

超音波振動を用いたアルミ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}
高橋好身^{*3}・岡田 学^{*4}・川尻将洋^{*5}

Mechanical Properties of Aluminum Alloy Casting with Ultrasonic Vibration

NAGASAKA Akihiko, FUKAI Ikuo, NAKAZAWA Hiroaki
TAKAHASHI Yoshimi, OKADA Manabu and KAWAJIRI Masahiro

Recently, on countermeasures against global warming, energy conservation by weight saving of materials such as transport machinery metals is required to reduce CO₂ and environmental burden. Weight saving of materials demands improvement of its mechanical properties. As a way of that improvement, grain refinement is also demanded.

In grain refinement on casting process, three methods are given. a) add vibration to molten metal on solidifying, b) increase cooling speed, c) add refinement agent to molten metals. However b), c) aren't good methods from recycle and cost perspective.

Vibration of a) is grouped into three categories, ultrasonic vibration, magnetic vibration, mechanical vibration. Ultrasonic vibration has higher vibration energy than any other vibrations. Therefore in this study, ultrasonic vibration was added to molten aluminum which meltdown temperature is various, and its mechanical properties (tensile strength (*TS*), yield strength (*YS*), total elongation (*TEL*) and Vickers hardness (*HV*)) was held on examination.

TS, *YS*, *HV* of sample weren't heighten, however *TEL* was improved. We attributed spreading of Mg silicide which exists in boundary phase of primary α to that improvement.

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

地球環境への負荷軽減のため自動車などの軽量化による省エネルギー化が要求されている。材料の軽量化には素材の機械的特性の向上が要求されアルミニウム (Al) の複合材鋳物に代表されるように、軽量で 200MPa 級高強度の鋳物が求められている。鋳造において結晶粒の微細化には、(1)凝固時に振動を付加する、(2)溶融金属に微細化剤を添加する、(3)凝固時の冷却速度を大きくする、という方法があるが、(2)、(3)は製品の形状やリサイクルの観点からあまり好ましくない。(1)の振動は大きく分けて(a)超音波振動、(b)電気磁気振動、(c)機械振動に分けられる。これらの振動のうち、(a)超音波振動が最も振動強度を大きくとることができ、溶融金属へ直接付加できるため、現在注目されて

いる。超音波振動付加による凝固組織の微細化に関する研究はこれまでに数多く行われており、様々な振動付加方法や実験結果が報告されているが、機械的特性に関するものはあまりない。

そこで本研究では、溶融状態の Al へ超音波振動をホーンを用いて直接付加し、金型を用いて試験片を作製し、機械的特性への影響を調査した。

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、自動車用ホイール、航空機用エンジンなどに用いられる。

2.2 実験装置および試験作製

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

* 2008 年 3 月 7 日 (社) 日本機械学会にて一部発表。

*1 機械工学科教授

*2 技術室

*3 有限会社 中澤鋳造所

*4 機械工学科准教授

*5 生産環境システム専攻 学生

原稿受付 2008 年 5 月 20 日

280mmを使用した。本実験で付加した超音波振動の振幅は12 μ mである。

図2に振動を付加する際のホーン、るつぼ、電気炉の位置関係を示す。電気炉内のるつぼの中でAlを溶解し、所定の温度でホーンを直接挿入した。ホーン浸漬深さは液面から30mmである。ホーン先端から発振された超音波振動がるつぼ底部で反射され次に来る超音波振動と打ち消さないようにホーン先端とるつぼ底部は十分な距離をとっている。振動付加後、JIS4号引張試験片（金型）の規格に基づいて作製した金型に注湯し、試験片を2本作製した。金型には塗型剤を吹き付け、300~400 $^{\circ}$ Cに予熱した。

