

半溶融成形法によるAl-Si-Mg系鋳造合金の耐食性

機械科 岩澤 秀 大澤洋文* 針幸達也 長澤 正
株式会社浅沼技研 上久保佳則 高橋正詞 山本健介 杉浦泰夫

Corrosion resistance of Al-Si-Mg casting alloys produced by semi-solid forming process

Shigeru IWASAWA, Hirofumi OOSAWA, Tatsuya HARIKOH, Tadashi NAGASAWA,
Yoshinori KAMIKUBO, Masashi TAKAHASHI, Kensuke YAMAMOTO and Yasuo SUGIURA

Semi-solid process shows great promise for several applications including the automotive and aerospace industries mainly because of their high mechanical properties and excellent interior integrity of their castings. Copper(Cu) is an effective alloying element commonly added to aluminum alloys in order to enhance their strength and hardness at the expense of ductility and corrosion resistance. In this study, we investigated the corrosion resistance for Al-7mass%Si-0.5mass%Mg and Al-7mass%Si-0.5mass%Mg-2.0mass%Cu alloys produced by semi-solid process using salt spraying test. The results indicated that the addition of Cu lowered the corrosion resistance due to the increasing in Cu-containing phases in the semi-solid formed specimens. Semi-solid formed Al-7mass%Si-0.5mass%Mg-2.0mass%Cu alloys, however, displayed superior corrosion resistance compared to ADC12 die-cast alloys with the same Cu content.

Keywords : Semi-solid process, aluminum casting alloy, corrosion resistance

キーワード : 半溶融成形法 鋳造用アルミニウム合金 耐食性

1 はじめに

次世代自動車の今後の普及を確実にするために、構成部材の軽量化・ダウンサイジング化は自動車関連製造メーカーの大きな関心事である。半溶融成形法は、アルミニウム合金鋳物の高強度化、軽量化及び高機能化を兼ね備えた鋳物製造技術であり、その発展に大きな期待が掛けられている。ところでアルミニウム合金鋳物は、熱処理により、強度・延性特性が向上する。しかしながら、高温の熱処理は、工程の煩雑化、燃料費の高騰、歪欠陥をはじめ、多くのコスト増の要因となっており、熱処理を無くしたアルミニウム合金及び製造技術の開発が求められている。Cu（銅）は、アルミニウム合金の母相を強化するために、鋳放しのままで放置しても、鋳物合金の強度特性を高めることができると考えられる¹⁾。しかしながら、Cuは、アルミニウム合金の耐食性を劣化させる恐れがある¹⁾。そこで本研究では、Cu添加した半溶融成形材の耐食性を評価することとした。

2 実験方法

供試材は、(株)浅沼技研より提供された半溶融成形したAl-7mass%Si-0.5mass%Mg 357（以下mass%は、%）合金（以下357合金）および鋳物の強度を高めるためにCuを2%添加したAl-7%Si-0.5%Mg-2%Cu合金（以下2%Cu合金）ならびに比較材としてダイカスト成形したAl-12%Si-0.2%Mg-1.7%Cu-0.7%Fe-0.15%Mn ADC12合金（以下ADC12合金）とした。塩水噴霧試験は、「塩水噴霧試験機 ST-ISO-2型 スガ試験機(株)製」を用いて、塩水濃度5%、雰囲気温度35℃一定とし、JIS Z 2371に準拠するように努めた。

塩水噴霧試験用のテストピースは、片面だけが、腐食試験雰囲気に曝されるように一方をマスキングした。腐食時間は、1日（24h）、2日（48h）、4日（96h）、7日（168h）、12日（288h）および25日（600h）とした。各時間腐食試験を行った後、蒸留水を用いてテストピースを水洗し、乾燥させた。腐食生成物がテストピース表面に付着し、それが取り除きにくい場合、タワシを用いて軽く削り落とした。水洗後、2 mol硝酸水溶液を用いて約2分間、超音波洗浄した。その後、エタノー

