

アルミダイカスト部品の高品質・低コスト化を実現する製造技術の開発（第3報）

水谷 予志生、小寺 将也、細野 幸太、新川 真人*

Development of manufacturing technique for aluminum die-casting due to high quality and cost reduction (III)

Yoshiki Mizutani, Masaya Kodera, Kota Hosono and Makoto Niikawa*

非熱処理型の高延性アルミニウムダイカスト合金の開発を目的とし、ADC6 合金近傍の組成域において、Si と Mg の量を変化させた合金で金型に铸造し、引張試験による強度測定とマイクロ組織観察を行った。合金成分は、ほぼ純金属ベースの原料を配合し、Cu, Fe, Mn の添加量を固定し、Si および Mg の添加量をそれぞれ約 1~7% の間で変化させた種々の铸造試験片を作製しており、組織改良剤は添加していない。比較として、アルミニウムダイカストで広く使用されている ADC12 合金についても同様の試験を行った。本研究で調査した合金組成域では、ADC12 の約 50~90% 程度の引張強度となった。また、伸びについては ADC12 とほぼ同程度の値しか得られず、改善されなかった。今後、微量元素の影響、組織改良剤の影響についての調査が課題である。

1. はじめに

欧米・中国等の国々で自動車に対する燃費規制が年々厳しくなる中、自動車の電動化・車体の軽量化は自動車メーカーにとって喫緊の課題である。排気ガスを減らすために電動化を進めると、電池が重いことから車体の重量増に繋がってしまう。排気ガスの低減、航続距離の増加といった観点から車体の軽量化が強く望まれているものの、衝突安全性を確保しつつ軽量化をしなければならない、という非常に難しい問題に直面する。一部高級車ではオールアルミのものも市販されているが、広く普及させるには製造コストの低減も重要な課題である。一般に、100kg 軽量化すると約 1km/L の燃費向上に繋がると言われており、部材の高強度化による薄肉化、軽量素材への変更等が行われており、さらなる研究開発も盛んに行われている^{1,4)}。

一方、生産性の高い製造方法で知られるダイカストは、アルミニウム合金部品を低コストで大量に生産できることから、車体の軽量化に有効であると考えられる。これまでは強度の求められるエンジンブロックやシリンダー等に適用されていたが、近年は靱性も必要な大型の車体部品や足回り部品にも適用されるようになってきた^{1,6)}。それに伴い、従来のアルミニウムダイカスト用合金は ADC12 一辺倒であったが、より高延性な素材が求められるようになり、様々な高延性ダイカスト合金が開発されている⁷⁻¹⁵⁾。一般にアルミニウム合金には、熱処理で機械的特性が向上する熱処理型と、そうでない非熱処理型とがあり、前者は熱処理工程そのもの、および熱処理により歪んだ形状の矯正工程が必要となり、コストアップに繋がるため、後者の非熱処理型の合金がより求められている。しかし、現状の非熱処理型合金には、铸造性が悪い、凝固割れが起こりやすい、肉厚感受性が高い、

耐食性が悪い等の問題があり、さらなる改良が求められている。そこで本研究では、非熱処理型のアルミニウムダイカスト用合金 ADC6 をベースに成分の配合を変えて铸造し、機械的特性やマイクロ組織を調査した。

2. 実験方法

任意の組成のアルミニウム合金試料を铸造するため、純度 99.99% のアルミインゴット、Al-20%Mg インゴット、99.999% の塊状 Si、99.9% Cu ワイヤ、99.5% Fe ワイヤ、99.98% Mn 粉末を目的成分になるよう秤量し、黒鉛るつぼを用いて大気炉で溶解した。溶解温度は 750℃ とし、約 300℃ に加熱した銅鑄型に铸造した。銅鑄型は、引張試験片（平行部：φ10×55mm、掴み部：φ15mm、全長：150mm）が 3 本採取できる方案（図 1 参照）となっている。本研究では、一回の溶解で図 1 の鑄物を 2 個铸造しており、同一組成の引張試験片を 6 本作製して試験に供している。この合金成分は、Cu を 0.1%、Fe を 0.2%、Mn を 0.6% で固定とし、Si および Mg の添加量を、それぞれ約 1~7% の間で変化させた種々の合金を鑄

