

難燃性マグネシウム合金の流動性に及ぼす鑄込温度及び塗型の影響 —難燃性マグネシウム合金の溶解・鑄造技術の高度化に関する研究—

高橋芳朗*・園田正樹*・重光和夫*・吉松研一**

*機械・金属担当・**木本機器工業株式会社

Influence of Casting Temperature and Coating Mold on Fluidity of Non-combustible Magnesium Alloy

—Research of Advanced Melting and Casting Technology of Non-combustible Magnesium Alloy—

Yoshiro TAKAHASHI*・Masaki SONODA*・Kazuo SHIGEMITSU*・Kenichi YOSHIMATSU**

*Mechanical and Metallurgical Engineering Group・**Kimotokikikougyo Co. Ltd.

要 旨

我々は、九州地方知事会議の政策連合「工業系公設試験研究機関の連携」に係る共同研究の一つである「マグネシウム合金に関する研究」の分担課題として、「難燃性マグネシウム合金の溶解・鑄造技術の高度化に関する研究」について本年度より取り組んでいる。本研究は、昨年度まで実施した地域新生コンソーシアム研究開発事業「難燃性マグネシウム合金の高機能組織制御と鉄道車両用部材の開発」の補完研究も兼ねており、同事業で得られた成果や課題をベースに、地場企業に技術移転が可能な「多品種少量生産に適した難燃性マグネシウム合金の溶解・鑄造技術の確立」、製品設計の幅を広げるために重要な「各種難燃性マグネシウム合金鑄造材及び熱処理材の材料特性の把握」等を主な目標としている。本年度は、鑄造時に重要となる熔融した難燃性マグネシウム合金の流動性について、合金種別、鑄込温度、塗型有無の観点から比較評価したので報告する。

1. はじめに

マグネシウム合金(以下「Mg 合金」とする。)は、実用構造金属材料の中で最も軽く(アルミニウムの約 2/3, 鉄の約 1/4 の重さ)、比強度、振動減衰性、耐くぼみ性、切削性、電磁波遮蔽性、リサイクル性等に優れていることから、携帯電話やパソコン等の電子機器の筐体材料として利用され、鉄道車両、自動車、ロボット等の輸送機器や産業機器の構造材料としても注目されている。しかし、Mg 合金は耐食性、常温塑性加工性等に劣り、燃えやすいという欠点が課題となっている。

一方、難燃性 Mg 合金とは、旧工業技術院九州工業技術研究所(現独立行政法人産業技術総合研究所九州センター)で開発された合金で、既存の Mg 合金にカルシウムを約 2mass%添加して発火温度を 300~400K 上昇させた合金である。溶解時の防燃用遮蔽ガスとして地球温暖化ガスである六フッ化硫黄を使用せず、大気中で溶解を可能とすることから、環境に優しい Mg 合金として注目されている。また、燃えにくいという特徴を活かし、社団法人日本鉄道車両機械技術協会の車両材料燃焼試験において、「不燃材」の認定も受けていることから、鉄道車両用部材への適用も検討されている^{1)~3)}。

我々はこのような特徴を活かし、九州大学を中心とした地

域新生コンソーシアム研究開発事業「難燃性 Mg 合金の高機能組織制御と鉄道車両用部材の開発」の中で、「鑄造 CAE(Computer Aided Engineering の略)を活用した難燃性 Mg 合金の砂型鑄物への適用」について研究を進めてきた^{1)~3)}。しかし、これらの成果を商品化や事業化に結びつけ、新たな鉄道車両用部材への展開とともに、自動車、ロボット等の新たな産業分野へ展開を図るためには、いくつかの解決すべき課題が残されている³⁾。

そこで本年度より実施している九州工業系公設試連携研究「Mg 合金に関する研究」の分担課題である「難燃性 Mg 合金の溶解・鑄造技術の高度化に関する研究」の中で、地域新生コンソーシアム研究開発事業の補完研究も兼ねて、地場企業に技術移転が可能な「多品種少量生産に適した難燃性 Mg 合金の溶解・鑄造技術の確立」、製品設計の幅を広げるために重要な「各種難燃性 Mg 合金鑄造材及び熱処理材の材料特性の把握」等の課題に取り組んでいる。