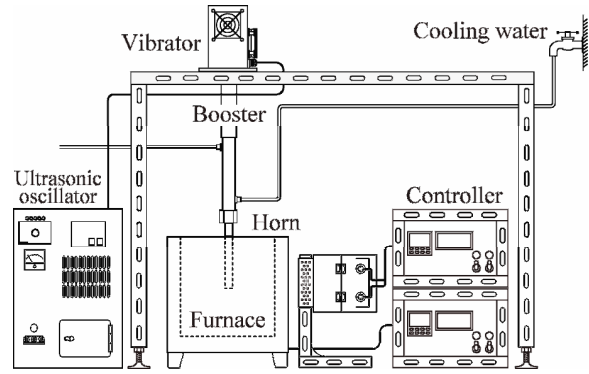


図1 超音波振動実験装置

2.3 超音波振動付加実験

図3に超音波振動付加温度を示す。等温保持しながら振動付加する場合、液相線を越えながら振動付加する場合の実験を行った。詳細は以下のとおりである。

(a) 完全に液相状態である710 $^{\circ}$ Cでの超音波振動付加から行い680 $^{\circ}$ C, 660 $^{\circ}$ C, 640 $^{\circ}$ Cと付加温度を下げた。いずれも振動付加時間は60secであり、振動付加中は電気炉で等温保持し、付加終了後直ちに注湯した。振動付加されるAC4CHの質量は1.5kgで、鑄込温度は振動付加温度と同じである。

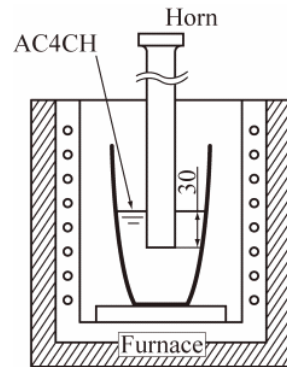


図2 ホーンとるつぼの位置関係

(b) 超音波振動付加温度を660 $^{\circ}$ Cに設定し、振動付加時間を3600secで実験を行った。

(c) 供試材を750 $^{\circ}$ Cで融解後、605 $^{\circ}$ Cまで温度を下げ、超音波振動付加開始。3600sec後、660 $^{\circ}$ Cまで昇温し注湯した(図4(a))。これを605*と呼ぶこととする。

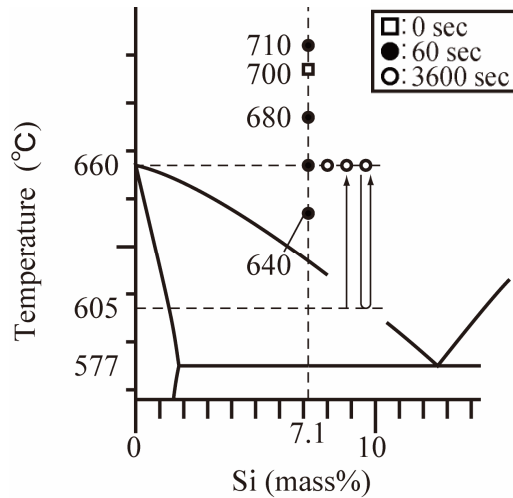


図3 超音波振動付加温度

(d) 供試材を750 $^{\circ}$ Cで融解後、温度を下げ、660 $^{\circ}$ Cで振動付加を開始し605 $^{\circ}$ Cまで温度を下げた。3600sec振動付加後、660 $^{\circ}$ Cまで昇温し金型へ注湯した(図4(b))。これを605**と呼ぶこととする。

引張試験はインストロン型万能試験機（クロスヘッド速度1mm/min）で行った。また、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15secで行った。

3. 実験結果および考察

図5に試験片の顕微鏡組織を示す。硝酸でエッチングを行い観察している。(a)は超音波振動（以下、US）付加なし、(b)660 $^{\circ}$ CでUSを付加したものである。切断法による平均粒径はそれぞれ62.3 μ m, 57.8 μ mであり、大澤ら⁷⁾の報告とは異なり、超音波振動付加による明確な微細化とは確認できなかった。

図6に試験片の機械的特性と超音波振動付加温度の関係を示す。引張強さTSにおいて、USの効果は見られないが、ばらつきは小さい(図6(a))。これは、超音波振動装置の出力に対して付加されるAC4CHの質量が大きすぎたためと考えられる。降伏応力YSは、

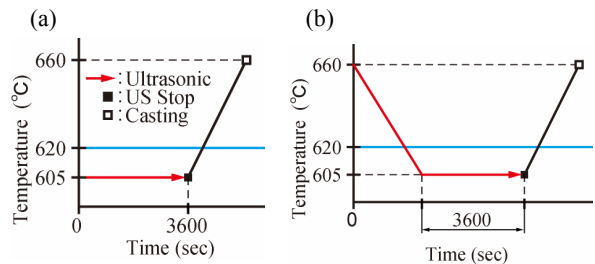


図4 振動付加温度 ((a)605*, (b)605**)