*) 現 研究開発課

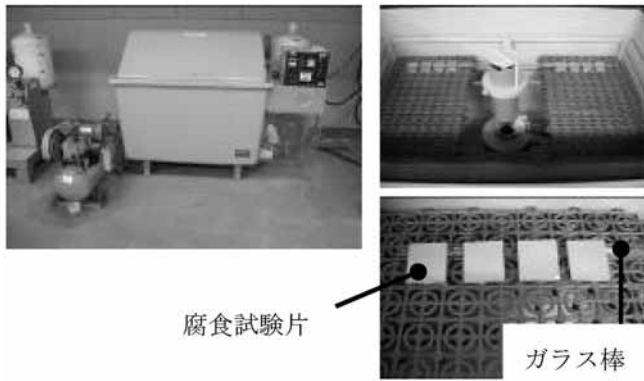


写真1 塩水噴霧試験の概略

ルによる超音波洗浄を行い、乾燥させた。写真1に塩水噴霧試験の概略を示す。マイクロ組織観察は、#1000まで耐水ペーパーで研磨後、バフ布にてコロイダルシリカ研磨剤を用いて最終研磨した。腐食液は、0.5%フッ酸水溶液を用いた。また、Cu添加による金属間化合物相を同定するために357合金および1.5%Cuを含んだAl-7%Si-0.5%Mg-1.5%Cu合金（以下1.5%Cu合金）についてX線回折「X線回折装置 RAD-2C 理学電機(株)製」を行った。

腐食試験後のテストピースの重量を測定し、試験前の重量との差から以下の式を用いて評価した。

$$(\text{腐食減量})[\text{mg}] = (\text{試験前の重量}) - (\text{試験後の重量})$$

また、腐食試験後の表面をデジタルマイクロスコープ「デジタルマイクロスコープVHX-1000 (株)キーエンス製」により観察した。

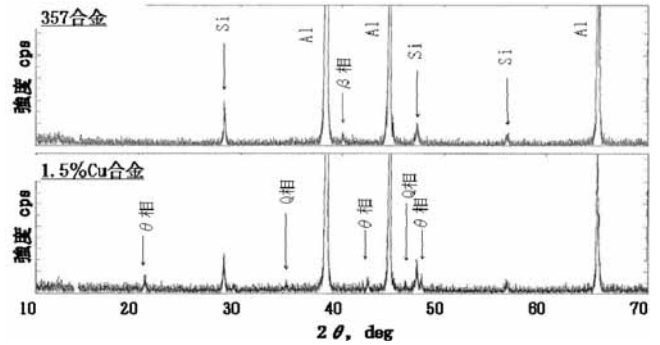


図2 X線回折結果

3 結果及び考察

図1に半熔融成形した357合金、2.0%Cu合金およびダイカストしたADC12合金のas-cast（铸放しまま）材のマイクロ組織を示す。半熔融成形材では、いずれも粒状の初晶とそれらを取り囲むようにAl-Si共晶領域とから構成される（図1（a）および図1（b））。2%Cu合金では、高倍写真（図1（e））で見られるように共晶領域には、淡い灰色で観察される共晶Si相とは別の金属間化合物も確認できた。この金属間化合物相は、Cu添加により共晶凝固したAl-Cu系またはAl-Si-Mg-Cu系の金属間化合物相と考えられる。一方、ダイカスト材では、液相状態から凝固した未発達の初晶 α デンドライト相と共晶組織から構成される。共晶Si相は、針状に晶出しており、それらの大きさは、半熔融成形材と比べて粗大であった。図2には、357合金および1.5%Cu合金のX線回折結果を示す。357合金では、主要な組織構成相であるAlおよびSi相のピークに加え、MgとSiの化合物相である β -Mg₂Si相²⁾のピークがわずかに

