

過共晶 Si を添加した急凝固 Al-Mg-Si 合金フレークの特性

日大生産工(学部) ○渡部裕太

日大生産工(院) 江川大基

日大生産工 久保田正広

1. 緒言

アルミニウムは工業材料として、非鉄金属の中で最も多く利用されている。これは、アルミニウムが多くの特長を持つためである。比強度が大きく、加工性や耐食性も優れており、軽量化による機械的性質の向上が求められている今日において、アルミニウム合金の機械的性質の向上に向け、多くの研究がなされている。

合金の製造方法として溶解鋳造法が利用されているが、この方法は凝固冷却速度が 10^{-3} K/s \sim 10^1 K/s と非常に遅いため、粗大な晶出物の生成や偏析が生じてしまい、結晶粒などの組織制御が困難である。また、添加元素の種類や量は平衡状態図に依存し、それ以上の添加量を加えると粗大な金属間化合物が晶出して材料特性を低下させてしまう。このため、溶解鋳造法による機械的性質の向上には限界がある。これらの問題を打開する方法として急凝固法が注目されている。

急凝固法とは凝固冷却速度が 10^3 K/s 以上¹⁾と溶解鋳造法に比べて非常に速く、これにより晶出物の微細かつ均一な分散や固溶限の拡大が起き、機械的性質の向上が可能となる。これまでの研究で、アルミニウムにマグネシウムを添加して急凝固すると、固溶限の拡大による固溶強化によって常温での強度が向上することが確認されている²⁾。

本研究では、急凝固法による Al-Mg-Si 系合金を対象とした。固溶限の拡大を考え、マグネシウムの添加量を 10 mass%一定とし、

シリコンの添加量を過共晶組成の 15, 20, 25 mass%と変化させ、シリコン添加量に対する機械的性質の変化を調べた。

2. 実験方法

2.1 供試材

Table 1 に本研究で使用した合金の目標組成および化学組成分析値を示す。

合金の溶製には 99.9%純アルミニウム、99.9%純マグネシウム、99.9%純シリコンを用いて目標組成になるように配合し、アルミナ坩堝を使用して大気中で溶解した。添加順序は、最初に純アルミニウムを溶解し、一定時間保持後、攪拌により完全に溶けたことを確認した後に純シリコンを添加し、アルミニウムと同様の方法で完全に溶けたことを確認してから純マグネシウムを 5%の溶損を見込んで添加した。十分な攪拌と保持を行った後に $\phi 50 \times 250$ の金型に鋳込み、合金鋳塊を作製した。このときの鋳造温度は約 1123 K 一定とした。

作製した合金鋳塊の化学組成分析値は、目標組成に近い値を示している。

急凝固装置の概略図¹⁾を Fig. 1 に示す。本研究ではガスアトマイズ法と単ロール法を組み合わせた噴霧ロール急凝固装置を用いて急凝固を行った。1 チャージあたり 200 \sim 300 g 程度の合金鋳塊を黒鉛坩堝中で、高周波加熱により再溶解した後に坩堝内をアルゴンガスにより加圧し、坩堝下部に取り付けた $\phi 6$ の黒鉛ノズルから溶湯を流出させた。この溶湯はノズル直下に設けてあるアトマイ

ズノズルから放出するアルゴンガスによって噴霧される。微細な液滴となった溶湯は加速し、回転している表面が銅で覆われている水冷式ドラム上へ叩きつけられて急速に凝固し、急冷凝固フレークが作製される。

Table 1 Nominal and analyzed compositions of test alloys.