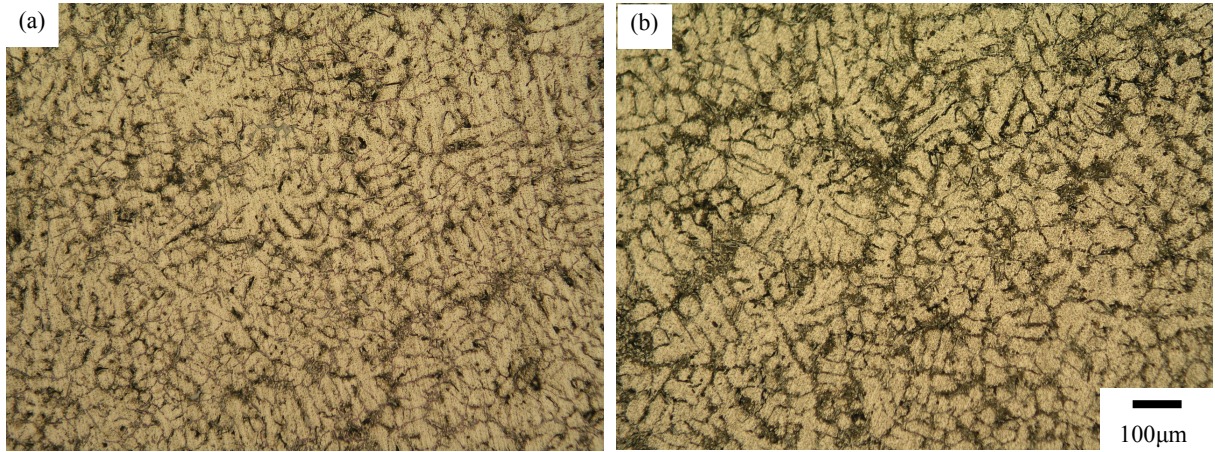


図5 光学顕微鏡組織 ((a)超音波振動無し, (b)超音波振動あり (660°C, 60sec))

