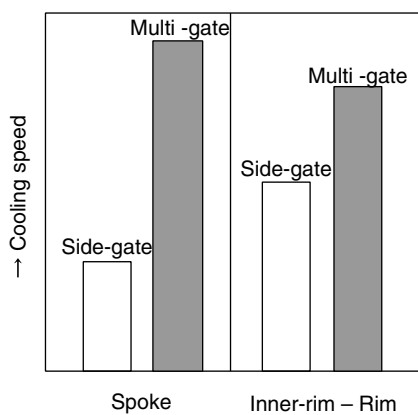


Fig. 10 Comparison of cooling speed

この新しいマルチゲート化により、湯流れ長さを短くすることが可能となり、サイドゲートと比較して素材肉厚を薄く設定しても湯回り性を十分確保できる方案となった。素材肉厚を薄く設定できたことと、金型冷却能力の向上により、スポーク部では約3倍の冷却速度を得ることができた(Fig. 10)。

この新しいマルチゲート化により、湯流れ長さを短くすることが可能となり、サイドゲートと比較して素材肉厚を薄く設定しても湯回り性を十分確保できる方案となった。素材肉厚を薄く設定できたことと、金型冷却能力の向上により、スポーク部では約3倍の冷却速度を得ることができた(Fig. 9)。

以上のような製法を用いることで、DAS II微細化による機械的性質の向上が可能となった。

4.2. 新マルチゲート LPDC 製法の軽量化効果

新マルチゲート LPDC 製法とサイドゲート LPDC 製法素材の断面写真を Fig. 11-a), b) に示す。新マルチゲート LPDC 製法はサイドゲート製法と比較すると、15 インチ×6.5J アルミホイールの素材肉厚においてリム部で33%、ス



a) New multi-gate LPDC process



b) Side-gate LPDC process

Fig. 11 The section of the castings by LPDC process

ポーク部で25%肉厚低減がされ、仕込み重量においては37%低減が図られた。

以下、新マルチゲート LPDC 製法による素材以外の効果について、サイドゲート LPDC 製法との比較して説明する。

4.2.1. 機械的性質

軽量化のためのじん性向上に重要である DAS II サイズの微細化効果を Fig. 12 に示す。

軽量化効果が大きいインナリムからリム部で約30%、スポーク部で約20%の微細化効果が見られる。その結果、伸びもそれぞれ約 50%、約 70%の向上が図られている。

4.2.2. 軽量化効果

これらじん性の向上により、Fig. 13 に示すようにスポーク部の製品肉厚を 25%、リム部の製品肉厚を 25～7%低減し、強度性能を落すことなく製品重量を 10%軽量化した。