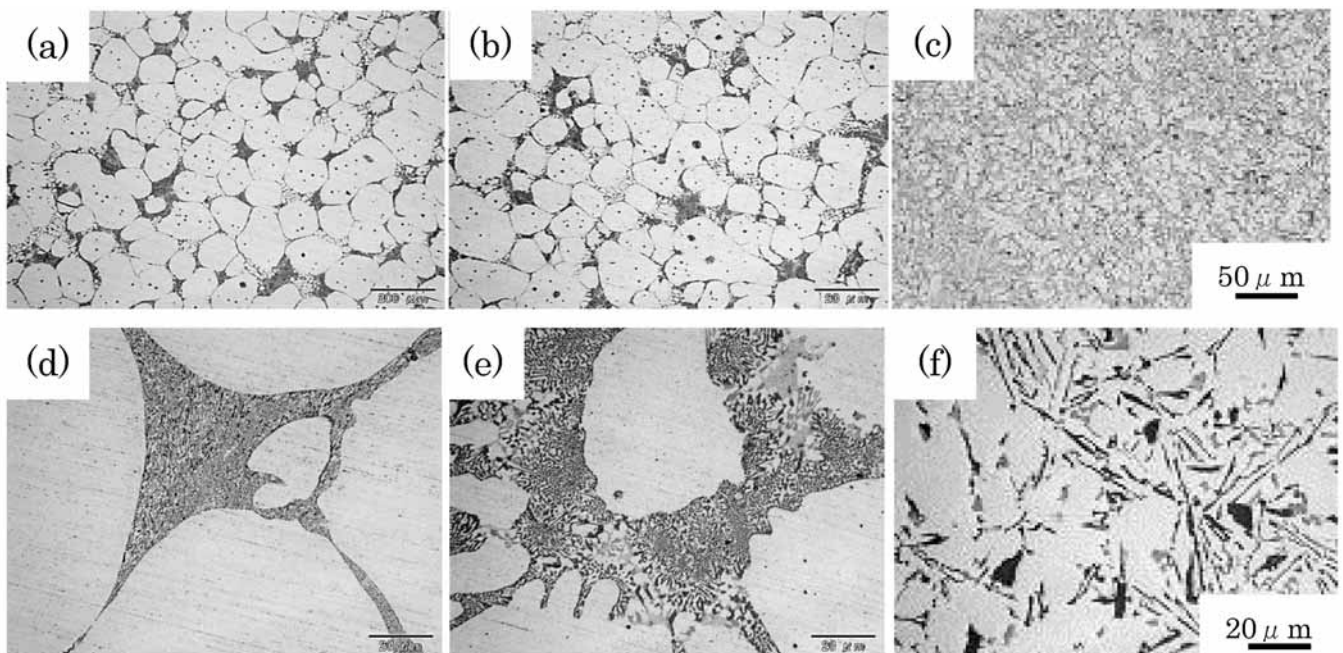


図1 铸放しまま材のマイクロ組織
(a)(d)357合金、(b)(e)2.0%Cu合金、(c)(f)ADC12合金

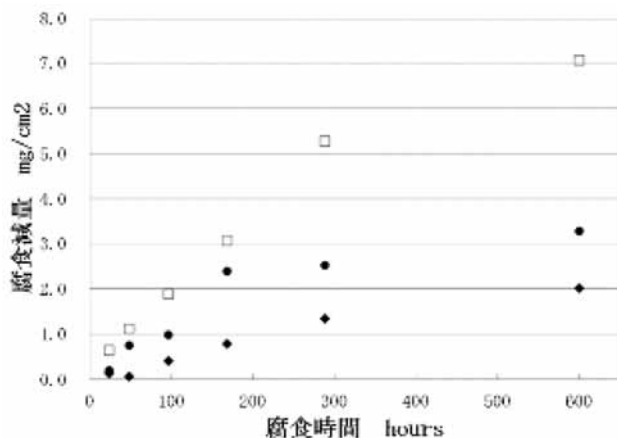


図3 腐食減量
◆357合金、●2.0%Cu合金、□ADC12合金

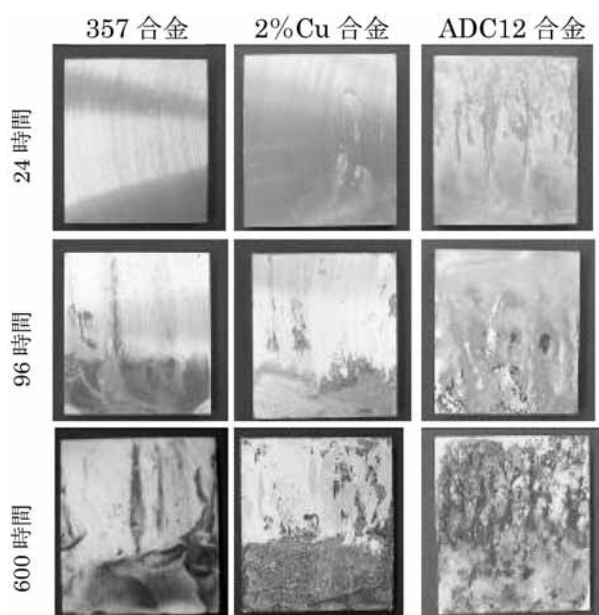


写真2 塩水噴霧試験後の試料

確認できた。これに対してCuを1.5%添加した1.5%Cu合金では、 β 相のピークが見られなくなり、AlとSiの他に θ - Al_2Cu 相とQ相（例えば3）、 $Al_5Mg_8Cu_2Si_6$ と考えられるピークが確認された。Cu添加によりCuリッチな金属間化合物相が共晶凝固により晶出することが示され、図1の組織写真中の淡灰色の化合物相は、これらに対応するものと考えられる。

図3は、塩水噴霧試験後の腐食減量を示す。いずれの合金とも、腐食時間の経過に伴い腐食減量は増加する。半熔融成形材では、357合金が最も低い腐食減量を示し、Cu量が2%添加されると腐食減量の増加が見られた。