Nominal Composition (mass%)	Analyzed Composition (mass%)
Al-10 Mg-15 Si	Al-10.6 Mg-14.8 Si
Al-10 Mg-20 Si	Al-11.0 Mg-20.2 Si
Al-10 Mg-25 Si	Al-10.9 Mg-24.8 Si

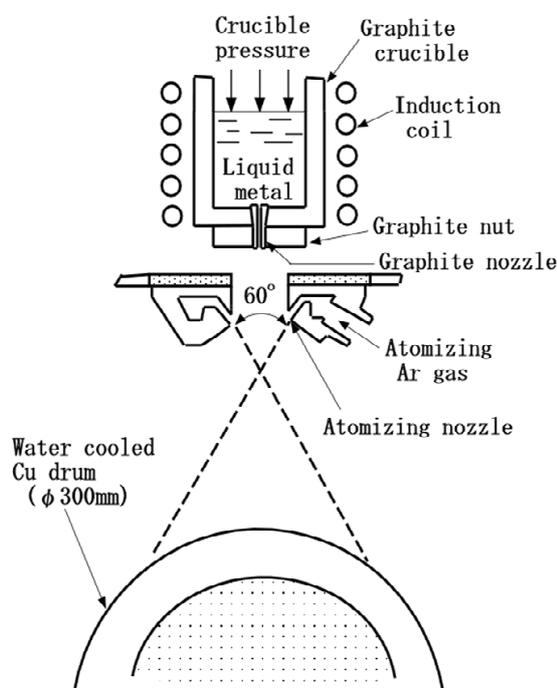


Fig. 1 Schematic illustration of rapid solidification apparatus.

2.2 材料評価

光学顕微鏡を用いて急冷凝固法により作製したフレークの組織観察を行った。試料は室温、373 K、473 K、673 Kにおいて7.2 ks等時加熱した急冷凝固フレークをラピッドプレスを用いてフェノール樹脂に埋め込み、エメリー紙で研磨した後、バフ研磨し、試料をケラー氏溶液を用いて腐食させた後に観察を行った。

選定した急冷凝固フレークを用いて、冷間

プレスで圧粉体を作製し、エメリー紙で研磨し、その面を回折面としてX線回折を行った。測定条件はX線強度が40 kV、60 mAのCuK α 線を用い、回折速度 $1.66 \times 10^{-2} \text{ }^\circ/\text{s}$ とし、回折角 $2\theta = 20^\circ \sim 80^\circ$ の範囲とした。また、アルミニウム中のマグネシウムの固溶量の変化を調べるために α -Al(311)ピークの回折角を精密に測定した。測定条件は回折速度 $6.25 \times 10^{-2} \text{ }^\circ/\text{s}$ で回折角 $2\theta = 77^\circ \sim 79^\circ$ の範囲で測定を行った。

急冷凝固フレークの硬さは、各合金において任意に選出したフレーク5枚について測定した。ドラム衝突面が測定面となるように、ラピッドプレスを用いてフェノール樹脂に埋め込み、エメリー紙で研磨した面をマイクロビッカース硬度計(荷重10 gf、保持時間10 s)を用いて測定した。急冷凝固フレーク1枚につき5ポイント測定した。

また、急冷凝固フレークの焼鈍軟化特性を調べるため、373 K、473 K、673 Kで7.2 ks保持して空冷した後、同様の条件で硬さを測定した。

3. 実験結果および考察

作製した急冷凝固フレークは、10mm以下の大きさで円形または楕円形である。Al-10 Mg-15 Si合金の光学顕微鏡観察結果をFig. 2に示す。(a)は急冷凝固したままのフレーク、(b)は急冷凝固し、373 Kで7.2 ks焼鈍したフレーク、(c)は473 Kで7.2 ks焼鈍したフレーク、(d)は673 Kで7.2 ks焼鈍したフレークの組織観察写真である。

急冷凝固したままのフレークの組織(a)は、デンドライトセル状組織が観察され、加熱温度373K(b)の組織では、ほぼ同様のデンドライトセル状組織と微細な金属間化合物が観察された。この化合物は Mg_2Si と考えられる。473K(c)の組織では、(b)よりも Mg_2Si が増加していることが観察された。673K(d)の組織では、デンドライトセル状組織の崩壊と Mg_2Si

の粗大化が観察された。

急凝固をしたままのフレークの X 線回折結果を Fig. 3 に示す. 15, 20, 25 Si を含む全ての合金において, Mg_2Si が同定された. また, マグネシウムの回折ピークが同定されなかったことより, マグネシウムはアルミニウム中に固溶したと考えられる.