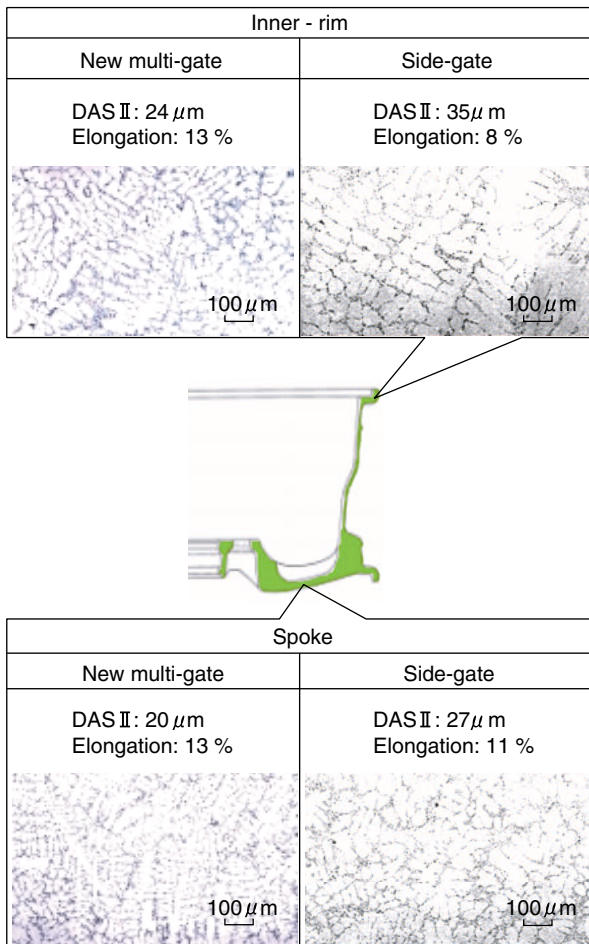


Fig. 12 Relation between DAS II and elongation

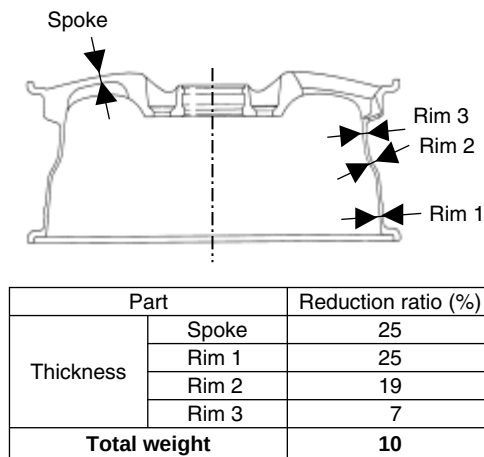


Fig. 13 Comparison of the thickness

4.3. 生産性の向上

新マルチゲート LPDC 製法には以上述べた他にも、生産性に関する効果がある。

4.3.1. サイクルタイム

鋳造サイクルタイムの短縮効果について Fig. 14 に示す。LPDC 製法の生産性に関する大きな課題として、鋳造サ

イクルタイムの長い事が挙げられ、特に溶湯の充てん時間および冷却時間が長いことが主な原因となっている。

新開発マルチゲート LPDC 製法においては、素材肉厚が薄く仕込み重量が低減され、かつ冷却時間が短いことから、昇圧工程から型締め工程までの鋳造工程のうち、充てん・押湯・冷却工程で時間短縮がなされ、鋳造サイクルタイムとして合計で 75%まで短縮することができた。

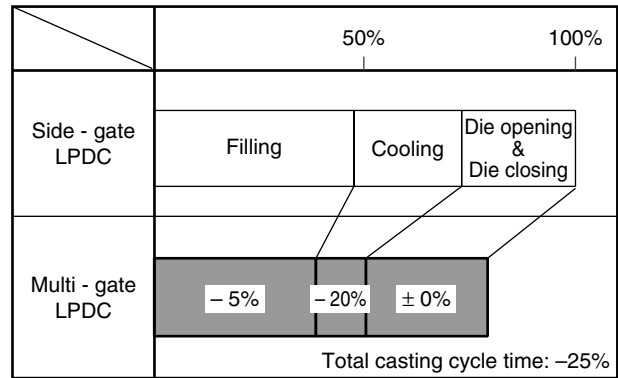


Fig. 14 Comparison of the thickness

4.3.2. その他の効果

またマルチゲート化により、凝固時の部位間での製品温度差が小さくなり、凝固冷却時の残留ひずみを低減する効果が得られる。この結果、今までのLPDC製法で必要であった鋳造後のひずみ取り矯正が不要となった。

5. まとめ

新マルチゲート LPDC 製法アルミホイールは、アウタリム外周に設けたゲートを横型底面に配置するため、ゲートを必要に応じ任意に設定することが可能となり素材の薄肉化を図ることができた。その結果、

- (1) 冷却速度の向上による組織の微細化がなされ、機械的性質が向上し、インナリムおよびスポーク部を 25%薄肉化し 10%の軽量化を達成した。
- (2) 鋳造サイクルタイムを 25%短縮およびひずみ取り工程の省略による生産性の向上が可能となった。

今回は 15 インチ× 6.5JJ サイズのホイールを例に説明したが、ホイールのサイズやデザインによって、その効果は変化する。最近時のホイールの大径化の傾向から、今後このマルチゲート LPDC 製法を適用することにより、いっそうの軽量化が期待できる。

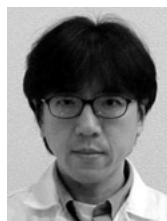
6. 謝辞

本開発に対して、多大なご協力を頂いた旭テック株式会社殿に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) JIS D4103 Automobile parts — Disc wheels —
Performance requirements and marking
- (2) 神尾彰彦ほか:デンドライトアームスペーシング測定
手順 アルミニウムのデンドライトアームスペーシン
グと冷却速度の測定方法, 東京, 軽金属学会, 1988,
p.46-52
- (3) 北岡山治ほか:Al-Si-Mg系合金の組織と機械的性質, ア
ルミニウムの組織と性質, 東京, 軽金属学会, 1991,
p.242-245
- (4) 安達充: 鋳物・ダイカスト, アルミニウムの製品と製
造技術, 東京軽金属学会, 2002, p.384
- (5) 本間梅夫:軽合金鋳物の製法と材質, 鋳物便覧, 東京,
丸善, 1986, p.931-936

■著 者■



高橋 聡