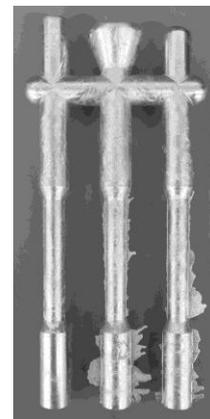


図 1 引張試験片の铸造方案

*岐阜大学 工学部・機械工学科 准教授

表1 鋳造した引張試験片の化学組成

	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Al
2.8Si-1Mg	2.79	0.95	0.09	0.04	0.18	0	Bal.
1.7Si-2.5Mg	1.67	2.54	0.09	0.17	0.63	0.001	Bal.
3.1Si-3.1Mg	3.12	3.10	0.11	0.03	0.33	0.001	Bal.
3.4Si-3.8Mg	3.36	3.84	0.10	0.06	0.25	0.001	Bal.
2.1Si-5.5Mg	2.12	5.49	0.11	0.06	0.34	0.002	Bal.
5.1Si-5Mg	5.12	5.04	0.11	0.06	0.50	0.002	Bal.
ADC12	11.08	0.29	2.14	0.65	0.19	0.72	Bal.

造した。鋳造後の試験片について、発光分光分析装置((株)島津製作所製、PDA-7000)により成分分析を行った。また、得られた引張試験片により引張強度試験を、試験片の掴み部の断面より光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡(SEM)によるマイクロ組織観察とエネルギー分散型X線分析(EDS)による元素マッピングを行った。

3. 結果及び考察

Si および Mg の添加量を種々変化させて鋳造した試験片の主なものについて、発光分光分析で測定した化学組成を表1に示す。比較として、一般に広く使用されているアルミニウムダイカスト合金 ADC12 についても調査した。Si・Mg 量の他、Cu を0.1%、Fe を0.2%、Mn を0.6%となるよう原料を秤量して溶解・鋳造したが、実際に得られた試験片には Fe と Mn の含有量が少なかった。溶解時に酸化物となり、ノロとして排出されてしまった可能性がある。より厳密な調査には、原料の選定、溶解方法を再検討する必要がある。以降、本報告では、得られた試験片の Si、Mg 量から、試験片の名称をそれぞれ 2.8Si-1Mg のように表記する。

本研究で得られた引張強度を、図2の三元系状態図上にプロットした。今回の研究では、引張試験片を鋳造で作製しており、鋳巣や酸化皮膜の巻き込みといった鋳造欠陥を含んでいる。その場合、合金本来の強度よりも低い結果となってしまふ。そこで図2では、今回試験した6本の引張試験片中で最大の強度となった値を図中に示した。Si、Mg の添加量が少ないところでは強度が低い傾向があるが、全体としてはまとまった傾向がなく、結果がバラついている。合金組成を変化させると、機械的特性だけでなく、鋳造性にも影響を及ぼす。このため、合金組成により引張試験片中の鋳造欠陥の量が異なることが予想され、引張試験結果への影響が大きいと考えられる。従って、図2の結果にはさまざまな要因が関係してくることから、全体的な傾向が得られなかったのではないかと考えられる。

図3に各試料の引張試験における強度とストロークを示す。比較として、ADC12 のデータも一緒にプロットした。本実験で同様に作製した ADC12 試験片では、約250MPa の引張強度が得られたが、本研究で調査した合