ほぼ同じCu量を含む2%Cu合金とADC12の腐食減量を比較すると、2%Cu合金の方が腐食減量は半分以下であった。以上のことから、本試験で用いた半熔融成形材は、ダイカスト材に比べて、良

好な耐食性を示すと考えられた。

写真2に塩水噴霧試験後の試料表面を示す。いずれも腐食時間が長くなるにつれて腐食（変色）面積が増加している。半熔融成形材では、腐食時間24時間では、Cu添加の有無にあまり腐食面積の差が見られなかったが、腐食時間の延長に伴い、Cu添加の影響が顕著になってきた。ADC12ダイカスト合金は、腐食時間48時間で、すでに全面に腐食痕跡が観察され、腐食時間の延長により、腐食が著しくなる。全ての腐食時間において半熔融成形材の腐食面積は小さく、上記の腐食減量結果と一致している。

図4および図5には、腐食時間48時間後ならびに288時間後の試験片表面のデジタルマイクロスコープ写真を示す。357合金では、初晶 α -Al相のまわりに存在していた共晶（ α +Si）領域から腐食が始まっており、腐食時間288時間で見られるように初晶 α -Al相を残して、周りの共晶領域が主に腐食されている。2.0%Cu合金では、共晶部や α -Al相のセル境界に黒く見える

