

アルミニウム合金鋳物の機械的性質に及ぼす溶解条件の影響

小川俊文^{*1} 春山繁之^{*1} 貝田博英^{*1} 森田茂隆^{*2}

Effect of Melting Condition on Mechanical Properties for Aluminum Alloy Castings

Toshifumi Ogawa, Shigeyuki Haruyama, Hirohide Kaida, Shigetaka Morita

アルミニウム合金鋳物の機械的特性に関する研究がいろいろ行われてきているが、溶解条件の影響に関する研究は殆ど見られない。そこで本研究では、異なる雰囲気中で溶解したアルミニウム合金を用いて引張試験を行い、延性に及ぼす溶解雰囲気の影響について検討した。その結果、溶解雰囲気を制御することで、引張強さは維持したまま伸びを向上させることが出来る可能性があることがわかった。

1 はじめに

軽量化を通して省エネルギーと排ガス削減を図るため、自動車等の輸送機器においてアルミニウム合金材料が積極的に使用されるようになってきた。しかし、更なる軽量化を図るためにこれまで使われていなかった箇所、例えばボディ部品や足回り部品などの重要保安部品などへアルミニウム合金鋳物の適用が進められてきており、より高機能・高性能で確固たる信頼性を持ったアルミニウム合金材料が要求されている。このような期待に応えるため、アルミニウム合金鋳物の機械的特性に関する研究は、鋳造条件¹⁾、冷却速度²⁾、熱処理³⁻⁵⁾、改良処理⁶⁾、不純物元素⁷⁾、組織・鋳造欠陥⁸⁾、介入物⁹⁾、水素や酸素の含有量^{9,10)}の影響などいろいろな視点に基づいて行われてきている。しかしながら、生産工程条件の一つである溶解雰囲気が機械的特性に及ぼす影響に関する研究はほとんど見られない。そこで本研究では、異なる雰囲気中で溶製したアルミニウム合金インゴットを用いて引張試験を行い、延性に及ぼす溶解雰囲気の影響について、成分・金属組織・鋳造欠陥のことを考慮して検討を行った。

2 実験方法

2-1 試験片の作製

市販のアルミニウム合金AC4CHとAl-10%Sr合金を原材料に用い、改良処理元素Srを含有したAl-Si-Mg系合金を溶製した。溶解はコールドクルーシブル溶解炉(富士電機(株)製)を使用し、溶解雰囲気は、アルゴン雰囲気と大気雰囲気の2種類で行った。アルゴン雰囲気は、一旦溶解炉チャンバー内をロータリーポンプで

10⁻¹Pa台まで排気した後、大気圧までアルゴン置換した状態とした(以後、アルゴン雰囲気中で溶製したものをアルゴン溶解材とする)。大気雰囲気は、溶解炉チャンバーの扉を全開にして外気が自由に出入りできる状態とした(以後、大気雰囲気中で溶製したものを大気溶解材とする)。15分間かけて溶解した後、POWER OFFしてそのまま水冷銅坩堝中で凝固させ室温まで冷却させた。インゴットは、重量約500g、最大直径60mm、長さ90mm程度のドングリ型である。溶製したインゴットは、溶体化処理後時効硬化処理(T6処理)を行った。熱処理パターンは、813K - 4h 温水冷(333K) 418K - 4h 空冷とした。熱処理した後、インゴット中心部の引け巣周辺と外側の急冷部分を除いた組織が均質な部分を用いて、平行部直径4mm×平行部長さ6mmの丸棒引張試験片を作製した。

2-2 引張試験片の欠陥調査

マイクロフォーカスX線CT装置(テスコ(株)製HMx225-ACTIS+3)で、作製した丸棒引張試験片平行部におけるポイド等の鋳造欠陥調査を行った。測定条件は、管電圧97KV、管電流95 μ A、スライス幅20 μ mとした。

2-3 引張試験

引張試験は、オートグラフ(島津製作所(株)製)を使用して、クロスヘッド速度0.5mm/minで、室温下にて行った。荷重及び変位は、それぞれメモリーレコーダ(共和製EDX-1500)に10Hzのサンプリング速度でロードセル出力・変位計(ビデオ式非接触伸び計 DVE-200S)出力として計測を行った。

*1 機械電子研究所

*2 日立金属(株)