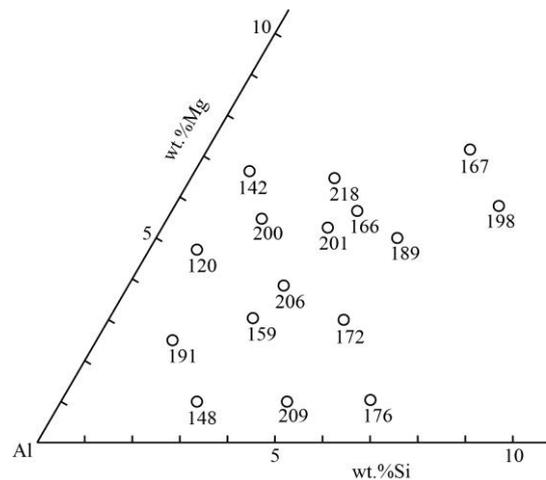


図2 Si・Mg 添加量と引張強度

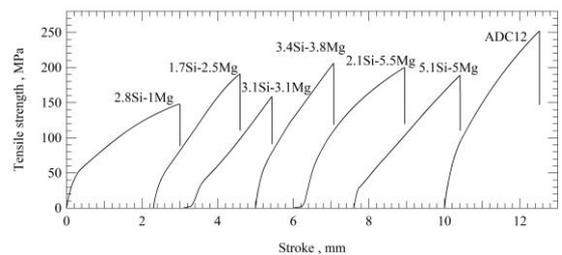


図3 引張試験における強度ーストローク曲線

金組成域では、ADC12 の約 50~90%程度の引張強度となった。また、伸びについては ADC12 とほぼ同程度の値しか得られず、ほとんど改善されなかった。添加量の少ない 2.8Si-1Mg の試験片ではやや塑性変形域が長いようにみられるが、伸び量は 2.3%程度しか得られなかった。

図4にこれらの試験片のマイクロ組織を示す。それぞれ 200、500、1000 倍のマイクロ組織写真である。添加量が少ない図4(a)(b)の組織では、大部分が白色のα-Alデンドライトとなっており、デンドライト間にわずかに共晶組織が晶出している。添加量が多くなった図4(c)(d)の組織では、α-Al の等軸あるいは柱状デンドライトの二次アーム間隔(DAS)が細くなり、共晶組織の割合も多く