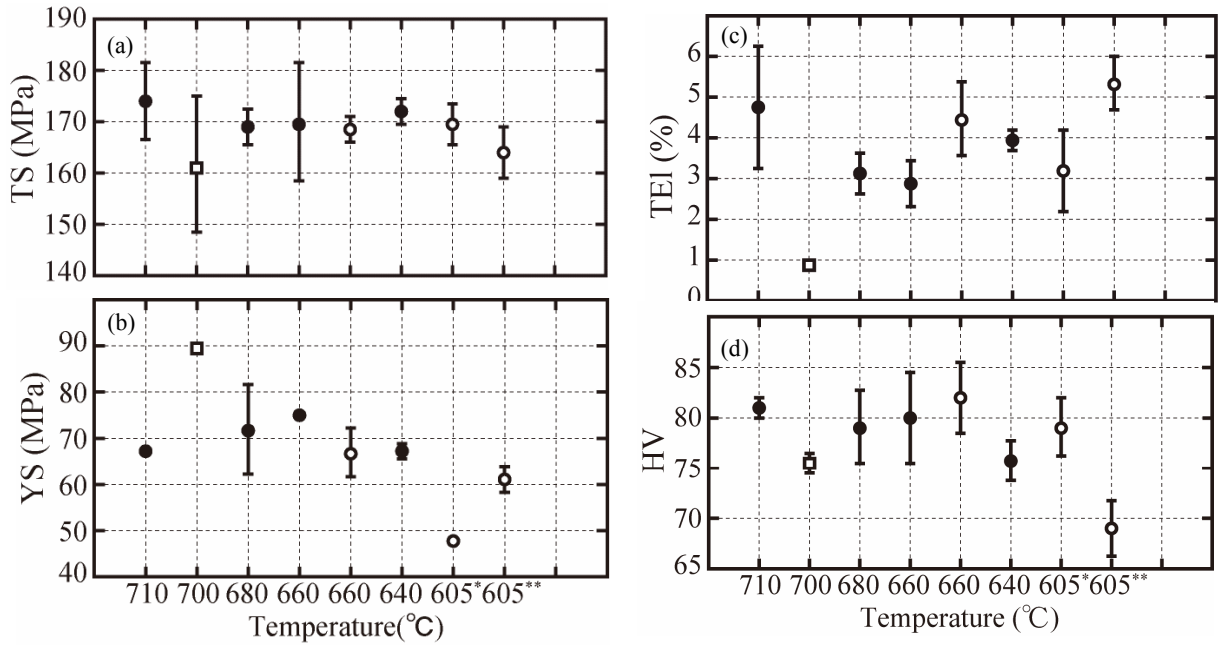


図6 試験片機械的特性 ((a)引張強さ TS , (b)降伏応力 YS , (c)全伸び TEI , (d)ピッカース硬さ HV)

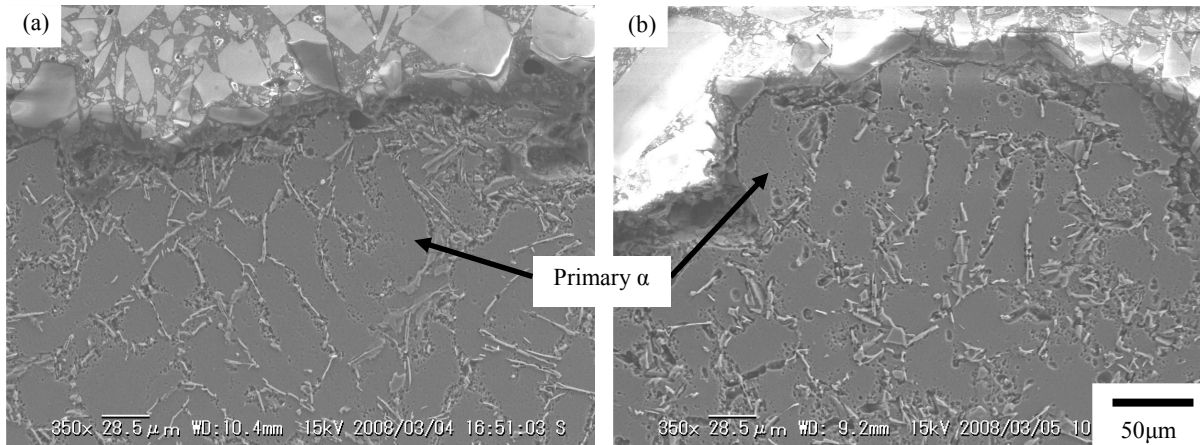


図7 走査型電子顕微鏡画像 ((a)超音波振動付加無し, (b)超音波振動あり (605**))

