

超音波振動を用いた AC4CH アルミニウム合金鋳物の機械的特性*

長坂明彦^{*1}・深井郁夫^{*2}・中澤啓明^{*3}・鎌土重晴^{*4}
 岡田 学^{*5}・川尻将洋^{*6}・中村麻人^{*7}

Mechanical Properties of AC4CH Aluminum Alloy Casting with Ultrasonic Vibration

NAGASAKA Akihiko, FUKAI Ikuo, NAKAZAWA Hiroaki, KAMADO Shigeharu
 OKADA Manabu, KAWAJIRI Masahiro and NAKAMURA Asato

Ultrasonic vibration on solidifying metals have been carried out expecting grain refining effect, reduction of segregation, elimination of inclusions and so on.

In cast process, 1) vibration addition at solidification, 2) enhancement cooling speed and 3) grain refinement agent addition have been employed to improve mechanical properties of products. Ultrasonic vibration which frequency and amplitude are 19kHz and 12 μ m respectively, is used as a vibration. Horn material is a SIALON (shape: straight type, diameter: 20 mm, length: 280 mm) and it is inserted into AC4CH (7.1Si-0.4Mg-0.01Zn-0.1Fe-0.15Ti (mass%), Al-Si-Mg alloy) which is a material under test in this thesis to add ultrasonic vibration.

Mean grain diameter of primary α in the product (with ultrasonic vibration) made in CO₂ sand mold has become smaller than without ultrasonic vibration one, therefore Vickers hardness (*HV*) of the product has been improved about 20%. Eutectic silicon has scattered and become fine by ultrasonic vibration as well as the result in gravity mold. This eutectic silicon scattering effect of ultrasonic vibration has been recognized clearly by the result of distribution on a length of eutectic silicon.

キーワード: 超音波振動, アルミニウム合金, 鋳物, 機械的特性

1. 緒言

素材の機械的特性の向上が要求され溶融アルミニウム (Al) 合金へ振動を付加する研究が報告されている¹⁻⁶⁾。これまでの金型を用いた超音波振動 (US) 付加実験において、結晶粒は微細化および引張強度は改善されなかったが、共晶 Si 相の微細化が示唆された^{7, 8)}。

そこで、本研究では CO₂ 型を用いて US 付加実験を行い、凝固組織および共晶 Si 相の微細化メカニズムを検討した。さらに、脱ガス効果について報告する。

* 2009 年 3 月 6 日 日本機械学会北陸信越学生会 第 38 回学生員卒業研究発表会にて一部発表

*1 機械工学科教授

*2 技術室

*3 有限会社 中澤鋳造所

*4 長岡技術科学大学教授

*5 機械工学科准教授

*6 筑波大学大学院 学生 (平成 20 年度専攻科修了)

*7 生産環境システム専攻 学生

原稿受付 2009 年 5 月 20 日

2. 実験方法

2.1 供試材

供試材には 7.1Si-0.4Mg-0.01Zn-0.1Fe-0.15Ti, mass% の化学組成を有する市販の Al-Si-Mg 系合金 (AC4CH) を用いた。AC4CH は Al-Si 系合金に少量の Mg を加えたもので、機械的特性および被切削性を改善した合金で、耐熱性が良い^{9, 10)}。

2.2 超音波振動装置および CO₂ 型

図 1 に超音波実験装置を示す。超音波振動装置は周波数自動追尾型であり、超音波発振器、振動子、2 段水冷ブースタ、ホーン、るつぼ、ホーン予熱用電気炉、Al 溶解用電気炉、温度指示計で構成されている。超音波発振器は出力 600W、振動数 19kHz であり、ホーンはサイアロン製ストレートホーン、直径 20mm、全長 280mm を使用した。本実験で付加した超音波振動の縦振幅は 12 μ m である。

図 2 に振動を付加する際の供試材、ホーンおよび CO₂ 型の位置関係を示す。CO₂ 型は内径 40mm、深さ 80mm である。ホーン浸漬深さは液面から 20mm である。ホーンは予め約 500°C に加熱している。