本年度は、鑄造時に重要となる熔融した難燃性 Mg 合金の流動性について、合金種別、鑄込温度、塗型有無の観点から比較評価した。

2. 実験方法

2.1 実験試料の作製

Fig.1 に渦巻型鑄造試験片のモデルを示す。溶融した難燃性 Mg 合金は青色で示した湯口より重力鑄造法で鑄型(砂型)内に注湯され、湯道、堰を通過して渦巻状に流れる。流動性を阻害する背圧をなくすため、渦巻の先端部は同一断面のベント(ガス抜き孔)が設けられ、鑄型(砂型)の外に開放されている。

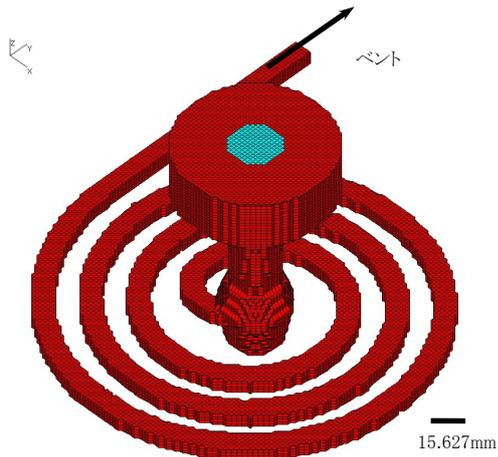


Fig.1 渦巻型鑄造試験片のモデル

Fig.2 及び Fig.3 に高周波誘導電気炉及び減圧処理装置を示す。本電気炉は、炉内に所定形状のステンレス製るつぼを挿入することで、最大約 5kg の Mg 溶解が可能である。また、本減圧処理装置は独自に製作したものである。



Fig.2 高周波誘導電気炉



Fig.3 減圧処理装置

これらの実験装置を用いて、Table 1 に示す約 2kg の難燃性 Mg 合金を大気中で溶解するとともに、約 0.01MPa の減圧下で 2 分間保持し、介在物を除去して溶湯を清浄化した後、Table 2 に示す溶解温度で 10 分間保持して鑄型(砂型)内に鑄造し、実験試料を得た。

Table 1 難燃性 Mg 合金の種類

種類	主な合金系
AZX912	Mg-9mass%Al-1mass%Zn-2mass%Ca 系
AZX312	Mg-3mass%Al-1mass%Zn-2mass%Ca 系
AMX602	Mg-6mass%Al-0.2mass%Mn-2mass%Ca 系

Table 2 溶解・鑄造条件

溶解温度(K)	鑄込温度(K)
903~910	903
953~960	953
1003~1010	1003

2.2 流動性の評価

得られた渦巻型鑄造試験片の流動性は、渦巻外周部を針金で固定し、その長さを測定することで評価した。

また、鑄造 CAE を用い、実際の流動性と流動解析の結果を比較することで、解析精度の確認と課題の抽出を行った。

2.3 塗型有無による流動性の評価と鑄肌面の粗さ

塗型有無による流動性について、AZX912 合金を用いて比較評価した。また、塗型有無による鑄肌面の粗さについて、Fig.4 に示す階段型鑄造試験片を用いて測定し、流動性に及ぼす影響等について考察した。

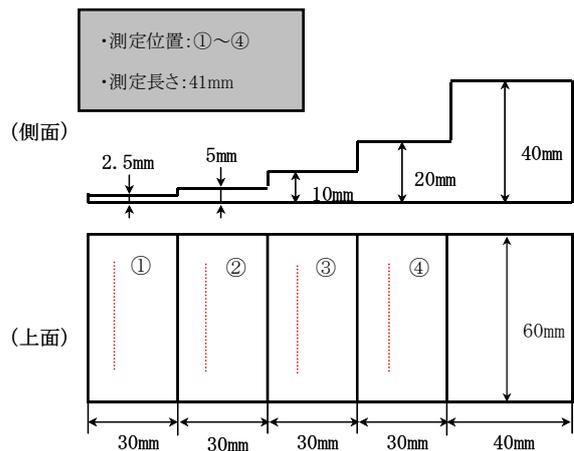


Fig.4 階段型鑄造試験片の形状と測定位置

3. 実験結果及び考察

3.1 各種難燃性 Mg 合金の流動性と流動性に及ぼす鑄込温度の影響

Fig.5 に各種難燃性 Mg 合金の鑄込温度別の流動性を示

す。本結果から、鑄込温度の上昇に伴い、流動性は改善されることが分かる。また、合金種別に比較すると、AZX912 が最も優れた流動性を示し、AZX312, AMX602 の順に流動性が悪くなっている。