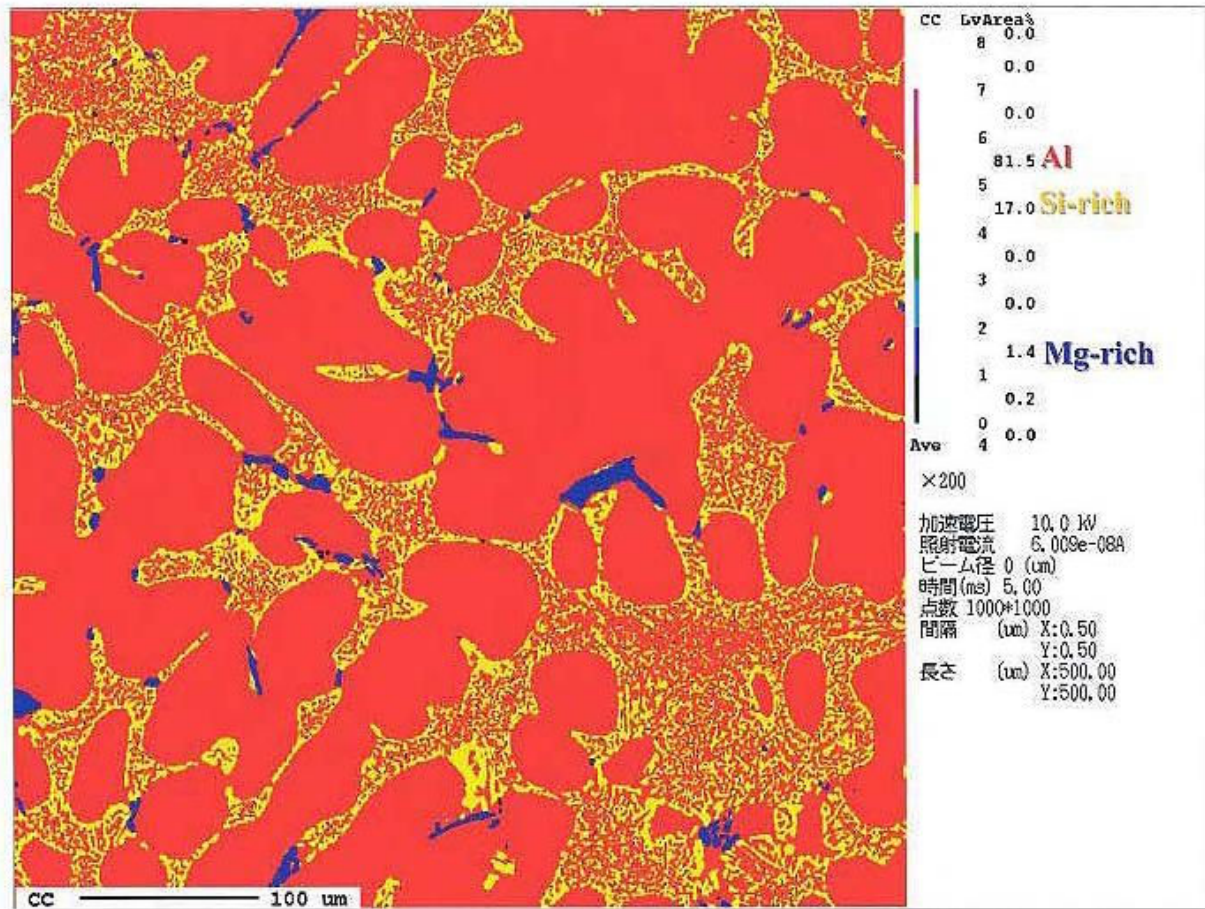


図8 EPMA 分析結果

USにより低下する傾向を示す(図6(b))。全伸びTEIは、USにより2倍程度大きくなる。(図6(c))。

これはYSが低下したことも影響していると考えられる。ビッカース硬さHVは、605**で大きく低下する(図6(d))。

図7(a)にUS付加無し、(b)にUS付加有りの試験片破断面の走査型電子顕微鏡(SEM)画像を示す。Primary α界面で破断していることが分かる。また、Primary α界面の共晶相に細長い化合物が存在しており、USを付加したことによってその化合物が細かく分断され、分散していることが分かる。図8にEPMA分析結果を示す。Mg-richが共晶相上に存在していることや、散布図解析よりMgはSiと相関があることからMgシリサイドを形成していることがわかる。以上のことから、破断部分に存在する硬質なMgシリサイドがUS付加によって分散されたことがTEIの改善に寄与したと考えられる。

4. 結言

本研究では超音波振動装置を用い、熔融状態のAC4CHに超音波振動を付加し、鋳造した試験片の機械的特性を調査した。主な結果は以下のとおりである。

出力600Wの超音波振動装置を用いて、1.5kgのAC4CHに超音波振動を付加した場合、結晶粒の微細化効果は小さいが、全伸びTEIが改善された。

参考文献

- 1) 小林俊郎：アルミニウム合金の強度，内田老鶴圃，(2001)，324
- 2) N.Oonishi, T.Takaai, Y.Nakayama, K.Ninomiya：J.Jpn.Inst.Light Met., 46 (1996) 365-370
- 3) Y.Nakayama：J.Jpn.Inst.Light Met., 44 (1994) 216-221
- 4) 永井寛：埼玉県産業技術総合センター研究報告(2004)，2。
- 5) 日本金属学会：金属データブック，丸善株式会社，(2004)，193
- 6) 本村隆寛，恒川好樹，奥宮正洋：鋳造工学第151回全国講演大会講演概要集，(2007)
- 7) 大澤嘉昭，荒金五郎，高森 晋，佐藤 彰，大橋 晋：鋳造工学，71 (1999) 98-103