

新しいアルミニウムダイカスト材料

大 城 直 人

(株)大紀アルミニウム工業所

高熱伝導度合金 HT-1 の開発経緯、特徴及び高熱伝導度を得られる条件を紹介する。また、耐力と伸びを両立させるための材料 NA-1 を紹介する。

1. はじめに

最近、LED照明やHV、EV等の放熱部品にアルミニウムダイカストの採用例があり、新しい用途として期待されている。現状、アルミニウムダイカストのほとんどがADC12である。しかし、ADC12では放熱特性を満足できない場合があり、ADC12以上の放熱特性を得るために高熱伝導度材料を使用する場合がある。弊社で開発した高熱伝導度合金 HT-1

が採用されることもある。そこで、HT-1の特性と高熱伝導度を得られる条件を紹介する。

また、自動車のCO₂排出量削減、性能向上のため、軽量化が大きな課題となっている。軽量化するために、耐力と伸びの両立できるダイカスト用アルミニウム合金が必要となってきている。弊社でも耐力と伸びが両立できるNA-1を開発しており、その特性を紹介する。

2. ダイカスト用高熱伝導合金 HT-1

2.1 HT-1の開発経緯及び特性

鋳鉄鋳型に重力鋳造したサンプルの熱伝導度を測定しSiの影響を調査した結果を図1に示す。Si量が α アルミ相に固溶できる範囲では、熱伝導度は大

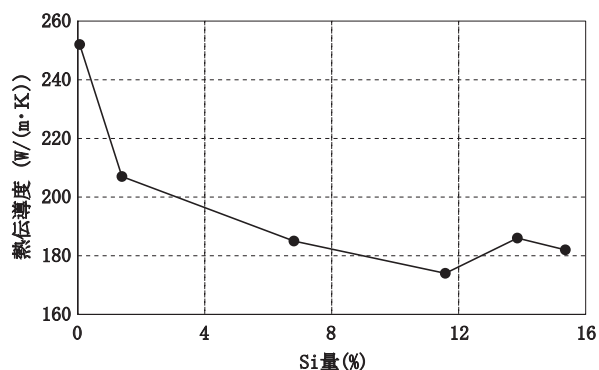


図1 Si量と熱伝導度の関係

きく低下する。固溶限を超えてSiが晶出する範囲では、熱伝導度の低下の割合が小さいことが分かった。

そこで鋳造性の良いSi量(12~14%)に決めた。添加成分がSiだけでは鋳造時に焼付くことが予想されるので、Fe、Mnを検討した結果を図2に示す。Feの方が熱伝導の低下が少なく、焼付き防止にはFe添加が最適であることが分かった。主成分はSiとFeとなった。

本合金のMIT式流動性試験結果を図3に示す。他のダイカスト用合金よりも優れていることが分かる。また、本合金で様々な放熱部品がダイカストされ、鋳造性に問題が少ないことも確認できた。

本合金は高熱伝導度を維持するためSiとFe以外の元素含有量は低く抑えている。また、純度が高いため耐食性も良く、表1に示すように塩水噴霧試験の結果では、AD6と同等程度の耐食性を示す。この特性を利用して放熱部品ではなく耐食性が必要と

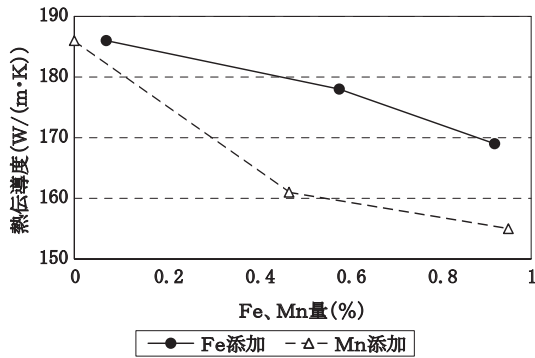


図2 Fe, Mn 量と熱伝導度の関係

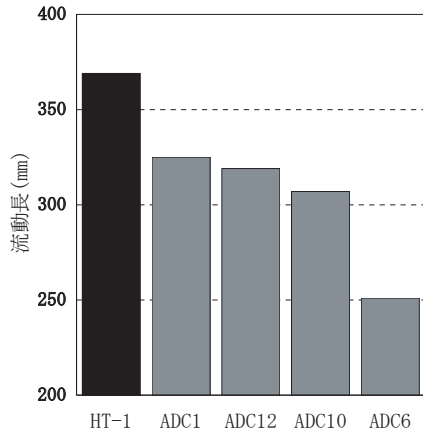


図3 MIT 式流動性試験結果

表1 塩水噴霧試験結果

| | 腐食減量 (mg/dm ² /day) |
|--------|--------------------------------|
| HT-1 | 2.80 |
| AD1.1 | 6.19 |
| AD3.1 | 5.93 |
| AD5.1 | 1.00 |
| AD6.1 | 2.20 |
| AD10.1 | 22.84 |
| AD12.1 | 22.18 |