2.3 超音波振動付加条件

図 3 に超音波振動付加条件を示す。700°C で供試材

を溶解し、CO₂型へ注湯。直ちに鑄型内の供試材へホーンを挿入し、超音波振動付加を開始。供試材温度595℃でホーンを抜き取り、凝固させた。

2.4 熱処理

超音波振動付加後、供試材に熱処理（T6 処理）を行った。熱処理条件は520℃で5時間の溶体化処理を行った後、170℃で5時間、人工時効効果処理を施した。

硬さ測定はビッカース硬さ試験機を用い、荷重9.81N、保持時間15sで行った。10点ずつ試験片断面に行い、10点のデータを取り、最大値と最小値を除いたものを平均とした。

3. 実験結果および考察

図4に供試材のマイクロ組織を示す。70℃の70%硝酸水溶液でエッチングを行い観察した。(a)は超音波振動（以下、US）付加なし、(b)はUS付加ありである。切断法による初晶αの平均粒径はそれぞれ206μm、144μmとなり、US付加により結晶粒が微細化され、初晶αの形態が球状になった。これはAC4CHの量およびCO₂型の内径が振動装置出力とホーン形状に対し適正であったことが考えられる¹⁻⁶⁾。

図5にマイクロ組織を示す。(a)はUS付加なし、(b)はUS付加ありである。初晶αの界面上に存在する共晶Si相について光学顕微鏡にて観察した。US付加したことで針状な共晶Si相が細かく分布した。

図6に共晶Si長さ分布図を示す。縦軸は観察視野内（1.13mm²）での個数を示す。US付加なしでは、共晶Siの分布が広範囲になっているが、USを付加することで長さの短い共晶Siの数が増加している。さらに約60μm以上の共晶Siが存在しない。以上のことからUS付加による共晶Siの微細化効果が明確になった。初晶αが微細化（球状化）したことで、共晶Siが晶出する初晶α界面の直線的な部分が少なくなったことが要因と考えられる。

図7および図8にUS付加なしとUS付加ありの試料のEPMA分析結果をそれぞれ示す。分析条件は加速電圧12kV、照射電流は60nAである。それぞれ(a)反射電子組成像、(b)Al、(c)Mg、(d)Si、(e)Feを示している。(a)において、反射電子は原子番号が大きいほど明るいことにより、Mg（原子番号：12）、Al（原子番号：13）、Si（原子番号：14）、Fe（原子番号：26）の中でFeが白いことがわかる。図8(c)、(d)、(e)によりMg、Fe、Siが共存している領域、Mg、Siが共存している領域、Fe、Siが共存している領域が存在していることがわかる。供試材AC4CHの化学組成から示されるように、AlとSiの割合が非常に多く、MgおよびFeはほとんど存在しない。Alは母相に多く、Siは第二相に多く分布している。また、MgとFeは母相と第二相の