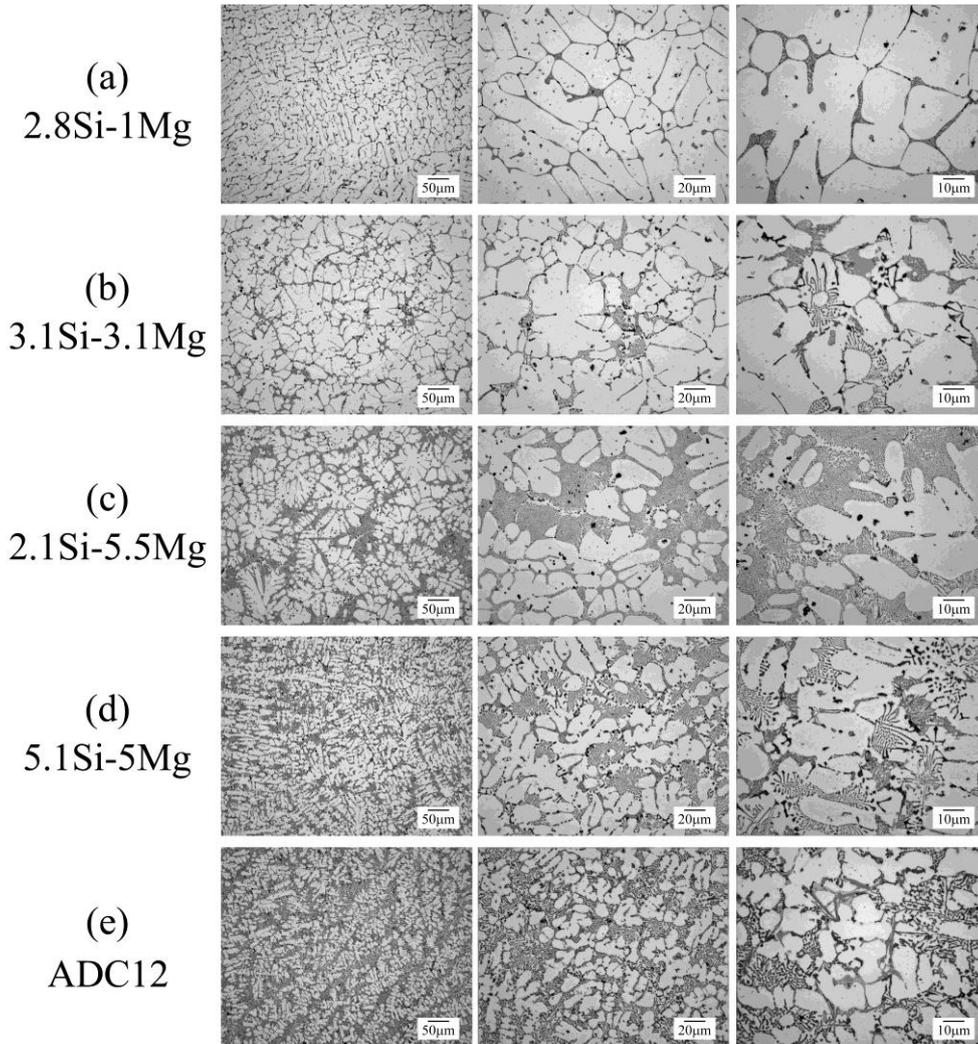


図4 各铸造試料の光学顕微鏡によるマイクロ組織

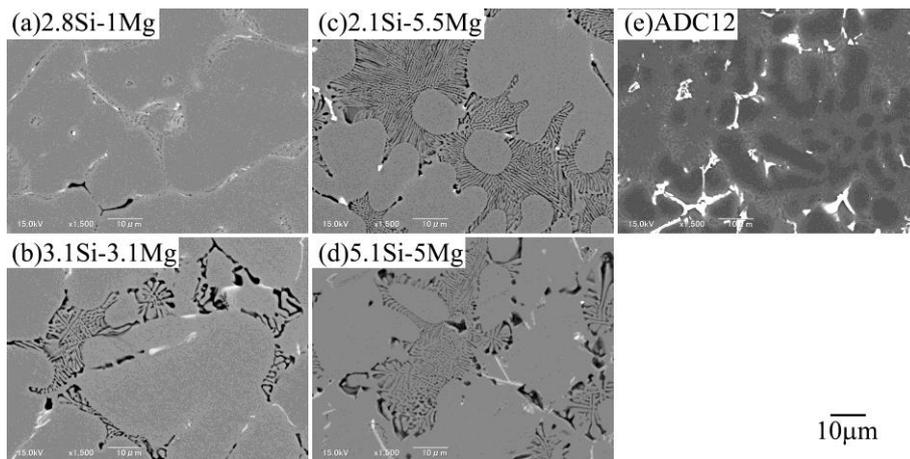


図5 各铸造試料の反射電子像(BEI)によるマイクロ組織

なった。また、図 4(b)(c)(d)において、形状の異なる共晶セルが存在することから、複数の共晶組織が晶出していると考えられる。図 4(e)には、比較として同様に作製した ADC12 のマイクロ組織を示している。この試料でも DAS の細かい柱状 α -Al デンドライトと等軸デンドライ