される部品にも採用例がある。表2はダイカストから切り出した試験片の引張試験結果を示す。試験片は、HT-1、ADC12とも同一金型にダイカストし、切り出し位置も同じである。ADC12と比較すると引張強さ、耐力が低いが、本合金はヒートシンクや筐体の用途に耐

表2 ダイカスト実体から切り出した試験片の引張試験結果

| | 引張強さ (MPa) | 0.2% 耐力 (MPa) | 伸び (%) |
|-------|------------|---------------|--------|
| HT-1 | 192 | 105 | 3.3 |
| ADC12 | 235 | 151 | 3.5 |

える強度はあり、強度が問題になることは少ない。ただし、HT-1もADC12と同様でダイカストの形状、鑄造条件等で機械的性質は変化するため、表2の値は参考値として扱う必要がある。

2.2 高熱伝導度を得られる条件

2.2.1 不純物の影響

鑄鉄鑄型に重力鑄造したサンプルの熱伝導度を測定し、複数の不純物元素が同時に混入したときの熱伝導度の影響を調査した結果を表3に示す。不純物元素の総和は、Cu、Mg、Zn、Mn、Ni、Ti、Pb、Sn、Crの含有量を合計したものである。図4は表3のデータをグラフにしたものである。各元素が熱伝導度に与える影響が違うため、不純物の総和と熱伝導度は相関しないが、不純物が増加すると熱伝導度の低下する傾向にある。

鑄造時は、ADC12等の他の材料が混入し熱伝導度を低下させないように注意する必要がある。

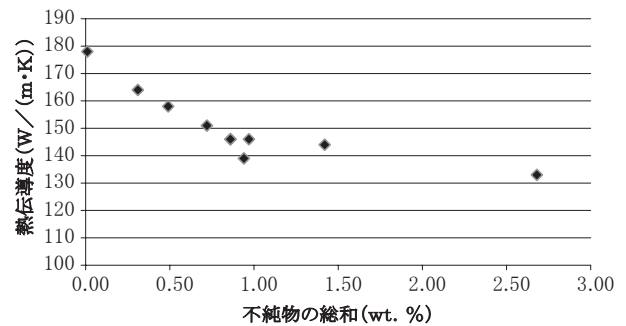


図4 不純物の総和と熱伝導度の関係

表3 不純物の総和と熱伝導度の関係

| 成分 (wt.%) | | | | | | | | | | | 不純物の総和 | 熱伝導度 (W/(m·K)) |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|----------------|
| Cu | Si | Mg | Zn | Fe | Mn | Ni | Ti | Pb | Sn | Cr | | |
| 0.00 | 13.80 | 0.01 | 0.00 | 0.58 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 178 |
| 0.04 | 13.68 | 0.04 | 0.04 | 0.50 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.31 | 164 |
| 0.05 | 13.92 | 0.07 | 0.05 | 0.55 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.06 | 0.49 | 158 |
| 0.12 | 13.61 | 0.11 | 0.09 | 0.54 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.09 | 0.72 | 151 |
| 0.11 | 13.77 | 0.12 | 0.10 | 0.54 | 0.22 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.86 | 146 |
| 0.10 | 13.63 | 0.24 | 0.10 | 0.51 | 0.11 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.86 | 146 |
| 0.10 | 13.55 | 0.12 | 0.09 | 0.52 | 0.32 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.94 | 139 |
| 0.10 | 13.60 | 0.35 | 0.09 | 0.51 | 0.11 | 0.05 | 0.05 | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.97 | 146 |
| 0.50 | 13.14 | 0.20 | 0.22 | 0.53 | 0.20 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.05 | 0.09 | 1.42 | 144 |
| 1.14 | 13.32 | 0.38 | 0.53 | 0.49 | 0.31 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 2.68 | 133 |

