

減圧凝固法による Al-Mg 系砂型用合金の溶湯品質評価*

岩清水 康二**、池 浩之**、黒須 信吾**

鋳造における Al-Mg 系合金は、高耐食、高靱性に優れることから、自動車部品などとして需要が拡大している。しかし、Al-Mg 系合金の特性や溶湯品質評価に関する報告が少ない。そこで本研究では、Al-Mg 系合金の鋳造用 AC7A 合金の減圧凝固法による溶湯品質評価を試みた。その結果、鋳造の現場においては、戻り材中の Si 量が増加する傾向のあることが明らかになった。

キーワード：AC7A 合金、減圧凝固法

Quality of Al-Mg System Molten Metal for Sand Mold using Gas Contest Test under Low-Pressure Solidification

Koji Iwashimizu, Hiroyuki Ike and Shingo Kurosu

In aluminum casting, Al-Mg alloy is valued because of its superior corrosion resistance and strength. Thus, for strength and lightness, many motor parts are made from Al-Mg alloy. However, a few reports raise questions about the melt quality of Al-Mg alloy. To clarify this issue, the present study used vacuum tests to check the quality of Al-Mg alloy melt. The results indicated that, in casting factories, silicon tends to increase in the return materials.

key words : AC7A alloy, vacuum gas test

1 結 言

アルミニウム合金は、鉄系材料や銅合金と比較し、密度が低く、比強度が高いため、輸送機器分野、産業機械分野では軽量化を図るためその需要が高まっている。特に、自動車分野においては、ハイブリット車をはじめ、エンジン部品や車体軽量化材にアルミニウム合金が多く使用されている。従来、このエンジン部品の合金材料には、ダイカスト材 AD12 や鋳造材 AC4CH に代表される Al-Si 系もしくは Al-Si-Cu 系合金が多く用いられてきた。しかし、最近は、車体ボディパネルに 6000 系アルミニウム合金など高靱性、耐食性の優れた、Al-Mg 系合金が使用されるようになり、鋳造においても Al-Mg 系合金の需要が高まっている。しかし、Al-Mg 系合金の溶湯品質評価や結晶粒微細化による機械的特性や流動特性などに関する文献・報告が少ない。また、鋳造現場においては、鋳造材料として新材と湯口部、湯道部など製品部外戻り材を再溶解し使用しているが、その配合や溶湯品質に与える影響についても不明な点が多い。

ところで、岩手県工業技術センター、宮城県産業技術総合センター、山形県工業技術センターでは、中東北 3 県公設試技術連携推進会議（通称：IMV 連携会議）においてアルミニウム合金鋳造技術の高度化について課題解決を進めてきた。

そこで、本事業においても、Al-Mg 系合金の特性について合同で実験を行い、各県のテーマによる調査研究を進めてきた。本報は、岩手県工業技術センターが担当し

た「減圧凝固法による Al-Mg 系砂型用合金の溶湯品質評価の検討」についての調査結果を報告する。

2 調査研究内容

岩手県では、鋳造現場における溶湯品質評価法の利用拡大による品質向上を目的とし、減圧凝固法による溶湯品質評価について検討を行った。

減圧凝固法は、溶湯中のガス量を鋳造現場炉前にて定性評価する方法である。試験は、専用のステンレス製小ルツボに溶湯を採取し、減圧下で凝固させ、溶湯中のガスをポロシティ（気泡）として発生させる。評価は、凝固後の試験片の膨らみ方や試験片中心部を縦方向に切断し、内部に発生したポロシティを目視で観察する。簡便なことから鋳造の現場では広く使用されているが、ポロシティの発生には、ガス量だけではなく介在物量や溶湯温度の影響を受けることが分っている¹⁾。そこで、本調査研究では、代表的な Al-Mg 系合金である AC7A 材の減圧凝固試験による溶湯評価を検討した。

2-1 実験方法

実験に用いた合金は、溶湯処理後および結晶粒微細化剤が溶湯品質に与える影響の検討と鋳造現場において再溶解される戻り材の溶湯評価を検討するため、表 1 に示す JIS アルミニウム合金 AC7A と鋳造現場にて得られた AC7A 戻り材を用いて、新材および戻り材の配合を表 2 に示すとおり変化させた。戻り材は、湯口部、湯道部であり、製品部から切断後、ショットブラストにて、表面鋳

* 平成 26 年度 東北経済産業局 自動車関連次世代技術基盤データベース構築事業、中東北 3 県公設試技術連携推進会議（共同研究）

** 素形材技術部

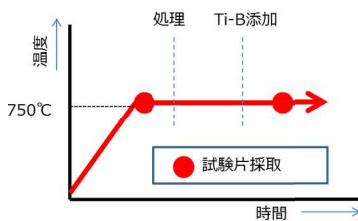


図1 溶解線図

表1 使用したアルミニウム合金成分

	(mass%)							
	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti	Al
新材	0.006	0.076	4.45	0.010	0.118	0.004	0.013	rem

(固体発光分光分析による)