界面に点在した。

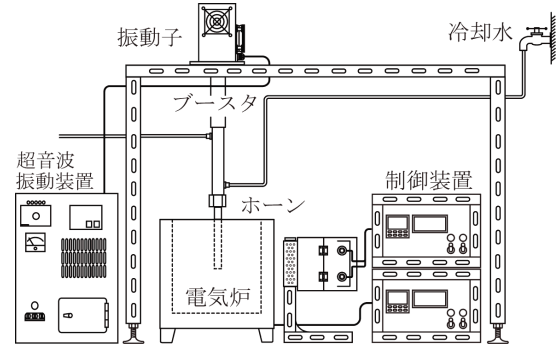


図1 超音波実験装置

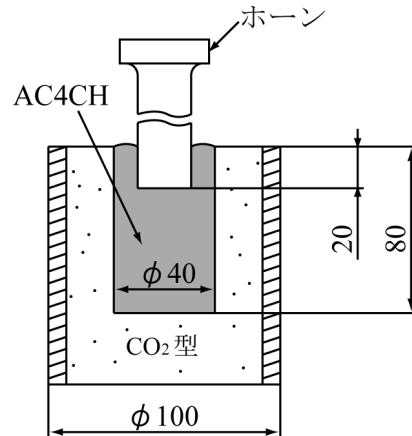


図2 供試材、ホーンおよびCO₂型位置関係

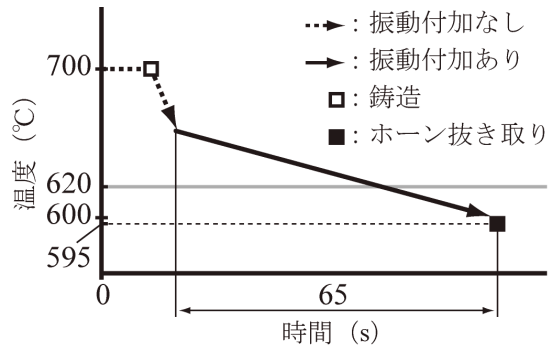


図3 超音波振動付加条件

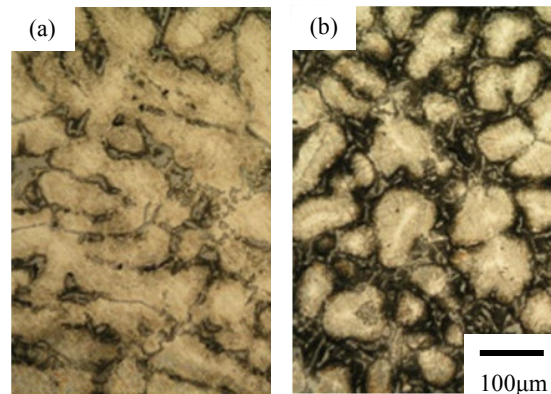


図4 ミクロ組織（70%硝酸水溶液）
(a)US付加なし、(b)US付加あり

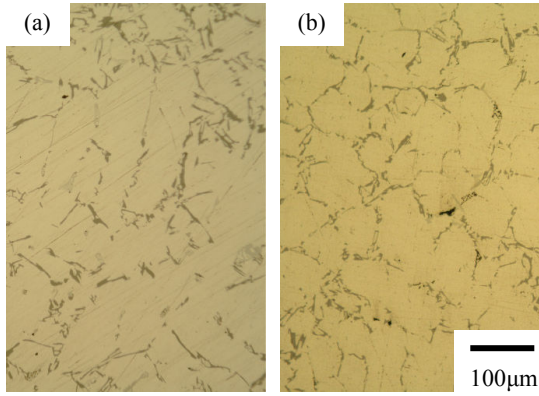


図5 ミクロ組織 ((a)US 付加なし, (b)US 付加あり)