鑄込温度 種類	903K	953K	1003K
AZX912			
AZX312			
AMX602			

Fig.5 各種難燃性 Mg 合金の鑄込温度別の流動性

Fig.6 に各種難燃性 Mg 合金の鑄込温度と流動長の関係を示す。本結果から、AZX912 合金は、1003K で 1100mm を超える流動性を示し、953K でも 850mm を超える流動性を示すことが分かる。一方、AZX312 合金及び AMX602 合金は、1003K で 870mm 前後の流動性を示しているが、これは AZX912 合金の 953K の時と大差ない結果となっている。このように難燃性 Mg 合金の流動性は合金種別によって変わるため、製品試作や実操業においては鑄込温度の管理や鑄造方案設計が重要な鍵を握ることが分かる。

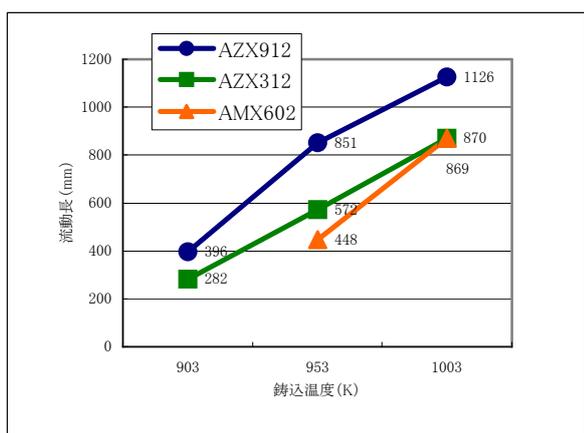


Fig.6 各種難燃性 Mg 合金の鑄込温度と流動長の関係

製品試作や実操業で重要となる鑄造方案は、コンピュータソフトの目覚ましい進歩で普及しつつある鑄造 CAE を用

いて流動性や凝固を事前に予測検討することで、迅速かつ最適に設計することができる。しかし、解析精度は物性値や境界条件の設定に大きく左右されるため、特に新しい材料では実験との比較検討が重要となる。

Fig.7 に AZX912 合金の流動性と流動解析結果を示す。ただし、解析に必要となる物性値は既存の Mg 合金で使われる汎用値を用い、物性値の温度依存性、鑄肌面の粗さ等は今回考慮していない。また、要素形状は規則-不規則混合要素を用い、鑄物要素数は 54,628 個で充填率 99%まで熱流れによる計算を行っている。

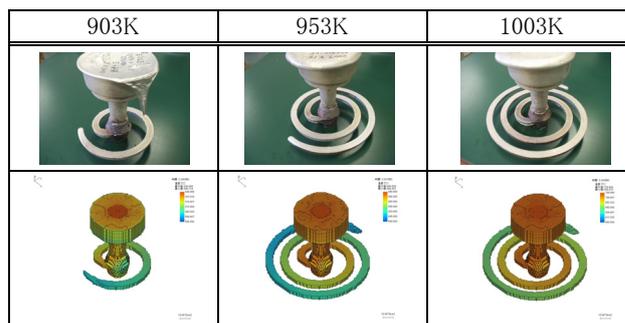


Fig.7 AZX912 合金の流動性と流動解析結果

本結果から、903K, 1003K では実験結果と解析結果がほぼ一致したものの、953K では一致していないことが分かる。この相違について、現時点ではまだ十分な解明ができていないものの、AZX912 合金と既存の Mg 合金の物性値が異なっていることが一因として考えられる。また、鑄肌面の粗さ、鑄型との濡れ性等も複雑に影響しており、実験結果と一致した 903K, 1003K の解析結果についてもこれらを考慮した再検証が必要である。

Fig.8 に凝固解析による引け巣予測結果と 3 次元 CT 像を示す^{2),3)}。これは昨年度実施した地域新生コンソーシアム研究開発事業の成果の一部であるが、凝固解析についてはコンピュータやソフトウェアの目覚ましい進歩である程度高精度な解析が可能となっている。一方、流動解析については、複雑形状モデルの鑄型内における溶湯の流れや最終到達部を可視化することができ非常に有効であるものの、より正確に比較評価をする場合、複雑に影響を及ぼす多くの物性値を正確に把握することが必要となり、実験との検証によるデータベース化が重要な課題である。

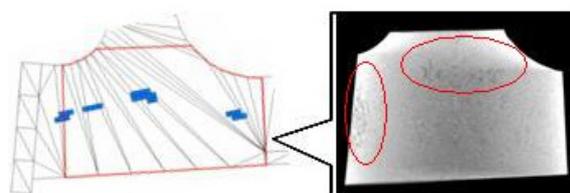


Fig.8 凝固解析による引け巣予測結果と 3 次元 CT 像²⁾³⁾

3.2 塗型有無による流動性の評価と鑄肌面の粗さ

Fig.9 に鑄込温度 1003K における AZX912 合金の塗型有無による流動性を, Fig.10 に鑄込温度 1003K における AZX912 合金の塗型有無による流動長を示す. 本結果から, 塗型を施すことで, 流動性は僅かに改善されることが分かる.