表2 溶解No.と溶解材料の配合

溶解No.	新材 (g)	戻り材 (g)	Ti-B (g)	合計 (g)	新材:戻り材
1	6,491	—	—	6,491	10:0
2	6,491	—	132	6,623	10:0
3	3,397	3,318	—	6,715	5:5
4	1,892	4,541	—	6,433	3:7
5	—	6,712	—	6,712	0:10
6	—	6,824	136	6,960	0:10

物砂や酸化膜を除去後、保管した材料である。これらの材料を#20 黒鉛るつぽに約 6,500g 充填し、高周波誘導加熱炉で溶解した。溶解作業は、図1の溶解線図に従って行い、常温より溶解し 750°Cで減圧凝固試験片、介在物測定用のK モールド試験片を採取した。そして溶湯重量に対し 0.2wt%のフラックス剤にて脱滓、アルゴンガスにより脱ガス処理後、10分の沈静を行った。その後、減圧凝固試験片、K モールド試験片、4号引張試験片を金型にて採取した。また、組織結晶粒微細化による溶湯評価を行うため、Al-5%Ti-1%B 母合金を溶湯処理後に合金組成の 0.1wt%添加した。

減圧凝固試験後に取り出した凝固試験片は、水中秤量法で見掛密度を測定した。その後、同試験片の中央部から切断、切断面を#600のエメリー紙で研磨仕上げした後、ポロシティ発生形態やマクロエッチングによる組織を目視・光学顕微鏡で観察し、溶解直後、溶湯処理後およびTi-B添加後の溶湯について評価を行った。また、採取した4号引張試験片による強度測定とブリネル硬度による硬度測定を行った。更に、組成を確認するため固体発光分光分析による成分分析を行った。

2-2 実験結果と考察

2-2-1 AC7A 材および微細化剤を添加した溶湯品質評価

図2には、表2の溶解No.1の溶湯による溶解直後、溶湯処理後の減圧凝固試験片断面、見掛密度、K値を示す。AC7A材の20°Cにおける密度は、2.66g/cm³であるが図3によると、本試験片は、溶解直後が2.52g/cm³、溶湯処理後が2.59g/cm³という数値を示している。また、溶解直後、溶湯処理後の減圧凝固試験片とも、上部の膨らみがないことから溶湯中のガス量は少ないと考えられる。

	溶解直後	溶湯処理後
減圧凝固試験片断面		
見掛密度 (g/cm ³)	2.52	2.59
K値	10<	0.27

図2 新材の溶解直後、溶湯処理後の溶湯評価

溶解直後の減圧凝固試験片断面を観察すると細かいポロシティが、試験片断面内部に分散発生し、上部には、さらに微細なポロシティが発生している。これと比較し、溶湯処理後の減圧凝固試験片内部には、ポロシティが少ない。また、介在物量を示すK値は、溶解直後K>10であるが、溶湯処理後は、介在物がK=0.27であり、介在物量が多いとポロシティ発生量が増加する傾向にある。これは、溶湯中の介在物が、凝固時、ポロシティ生成核となったためと考えられる。組織観察を行った結果、試験片内部の結晶粒サイズの違いから、凝固方向が試験片下部および外周部より内部へ進んだことが分る。また、溶解直後と溶湯処理後の結晶粒径を比較すると溶湯処理後の組織が大きい。これは、溶解直後の溶湯の減圧凝固試験は、凝固時、溶湯中の介在物がAl結晶核となり、組織が微細化されたことが推察できる。以上により減圧凝固法を用いてAC7A合金の溶湯処理によるポロシティ発生量や粒径の差などが確認できた。

新材	溶解直後	溶湯処理後	Ti-B添加後
減圧凝固試験片断面			
密度 (g/cm ³)	2.50	2.59	2.47
K値	10<	0.27	2.36

図3 新材にTi-B添加後の溶湯評価

図3には、表2の溶解No.2の溶湯による溶解直後、溶湯処理後、Ti-B添加後の減圧凝固試験片断面、見掛密度、K値を示す。減圧凝固試験片断面の組織観察をみると、溶解直後は、試験片断面にポロシティを分散発生しているが、溶湯処理によりポロシティが減少し、結晶粒が大きくなった。その後、Ti-Bを添加すると組織は微細化され、Ti-B添加の効果が確認できた。しかし、溶湯処理後には、ポロシティ発生量が少ないが、Ti-Bを添加することにより、ポロシティが散発生し、溶解直後と比較し数、粒径も増加している。また、見掛密度が溶湯処理後に比べ低下していることから、溶湯中のガス量も増加したと考えられる。


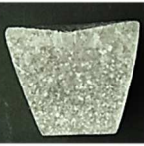
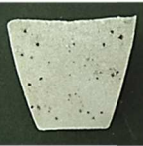
戻り材	溶解直後	溶湯処理後	Ti-B添加後
減圧凝固試験片断面			
密度(g/cm ³)	2.58	2.57	2.55
K値	0	0	0.2