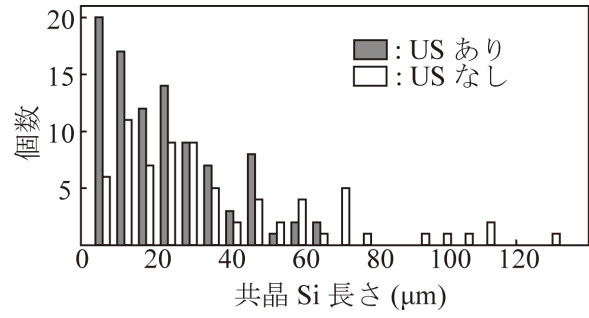


図6 共晶 Si 長さ分布

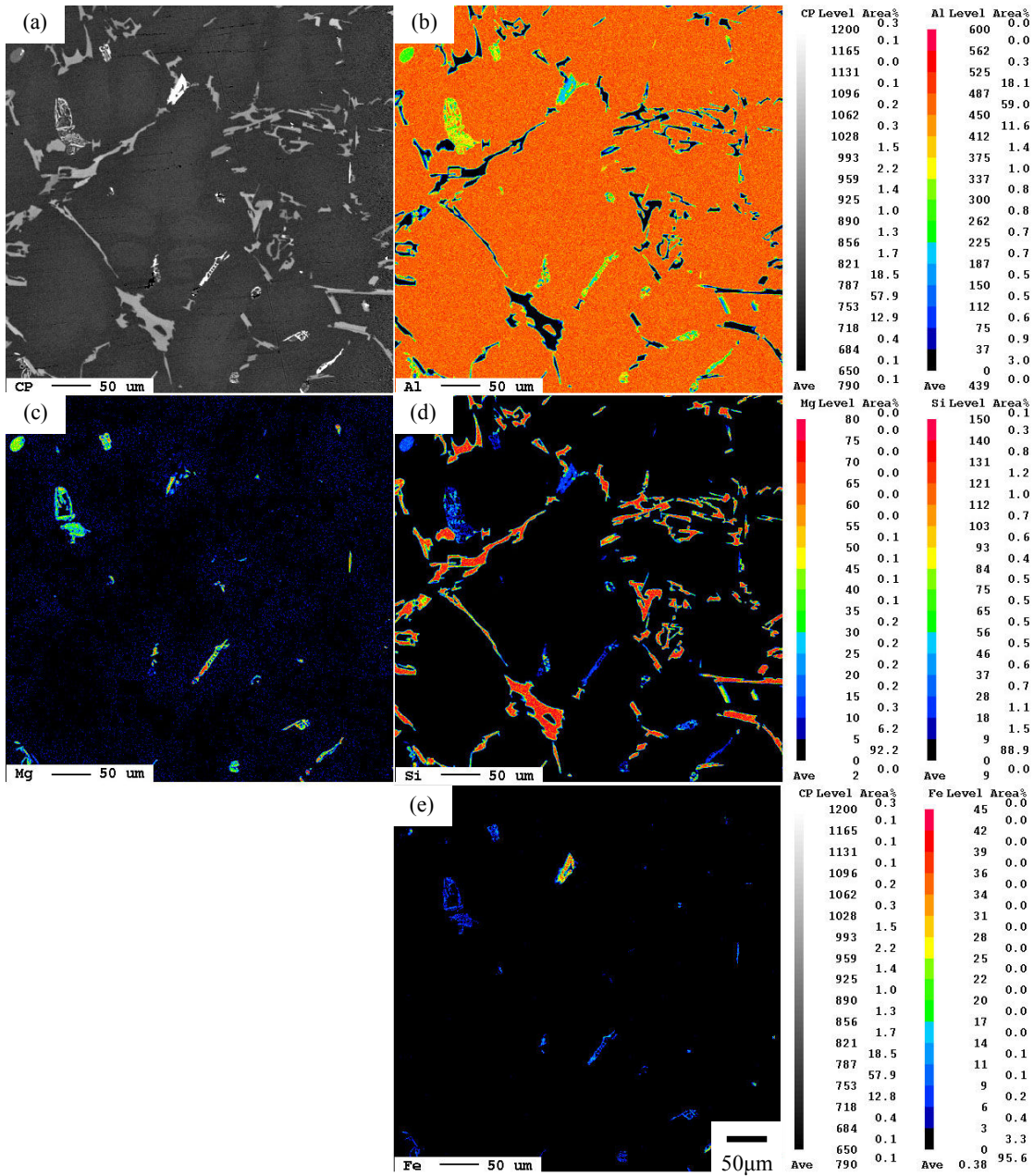


図7 EPMA 分析結果 (US 付加なし) (a)反射電子組成像, (b)Al, (c)Mg, (d)Si, (e)Fe

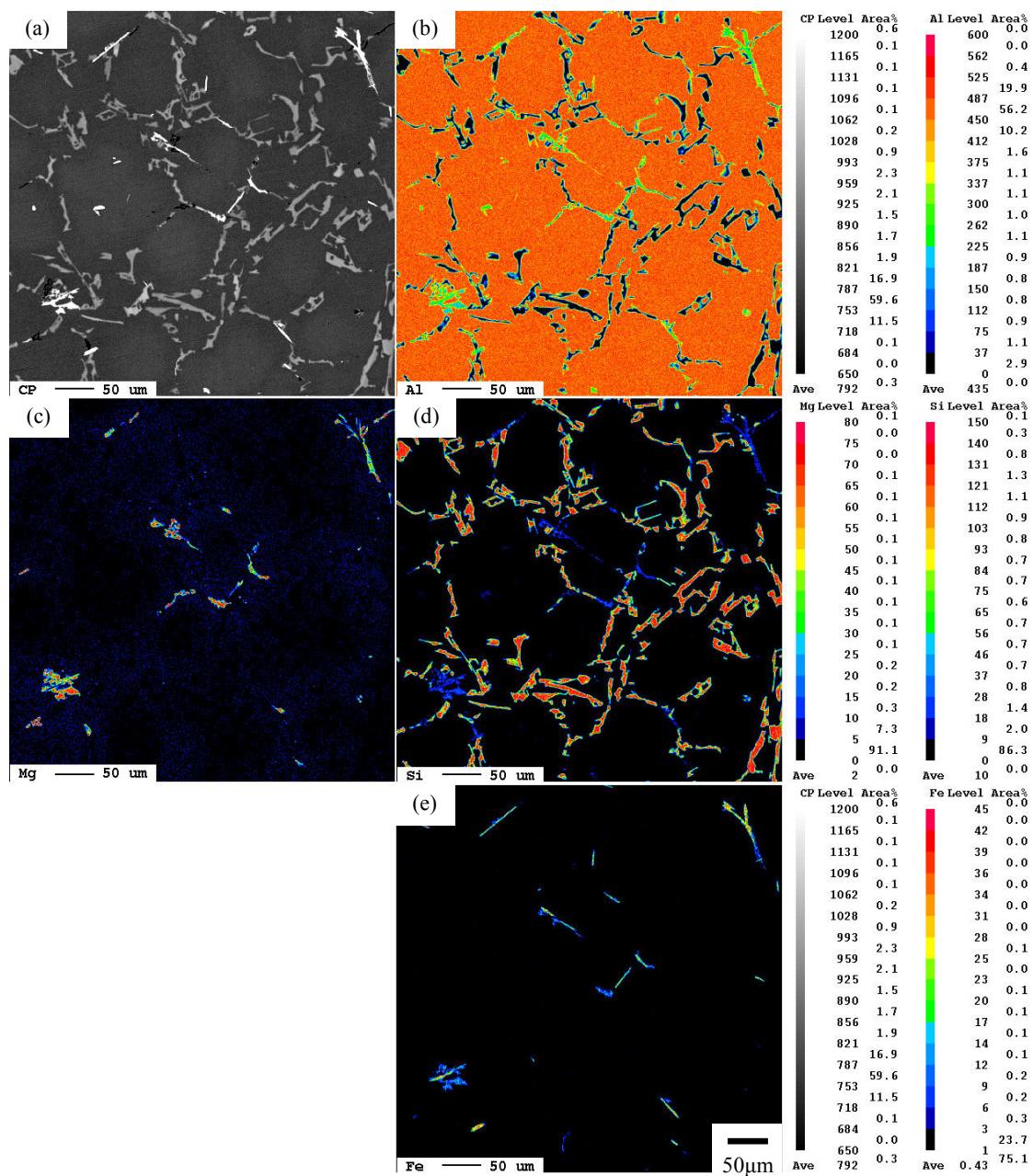


図 8 EPMA 分析結果 (US 付加あり) (a)反射電子組成像, (b)Al, (c)Mg, (d)Si, (e)Fe

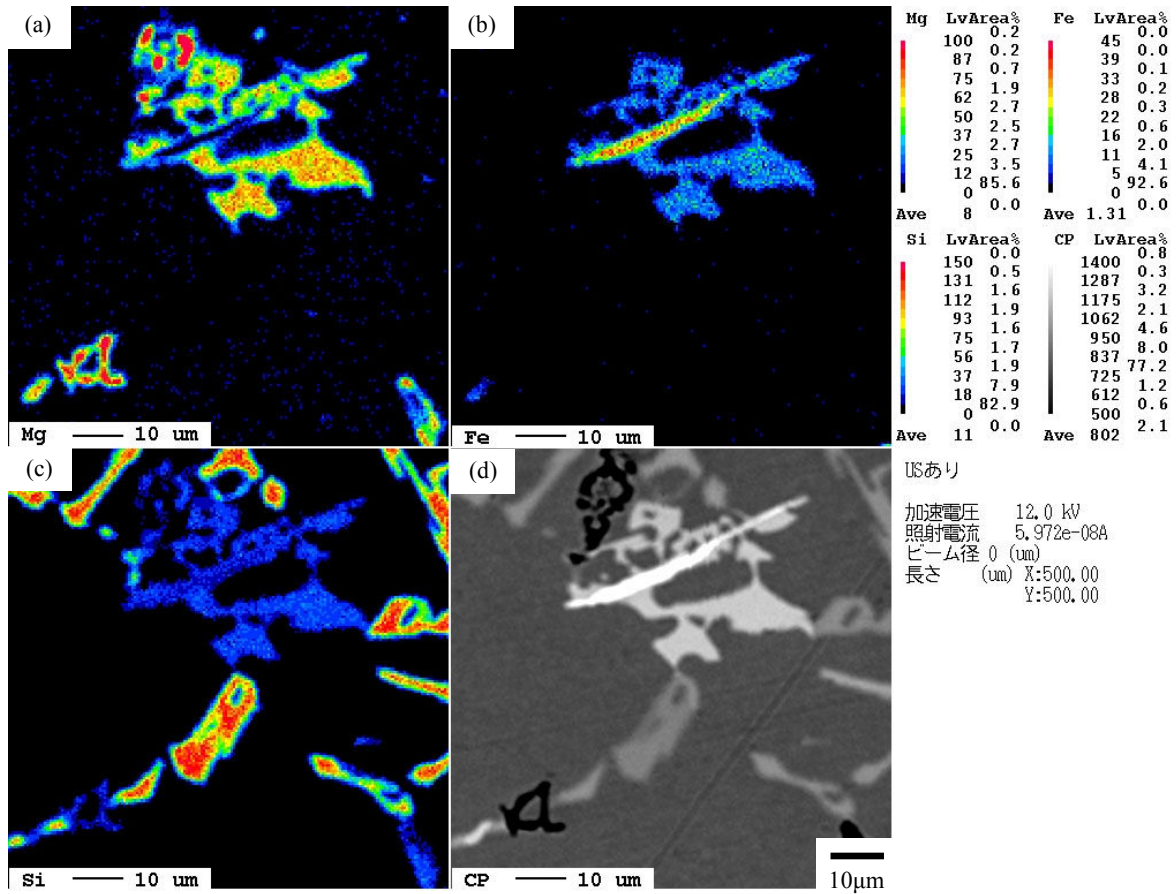