α -Al (311) の X 線回折結果を Fig. 4 に示す. シリコンの添加量が増加するにつれ, アルミニウムのピークが低角度側へ移動している. ブラッグの法則³⁾により, アルミニウム中にマグネシウムが固溶するとアルミニウムの回折ピークが低角度側に移動することが知られている. 従って, シリコンの添加量が増加するにつれ, アルミニウム中に固溶するマグネシウムの量が増加していると考えられる.

急凝固フレークの硬さ試験の結果を Fig. 5 に示す. シリコンの増加量に伴って硬さも上昇していることが認められる. 特に, Al-10 Mg-25 Si 合金の 473 K において最も高い HV 343 を示した. 473 K までは, 硬さの低下が見られなかった. これは, Fig. 2 に示した光学顕微鏡観察からも明らかのように Mg_2Si の粗大化が認められず, デンドライトセル状組織も認められなかったためと考えられる. 673 K において全ての合金で硬さの低下が見られた. これは, 光学顕微鏡観察からも明らかのように Mg_2Si が粗大化し, デンドライトセル状組織が崩壊したために起こったと考えられる. これらより, 過共晶のシリコンを添加した合金において, 473 K を超えると微細に分散していた化合物が粗大化してしまい, 硬さが低下してしまうと考えられる.

4. 結言

1) 15, 20, 25 Si をそれぞれ添加した合金の急凝固フレーク全てにおいてマグネシウムの回折ピークが認められなかったため, マグネシウムの一部は Mg_2Si の生成に使用され, その他は全てアルミニウム中に固溶した.

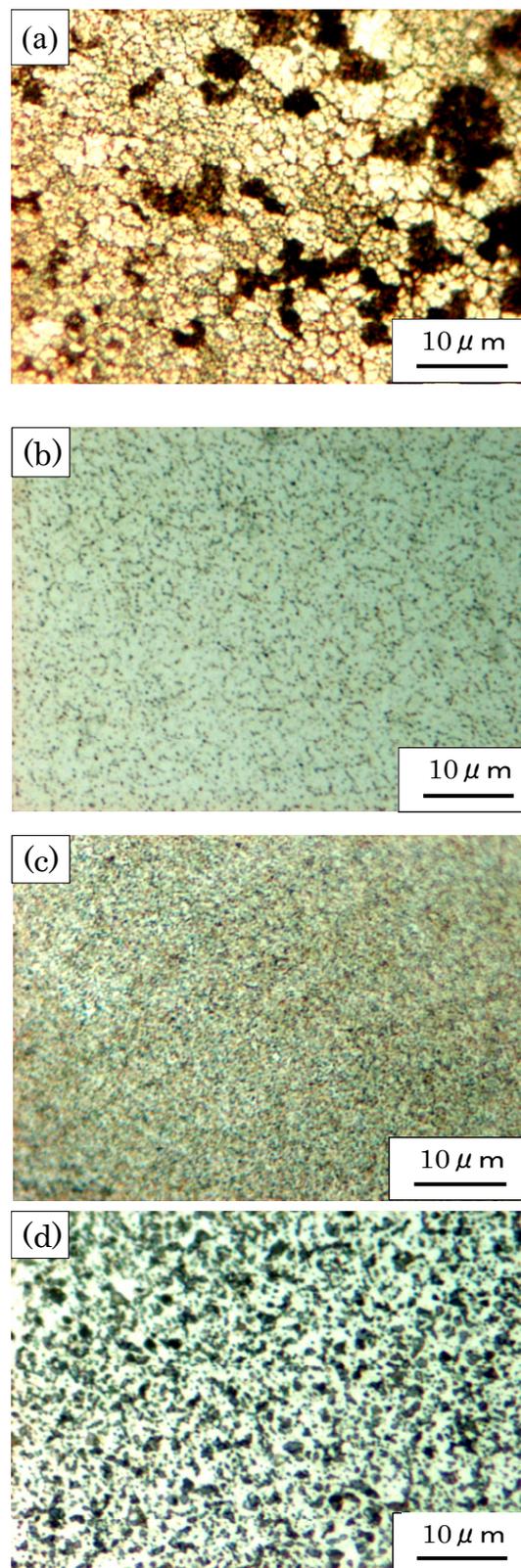


Fig. 2 Optical micrographs of Al-10 Mg-15 Si alloy; (a) as RS-flake, (b) annealed at 373 K for 7.2 ks, (c) annealed at 473 K for 7.2 ks and (d) annealed at 673 K for 7.2 ks.