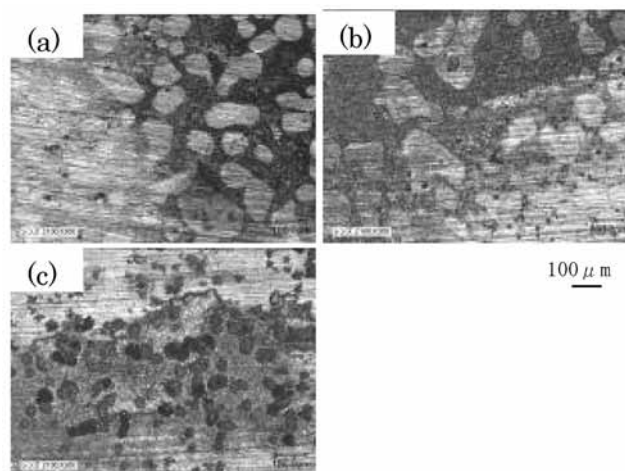


図4 腐食時間48時間後の試料表面
(a)357合金、(b)2.0%Cu合金、(c)ADC12合金

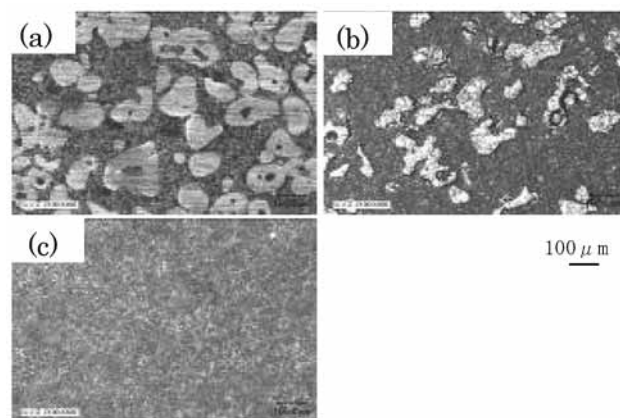


図5 腐食時間288時間後の試料表面
(a)357合金、(b)2.0%Cu合金、(c)ADC12合金

丸状の孔が存在し、それらは、腐食時間が延長されると、直径が大きくなり、また連結して孔の面積を増加させていった。腐食時間288時間の写真では、腐食された共晶領域中の初晶 α -Al相も浸食されるように腐食が進行していることが観察された。

これに対して、ADC12合金では、腐食している部分に多数の孔が認められ、腐食時間の経過とともに、それらが大きく、また連結してゆき、腐食時間288時間で見られるように全面が腐食されるようになる。

ADC12合金の腐食の進行は、半溶融成形材と同様に共晶領域及び α -Al相セル境界から発生すると思われるが、半溶融成形材とは異なり、初晶 α -Alが微細であることから、共晶領域の腐食の進行にともない α -Al相が脱落し、全面的に一様に腐食していく様相を呈するものと思われる。

ダイカスト材であるADC12合金では、半溶融成形材である2.0%Cu合金と比較すると、Cu量は少ないものの腐食の進行は速い。これは、ダイカストでは、Si含有量が多く、したがって耐食性に劣る共晶領域が多くなることに加えて、耐食性を著しく劣化させるFeを不可逆的に含むためと考えられる。

以上、腐食試験結果から半溶融成形材は、既存のダイカスト材に比べて、良好な耐食性を示すことが明らかとなった。

4 まとめ

半溶融成形したAl-7%Si-0.5%Mg (357) 合金および母相の強化のために2.0%Cuを添加したAl-7%Si-0.5%Mg-2.0%Cu (2%Cu) 合金ならびにダイカストにより製造したADC12合金の耐食性試験を行った。

①半溶融成形材では、Cu量の増加に伴い腐食減量は増加するが、2%Cu合金は、同程度のCu量を含むADC12合金に比べて腐食減量は小さい。このことは、同程度のCuを含む場合、ダイカスト法に比べて半溶融成形法の方が、耐食性の良い铸件をつくることができることを示している。

②半溶融成形材の腐食は、共晶領域における孔発生、連結により進行し、初晶 α -Al相は、腐食を遅延させる。共晶領域の腐食がある程度進行したあと、初晶 α -Al相の腐食が進行する。

参考文献

- 1) 「アルミニウム技術便覧」, 第1版 (カロス出版, 東京), 軽金属協会 編集, pp.117-134 (1985).
- 2) 才川清二他: 金型鑄造したAl-10%Si-Mg系鑄物の時効硬化特性に及ぼす離型温度の影響. スマートプロセス学会誌, 4 (2), 115-121 (2015).
- 3) 例えば S.K.Chaudhury ら: Effects of Heat Treatment on Microstructure and Mechanical properties of Al-Si-Cu-Mg alloy using a Fluidized bed Reactor. AFS Transactions, 71 (2), 117-130 (2005).