図9 EPMA分析結果 (US付加あり) (a)Mg, (b)Fe, (c)Si, (d)反射電子組成像

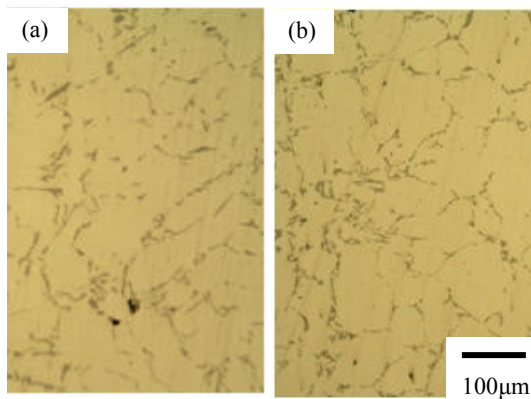


図10 ミクロ組織 (T6処理)
 ((a)US付加なし, (b)US付加あり)

表1 ビッカース硬さ

	ビッカース硬さ HV	
	USなし	USあり
熱処理なし	53	63
T6処理	130	130

図9にUS付加ありの拡大したEPMA分析結果を示す。図9(a), (b), (c)よりMg, Fe, Siが共存している領域, Mg, Siが共存している領域およびFe, Siが共存している領域の3領域が存在していることがわかる。MgとFeは金属間化合物もしくは微細なMgシリサイドとFeシリサイドとの混合物として存在しているため、同じ位置で反応したと考えられる。

図10に熱処理を行った供試材のマイクロ組織を示す。(a)がUS付加なし, (b)がUS付加ありである。図10(b)より、熱処理後の組織にUS付加の履歴が残ることが分かる。

表1にUS付加および熱処理を行った試験片のビッカース硬さHVの値を示す。US付加することでHVは約20%改善した。これは初晶 α の微細化が要因であると考えられる。一方、T6処理を行った場合、HVは同様の値を示す。