図4 戻り材による溶湯評価

図4には、表2の溶解No.6の溶湯の溶解直後、溶湯処理後、Ti-B添加後の減圧凝固試験片断面、見掛密度、K値を示す。溶解材料は、戻り材のみを用いているが、溶解直後の介在物量がK=0であり、減圧凝固試験片の上部の膨らみもないことから、溶湯は、清浄な状態と考えられる。これは、溶解No.5の場合も同様であった。図3と同様に、溶解直後から溶湯処理を行うことでポロシティ数は減少しているが、その後、Ti-Bを添加すると、ポロシティ数が増加し、介在物量も増加する傾向にある。

これらの結果から、溶解直後、溶湯処理後、Ti-B添加後のそれぞれによる溶湯品質評価が可能であった。

2-2-2 戻り材が溶湯品質評価に与える影響の検討

図5には、表2の溶解No.1、3、4、5の溶湯の溶解直後、溶湯処理後の減圧凝固試験片断面を示す。いずれの試験結果においても溶解直後、溶湯処理後の減圧凝固試験片断面観察およびK値の結果から溶湯処理の効果が確認できた。溶解直後の介在物数を比較すると、新材の介在物量が最も高い。本実験において使用した戻り材は、再溶解前にショットブラストで表面の酸化被膜や不純物を除去した。このことから、表面の酸化膜や不純物の混入が少なく、溶解後のK値に影響を与えたと考えられる。

溶解No.1、3の溶解直後の試験片断面を比較すると、溶解No.3の試験片断面に発生したポロシティが大きい。K値を比較すると溶解No.1のK値が高い。これは、溶湯中





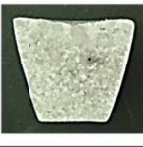


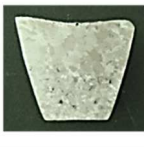
溶解No	新材、戻り材割合	溶解直後	溶湯処理後
1	10:0		
	K値	10<	0.27
3	5:5		
	K値	0.27	0
4	3:7		
	K値	0.1	0
5	0:10		
	K値	0.45	0

図5 新材、戻り材による試験結果

の介在物量が増加することで凝固時、介在物を中心核とし、引けやガスが分散したことが考えられる。溶解No.4、5は、溶解材料中の戻り材の割合が高いが、溶解直後の試験片断面のポロシティが少ないことからガス量が少ないと考えられる。

図6には、図5における溶湯処理後の減圧凝固試験片断面と機械的性質について示す。溶解No.5の試験片断面は、他の試験片断面と比較して、ポロシティ数が多い。





溶解No	1	3	4	5
新材:戻り材	10:0	5:5	3:7	0:10
減圧凝固試験片断面				
引張強度(Mpa)	215	198	192	201
伸び(%)	16.7	9.6	8.8	6.3
硬さHB(10/500)	52	57	55	55
密度(g/cm ³)	2.59	2.59	2.59	2.57
K値	0.27	0	0	0

図6 新材、戻り材の配合の違いによる試験結果と機械的性質

しかし、引張強度はNo.1 が高く、硬さは、大きく変化していない。戻り材が増加することによる引張強度、硬さ試験結果において大きな差がなかった。しかし、戻り材の割合が増えると、伸びが低下する傾向にある。

表3 新材、戻り材の配合した合金の組成

mass%固体発光分光分析による

新材:戻り材	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ti	Al
10:0	0.006	0.076	4.41	0.010	0.118	0.004	0.013	rem
5:5	0.004	0.219	4.23	0.008	0.116	0.004	0.013	rem
3:7	0.006	0.276	4.11	0.009	0.113	0.004	0.014	rem
0:10	0.007	0.378	4.11	0.010	0.123	0.004	0.015	rem

表3には、図6の溶湯処理後の組成を示す。これによると、戻り材が増加するとMgが減少し、Siが増加する傾向にあった。Mgは、酸化の傾向がAlに比べ強いいため、溶解作業中に酸化が進み減耗したと考えられる。更に、戻り材が増加するとSiが増加する傾向にあった。この混入については、鋳物砂や耐火物、他合金の混在が考えられるが、原因の特定には至っていない。しかし、Al合金の特性としてSiが増加すると、耐摩耗性、注湯時の流動性は向上するが、伸びが低下する特徴がある。以上のことから、成分中のSi量が増加により伸びが低下したと考えられた。

以上より、戻り材は、溶解前に表面の酸化膜を除去することで、品質の高い溶湯を得られるが、戻り材の組成は、Mgが低下し、Siが増加する傾向にあることから成分管理を厳密に行う必要があると考えられた。

3 まとめ

本調査研究において減圧凝固法によるAC7A材およびTi-Bを添加した溶湯の品質評価と戻り材が品質に与える影響を検討した結果、以下の結論が得られた。

- ・減圧凝固試験を用いて、溶湯処理の確認が可能である。
- ・減圧凝固試験片にTi-Bを添加することで組織微細化の確認ができる。
- ・Ti-Bを添加するとポロシティが多く発生し、ポロシティ径が大きくなった。
- ・戻り材の成分分析の結果、戻り材の添加量を増加させると、Mgが減少し、Siが増加する傾向にあった。

文 献

- 1) 例えば、(財)素形材センター：軽合金鋳物ダイカストの生産技術 p116 (1993)