HT-1の特徴は、

- ① 高熱伝導が得られる。
- ② 流動性が良く、薄肉部分にも湯が廻る。
- ③ 焼付にくい。
- ④ 耐食性が良い。

となる。

2. 2. 2 鑄造欠陥の影響

HT-1 ダイカストの肉厚 8 mm 部分の密度と熱伝導度の関係を表 4 に示す。サンプル A ~ C は同一ダイカスト実体から切り出したもので切り出し位置が違ふ。サンプル D は、エアアの巻き込みを少なくなるようにゲート等を修正した金型でダイカストし、その実体から切り出したサンプルである。密度が大きくなるに従って、熱伝導度が大きくなる。サンプル A のマイクロ組織を写真 1 に示す。空孔が多く密度が小さくなり熱伝導度が低下したと考えられる。

高熱伝導度を得るには、エアアの巻き込み等による空孔を少なくし、密度が小さくならないようにする必要がる。

表 4 HT-1 密度と熱伝導度の関係

| サンプル名 | A | B | C | D |
|-------------------------|------|------|------|------|
| 密度 (g/cm ³) | 2.45 | 2.57 | 2.59 | 2.63 |
| 熱伝導度 (W/(m·K)) | 127 | 134 | 140 | 149 |

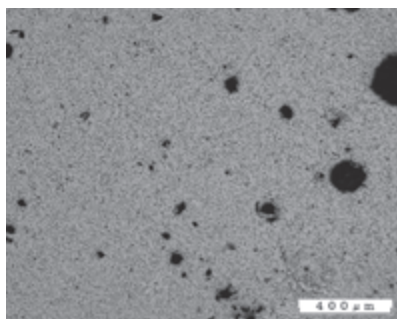


写真 1 サンプル A のマイクロ組織

2. 2. 3 熱処理の影響

更に高い熱伝導度が要求される場合には、熱処理をすることもある。

熱処理の温度の影響を図 5 に示す。HT-1 と ADC12 は同一金型であり、真空でないダイカストである。HT-1 真空は、真空ダイカストである。それぞれのダイカストから試験片を切り出し、熱伝導度の測定を行った。焼鈍時間は 6 hr である。HT-1 真空は、熱処理温度があがるに従って、熱伝導度も高くなる。普通ダイカストの HT-1 では、真空ダイカストの HT-1 に比べ、熱伝導度の上昇が小さくなる。ADC12 でも熱処理をすれば、熱伝導度が高くなるが、HT-1 と比較すると全体的に熱伝導度が低い。

熱処理で熱伝導度が向上する原因は、

- ・ α アルミ相の Si 固溶量が少なくなること。
- ・ 晶出した Si が球状化すること。

と考えている¹⁾。

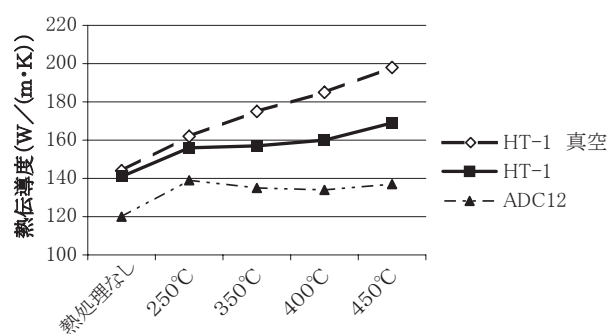


図 5 熱処理温度の影響 (焼鈍時間 6 hr)

表 5 に HT-1 ダイカストを熱処理時間の影響を示す。

熱処理温度は 250°C であり、2 hr と 6 hr では熱伝導度の差は小さい結果となった。

高熱伝導度を得られる条件は、

- ① 不純物をできるだけ少なくする。
- ② 鑄造欠陥等の空孔を少なくする。
- ③ 熱処理をする。

となる。

表 5 HT-1 ダイカストの熱処理時間の影響

| 熱処理時間 (hr) | 2 | 6 |
|----------------|-----|-----|
| 熱伝導度 (W/(m·K)) | 157 | 159 |

熱処理温度：250°C

3. 耐力と伸びを両立する NA 合金

3. 1 NA-1 の開発経緯

自動車部品のアルミ化を検討するとき、耐力と伸びの両立を要求される場合が多い。コストや歪み等の問題から T6 材よりも T5 材、T5 材よりも F 材が望まれる。リサイクル性を考慮するとスクラップ

の使用率を高めたいが、スクラップの使用率を高めると Fe 量が多くなる。そのため、Fe 量が多くても耐力や伸びが低下しないことも望まれる。

そこで、F 材や T5 材で Fe 量が多くても耐力と伸びの高くなる合金成分を調査した。

成分を変えてダイカストし、ASTM 丸棒試験片で引張試験を行った。射出速度が5 m/s でゲート速度が100 m/s の条件で、焼付き状況を目視観察しながらダイカストを行った。