3 結果と考察

3-1 成分の比較

熱処理後、各アルミニウム合金インゴットの成分分析を行った。その結果を表1に示す。Siは重量法、それ以外の金属元素はICP発光分光分析法で行った。今回は溶解雰囲気異なるインゴットを溶製したので、ガス含有量に違いが出る可能性が考えられたため、O, N, Hの分析も行った。Oは不活性ガス融解 - 赤外線吸収法、Nはアンモニア蒸留分離アミド硫酸滴定法、Hは不活性ガス融解 - ガスクロマトグラフ法で分析した。

表1 成分分析結果

	アルゴン溶解材	大気溶解材
Si	7.0	6.9
Mg	0.36	0.37
Fe	0.11	0.11
Cu	0.007	0.007
Ni	0.004	0.004
Ti	0.09	0.09
Zn	0.004	0.005
Sr	0.008	0.005
Ca	0.003	0.003
Al	bal.	bal.
O	10	10
N	< 50	60
H	0.1	0.2

(O, N, H : mass ppm, その他の元素 : mass%)

この結果よりSiと金属成分元素の含有量に関して、アルゴン溶解材と大気溶解材はほぼ同じであることが確認できた。引張特性に影響を及ぼす改良処理元素Srが、アルゴン溶解材と大気溶解材で0.003mass%の差があるが、小林らの報告⁶⁾で、AC4CHにSrが50mass ppmと100mas ppm含有されている場合、伸びと引張強さは、あまり変わらない結果を得ていることから、本研究においてもSr含有量の違いによる引張特性の差は、ほとんど生じないと考えられる。以上のことから、本研究の引張特性に及ぼすSiと金属成分元素の含有量の差の影響は、ほとんど無いと考えられる。アルミニウム合金鋳物中のガス含有量と機械的特性に関する研究で、HやOの含有量が増えると機械的特性が悪くなることが報告されている^{9,10)}。本研究で溶製したインゴットの

ガス成分元素に関しては、O含有量は同じであったが、NとHの含有量は大気溶解材に比べてアルゴン溶解材の方が少なかった。この違いは、溶解雰囲気の違いに起因するものと考えられる。以上のことから、アルゴン溶解材と大気溶解材の引張特性において、HとNの含有量の違いの影響が出てくる可能性があると考えられる。

3-2 金属組織の比較

図1(a)~(d)に両インゴットの凝固組織とT6熱処理後の組織を示す。図1(a),(b)から解るように、両インゴットとも共晶Siが微細化されており、Srによる改良処理がなされていることが確認できた。試験片作製に用いた部分のデンドライト二次枝間隔(DAS)の測定を交線法¹¹⁾で行った結果、アルゴン溶解材は40 μm 、大気溶解材は41 μm となりほぼ同じであった。Al-Si系合金鋳物の機械的特性は、DAS、共晶Siの性状(寸法や形態)及び共晶Si粒子間距離等の影響を受けることが知られている^{6,12)}。本研究で用いた各合金のDASは、ほぼ同じサイズであることから、今回の引張特性に対するDASの影響は、ほとんど無いと考えられる。また図1(c),(d)から解るように、共晶Siの性状や粒子間距離に関しても合金間で顕著な差が見られなかったことから、共晶Siの影響も少ないと考えられる。以上のことから、本研究の引張特性に及ぼす組織の影響は、ほとんど無いものと考えられる。