トが観察されている。また、デンドライト間には chinese-script タイプの Al-Si 共晶組織と Fe 系化合物(淡い灰色)も観察される。

図 5 に、これらの組織を SEM の反射電子像(BEI)で観察した組織写真を示す。図 5(a)~(d)では、共晶部分に

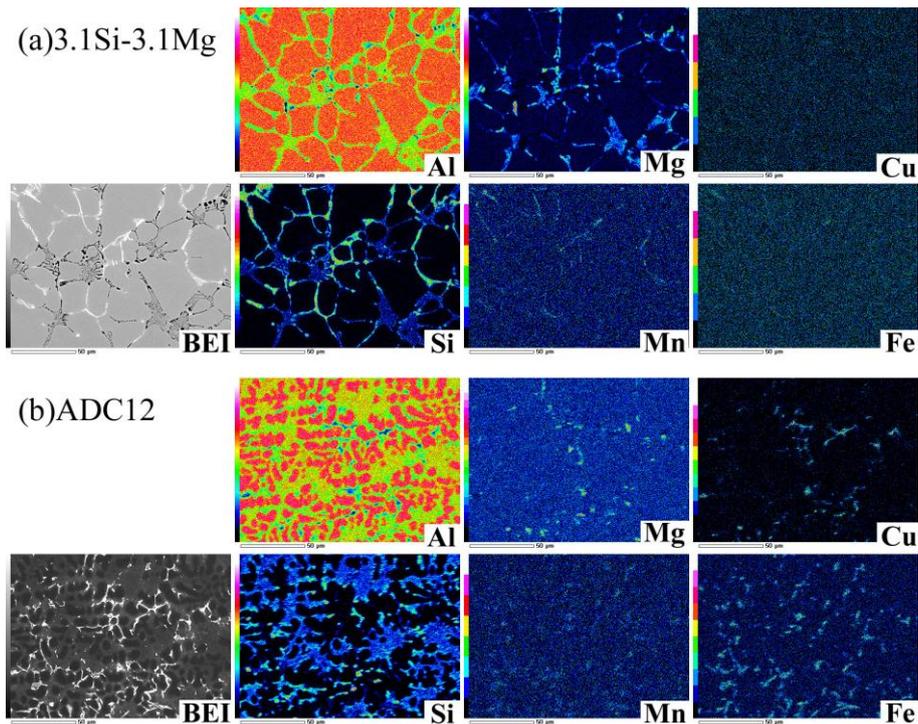


図6 (a)3.1Si-3.1Mg 試料と(b)ADC12 試料の EDS による元素マッピング

Mg が多いことから黒い共晶組織が判別し易いが、Al-Si系である ADC12 の図 5(e)では、初晶 α -Al と Al-Si 共晶の区別が付きにくい。また、不純物が多いことから、白色の Fe 系化合物の量も多くなっている。また、図 5(c)の共晶組織は、粗い共晶ネットワークの間に細かいロッドあるいはラメラ状の共晶セルが形成されていた。

図 6 に(a)3.1Si-3.1Mg 試料と(b)ADC12 試料について、EDS で元素マッピングした結果を示す。図 6(a)の BEI 像で白く見えている化合物は Al-Si-Mn 系化合物であるが、図 6(b)の ADC12 では Fe 系と Cu 系の化合物であることが分かる。また、今回調査した合金組成では Fe、Mn 等不純物が少ないことから、これらの化合物が少なかった。今後、これらの不純物元素の量や組織改良剤(Na や Sr 等)による組織形状の変化と力学的特性への影響についての調査が課題である。

4. まとめ

ADC6 合金近傍の組成域において、Si と Mg の量をそれぞれ約 1~7%の間で変化させた合金を铸造し、引張試験による強度測定とマイクロ組織観察を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

1) 本研究で調査した合金組成域では、アルミニウムダイカストに広く用いられている ADC12 合金の約 50~90%程度の引張強度となった。また、伸びについては ADC12 とほぼ同程度の値しか得られず、ほとんど改善されなかった。

2) Si・Mg の添加量と引張強度の関係を調査したが、合金組成は機械的強度への影響だけでなく、铸造性にも影響することから、これらの効果を明確にすることはできなかった。

3) 今回調査した合金組成では Fe、Mn 等不純物が少ないことから、これらの化合物が少なかった。これらの不純物元素の量や組織改良剤(Na や Sr 等)による組織形状の変化と力学的特性への影響についての調査が課題である。

【参考文献】

- 1)神戸, 素形材, Vol.50 No.9, pp2-7, 2009
- 2)神戸, 素形材, Vol.53 No.3, pp34-38, 2012
- 3)千葉, 素形材, Vol.56 No.7, pp31-35, 2015
- 4)神戸, 素形材, Vol.57 No.3, pp2-7, 2016
- 5)青山, 铸造工学, 76, pp985-990, 2004
- 6)浅井ら, 铸造工学, 82, pp819-826, 2010
- 7)渡邊ら, 铸造工学, 79, pp297-302, 2007
- 8)渡邊, 素形材, Vol.50 No.9, pp23-29, 2009
- 9)大城, 素形材, Vol.51 No.9, pp2-5, 2010
- 10)大城, 素形材, Vol.54 No.8, pp21-25, 2013
- 11)宮尻, 素形材, Vol.56 No.3, pp23-29, 2015
- 12)才川ら, 铸造工学, 87, pp39-43, 2015
- 13)才川ら, 铸造工学, 87, pp561-568, 2015
- 14)北岡, 素形材, Vol.57 No.3, pp16-24, 2016
- 15)大城, 素形材, Vol.57 No.3, pp25-31, 2016