その結果、以下のことが分かった。

- ① Si 量の低い方が伸びを得やすい
- ② しかし、Si 量が低いと焼付きやすい。
- ③ Si 量の低い領域では、Mn 添加では焼付きが発生した。
- ④ Si 量の低い領域でも Cr 添加では焼付きが少なく、高速射出できる。
- ⑤ Si 量が低くても高速射出できると流動性や充填性が良くなる。

結論としては、耐力と伸びを両立させるには、Si 量を低くし、焼付きに対しては、Cr と添加することが有効と考えた。

3. 2 NA-1 の機械的性質

本合金は表6に示すように耐力と伸びが両立できる成分となっている。また、F材でFe量が0.38%でも伸びが10%以上を達成している。

また、F材で従来材(Al-10%Si-0.2~0.6%Mg-0.08%Fe-0.6%Mn合金)とNA-1の比較を図6に示す。NA-1の方が耐力と伸びが大きくなっている。

F材の自然時効の影響を図7に示す。耐力は、自然時効によって増加する傾向にあるが、伸びはダイカストしてから4年4か月経過しても9%程度あり、

自然時効による伸びの低下が少ないことが分かる。

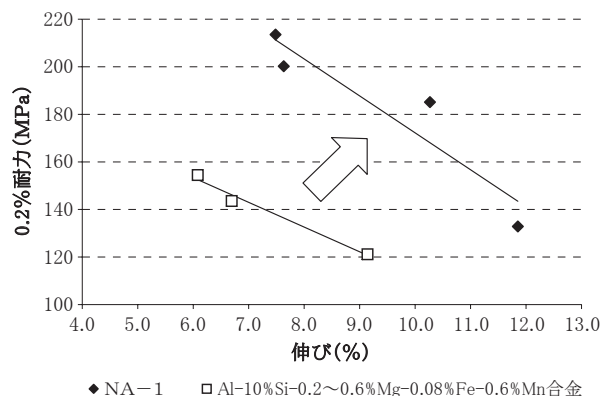


図6 NA-1と従来材の耐力と伸びの比較

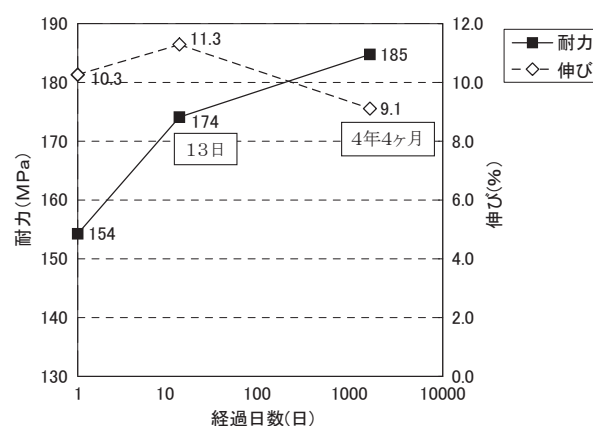


図7 NA-1の経年変化

表6 NA-1の機械的性質

| 成分 (wt.%) | | | | 熱処理 | 引張強さ (MPa) | 伸び (%) | 0.2%耐力 (MPa) |
|-----------|------|------|------|-----|------------|--------|--------------|
| Si | Mg | Fe | Cr | | | | |
| 4.44 | 0.43 | 0.10 | 0.55 | F | 242 | 11.9 | 133 |
| 4.64 | 0.68 | 0.38 | 0.37 | | 295 | 10.3 | 185 |
| 4.53 | 1.00 | 0.22 | 0.53 | | 295 | 7.6 | 200 |
| 4.51 | 1.17 | 0.21 | 0.52 | | 305 | 7.5 | 214 |
| 4.76 | 0.37 | 0.32 | 0.39 | T5 | 266 | 10.7 | 154 |
| 4.80 | 0.48 | 0.38 | 0.39 | | 282 | 9.7 | 183 |
| 4.84 | 0.69 | 0.45 | 0.38 | | 306 | 7.2 | 216 |

T5: 170℃ 3hr 空冷

4. おわりに

ダイカストの新しい用途に対しては、新しい材料が必要となる場合があり、今後もニーズにあった合金開発を進めたい。

参考文献

- 1) 「Al-Si-Fe合金の熱伝導度に及ぼす成分と熱処理の影響」, 日本ダイカスト会議論文集 (2002) P89

株式会社大紀アルミニウム工業所 技術部
 〒519-0211 三重県亀山市川崎町字山新田 1483-1
 TEL. 0595-85-2709 FAX. 0595-85-2729
<http://www.dik-net.com/>