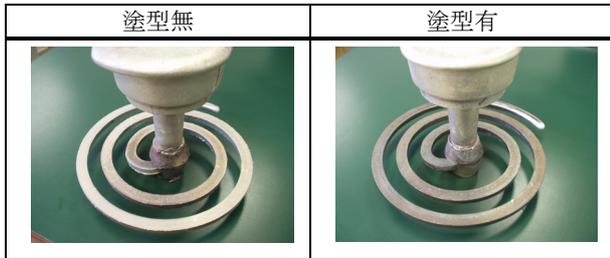


Fig.9 鑄込温度 1003K における AZX912 合金の塗型有無による流動性

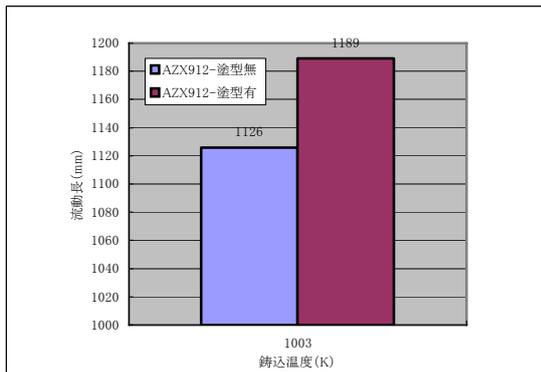


Fig.10 鑄込温度 1003K における AZX912 合金の塗型有無による流動長

Table 3 に塗型有無による鑄肌面の粗さを示す. 本結果から, 塗型を施すことにより Ra, Rz はともに小さくなり, 測定位置毎のばらつきも小さくなるのが分かる. したがって, 鑄肌そのものが平滑になることから, 精度の高い鑄物が期待できる. また, 塗型を施すことにより鑄型表面(溶湯接触部)が平滑となるため, 溶湯と鑄型の摩擦抵抗が減り, 流動性が改善されると考えられる.

Table 3 塗型有無による鑄肌面の粗さ

	塗型無		塗型有	
	Ra (μm)	Rz (μm)	Ra (μm)	Rz (μm)
①	15.6	63.6	7.3	31.0
②	11.4	53.3	9.5	34.1
③	18.7	75.6	10.7	38.9
④	21.0	90.7	11.5	46.2
平均値	16.7	70.8	9.2	37.6

備考: Rz は旧 JIS の 10 点平均粗さ

4. まとめ

鑄造時に重要となる溶融した難燃性 Mg 合金の流動性について, 合金種別, 鑄込温度, 塗型有無の観点から比較評価し, 以下の結果が得られた.

- 1) 各種難燃性 Mg 合金の流動性は, 鑄込温度の上昇とともに改善される.
- 2) 合金種別に比較すると, AZX912 > AZX312 \geq AMX602 の順に流動性が良好である.
- 3) 流動解析は, 複雑形状モデルの鑄型内における溶湯の流れや最終到達部を可視化することができ非常に有効であるものの, より正確に比較評価をする場合, 複雑に影響を及ぼす多くの物性値を正確に把握することが必要となり, 実験との検証によるデータベース化が重要な課題である.
- 4) 塗型を施すことによる鑄型表面(溶湯接触部)の平滑化は, 鑄肌の平滑化, 流動性の改善に有効である.

参考文献

- 1) 園田正樹, 吉松研一, 瀬戸一郎: コンピュータシミュレーション解析を利用した難燃性マグネシウム合金の砂型鑄造への適用に関する研究, 平成 17 年度大分県産業科学技術センター研究報告, Web 掲載
- 2) 園田正樹, 高橋芳朗, 吉松研一, 瀬戸一郎: コンピュータシミュレーション解析を利用した難燃性マグネシウム合金の砂型鑄造への適用に関する研究, 平成 18 年度大分県産業科学技術センター研究報告, Web 掲載
- 3) 高橋芳朗: 難燃性マグネシウム合金砂型鑄物の設計支援と試作, 大分県産業科学技術センターニュース 142 号(2007.10), P.3~P.4