2) 急凝固フラークにおいてマグネシウムとシリコンの添加量は、固溶限をはるかに超えているが、急凝固法によるマグネシウムの固溶限拡大や Mg_2Si の増加、微細かつ均一に分散したことによってフラークの硬さはシリコンの添加量の増加とともに向上した。

3) 673K で焼鈍を行った急凝固フラークにおいて、デンドライトセル状組織の崩壊、 Mg_2Si の粗大化によってフラークの硬さが低下した。

追記

本研究は久保田研究室 4 年生、中林卓也君、木村亮君と共同で実験を行った研究成果である。

参考文献

- 菅又信, 磯村裕臣, 金子純一, 堀内良
軽金属 37, 1987, 366-374
- 江川大基, 平田泰大; 卒業論文, 日本大学生産工学部, 機械工学科, (2008)
- 早稲田嘉夫, 松原英一郎; X線構造解析, 内田老鶴圃, 10, 73, 102, 105
- 軽金属学会; アルミニウムの組織と性質, 軽金属学会, 1991, 231, 256, 278
- 金子純一, 須藤正俊, 菅又信; 基礎機械材料学, 株式会社朝倉書店, 50-53

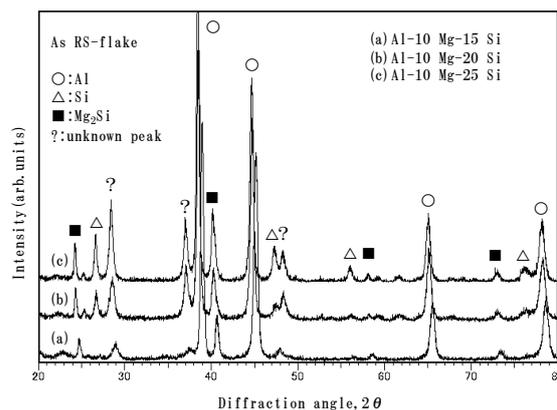


Fig. 3 X-ray diffraction patterns of rapidly solidified Al-10 Mg-X Si alloy flakes.

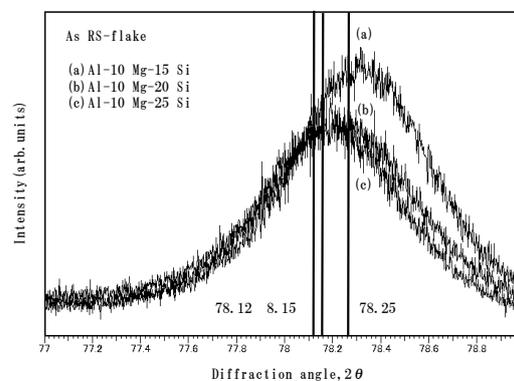


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of α -Al(311) of rapidly solidified Al-10 Mg-X Si alloy flakes.

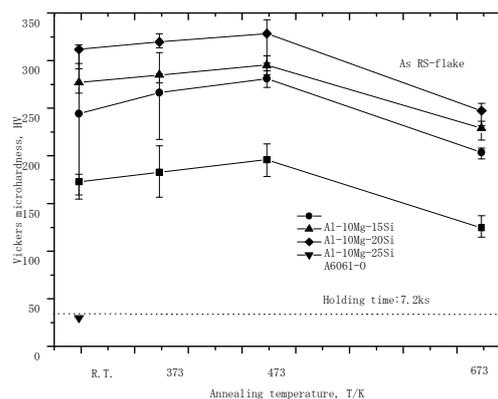


Fig. 5 Vickers microhardness of RS-flake annealed at various temperatures for 7.2 ks.