図11に内部気泡(ポロシティ)の分散を示す。(a)はUS付加なし, (b)はUS付加ありである。CO₂型内の水蒸気が熔融Alの熱により気化し、製品へ溶け込んだことにより内部気泡が形成されたと考えられる。気泡率(気泡の面積/試料面積)はUS付加なしとありでそれぞれ4.3%と3.1%であり、US付加による脱ガス効果が期待できる。さらに約1mm四方の巨大な気泡がUS付加で非常に細かく分散することがわかり、これは応力集中の低減に繋がると考えられる。

4. 結言

CO₂型を用い、熔融Al合金への超音波振動付加による凝固組織および熱処理への影響について調査した結果は以下の通りである。

- (1) 超音波振動付加により初晶 α が微細化される。
- (2) 超音波振動付加により初晶 α 界面に存在する共晶Siが微細になる。

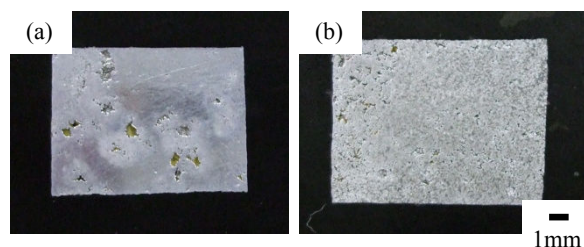


図11 内部気泡 ((a)US付加なし, (b)US付加あり)

(3) 超音波振動付加した試験片へ熱処理(T6)を行った場合、超音波振動付加の履歴が残る。

(4) 超音波振動付加によりHVは約20%改善した。一方、T6処理を行った場合、HVは同様の値を示した。

参考文献

- 1) 大澤嘉昭, 荒金吾郎, 高森 晋, 佐藤 彰, 大橋 修: 鑄造工学, **71**, (1999), p. 98.
- 2) 大澤嘉昭, 高森 晋, 荒金吾郎, 梅澤 修, 佐藤 彰, 大橋 修: 鑄造工学, **72**, (2000), p. 187.
- 3) 大澤嘉昭, 佐藤 彰: 鑄造工学, **72**, (2000), p. 733.
- 4) 大澤嘉昭, 高森 晋, 木村 隆, 皆川和己, 垣澤英樹: 鑄造工学, **78**, (2006), p. 65.
- 5) Yoshiaki Osawa, Goro Arakane, Susumu Takamori, Akira Sato: Processing and Fabrication of Advanced Materials VI, Edited by K.A Khor, T.S. Srivatsan and J.J. Moo, (1998), p. 15.
- 6) 田賀佳奈子, 恒川好樹, 奥宮正洋: 日本鑄造工学会, 第151回全国講演大会講演論文集, (2007), p. 47
- 7) 川尻將洋, 深井郁夫, 中澤啓明, 高橋好身, 岡田 学, 長坂明彦: 日本機械学会北陸信越学生会, 第37回学生会卒業研究発表講演論文集, (2008), p. 83.
- 8) 川尻將洋, 中村麻人, 中澤啓明, 鎌土重晴, 長坂明彦: 日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会北陸信越支部 平成20年度総会・連合講演会, 平成20年度連合後援会概要集, (2008), p. 96.
- 9) 小林俊郎: アルミニウム合金の強度, 内田老鶴圃, (2001), p. 324.
- 10) 矢島悦次郎, 市川理衛, 古沢浩一: 若い技術者のための機械・金属材料, 丸善株式会社, (1999), p. 75.
- 11) Akihiko Nagasaka, Masahiro Kawajiri, Ikuo Hukai, Shuichi Yamamoto and Nakamura Kazuhiro: 68th WFC – World Foundry Congress 7th – 10th February 2008, (2008), p. 543.
- 12) 長坂明彦, 川尻將洋, 深井郁夫, 山本周一, 中村和弘: 日本鑄造工学会 第151回全国講演大会, (2007), p.113.
- 13) 長坂明彦, 深井郁夫, 山本周一, 中村和弘, 竹田充, 川尻將洋, 小島 敦: 長野高専紀要, **41**, (2007), p. 7.
- 14) 長坂明彦, 深井郁夫, 中澤啓明, 高橋好身, 岡田学, 川尻將洋: 長野高専紀要, **42**, (2008), p. 1.