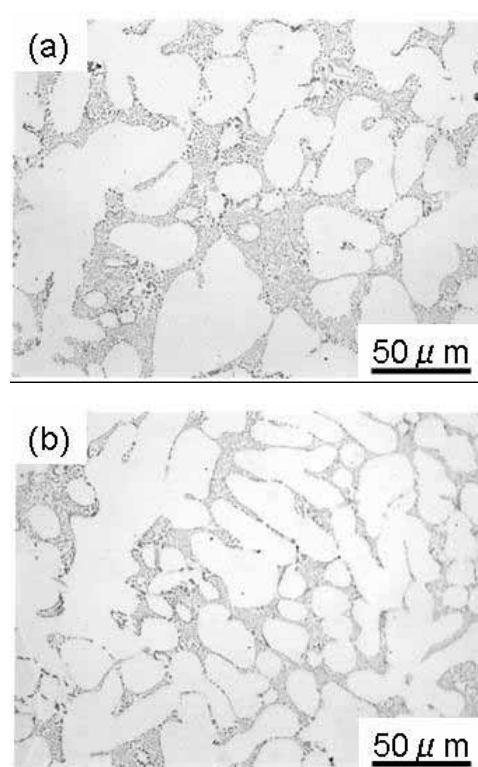


図1 金属組織の比較

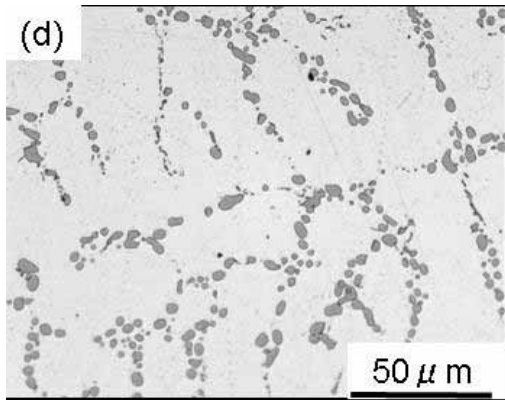
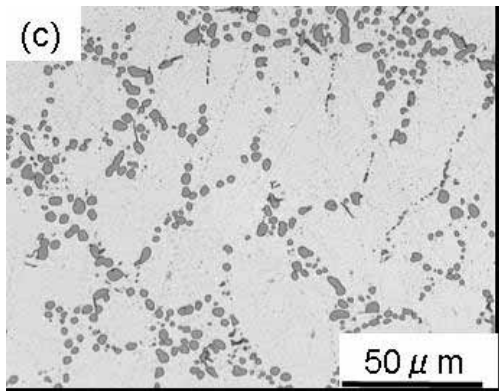


図1 金属組織の比較

(a)アルゴン溶解材凝固組織，(b)大気溶解材凝固組織
(c)アルゴン溶解材熱処理組織，(d)大気溶解材熱処理組織

3-3 引張試験片平行部の欠陥調査

アルミニウム合金鋳造材では、ポイドや介在物等の欠陥が、機械的特性に影響を及ぼすことが知られている^{6,9,10)}ため、本研究では、全ての引張試験片で平行部における鋳造欠陥の調査を行った。図2にマイクロフォーカスX線CT装置による解析例を示す。ポイドが存在すれば黒色の斑点が現れ、介在物が存在すれば、濃淡の違いで判別できる。引張試験には、欠陥が検出されなかった試験片だけを用いているので、引張特性に及ぼす鋳造欠陥の影響は、ほとんど無いものと考えられる。

3-4 引張特性の違いとその要因

引張試験の結果を表2に示す。アルゴン溶解材は4本、大気溶解材は6本の試験を行った。引張強さは、ほぼ同じであった。これに対し、伸びは、アルゴン溶解材がいずれも20%以上で平均21.4%、大気溶解材がいずれも20%未満で平均18.7%となり、アルゴン溶解材の方が、大気溶解材よりも平均で1.5割程大きかった。一般に伸びに差が出る要因としては、成分の違い、組織の

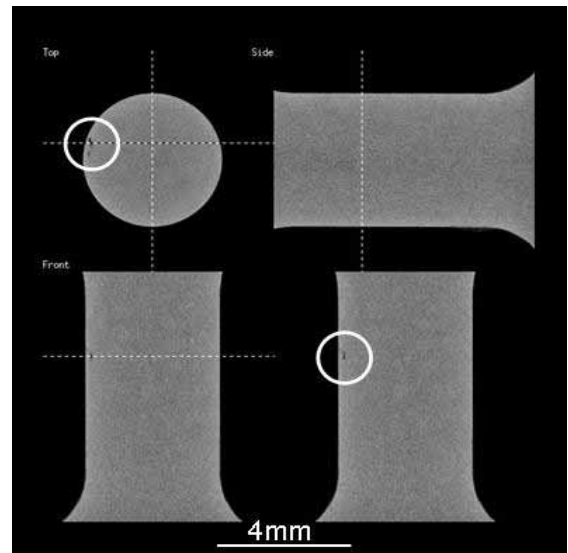


図2 鋳造欠陥調査結果の一例
(白丸内に欠陥が見られる)

違い、鋳造欠陥の違い等が考えられるが、前述のように本研究で用いたアルゴン溶解材と大気溶解材とでは、Siと金属元素の含有量、DASや共晶Siの性状・分散状態がほぼ同じで、引張試験片には鋳造欠陥が検出されなかったものを用いている。アルゴン溶解材と大気溶解材との間で違いがあったのは、HとNのガス含有量である。以上のことから、アルゴン溶解材と大気溶解材との間で伸びに差が出た要因は、HとNのガス含有量の違いによるものと考えられる。

表2 引張試験の結果

	アルゴン溶解材		大気溶解材	
	伸び (%)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	引張強さ (MPa)
1	21.3	306	18.2	308
2	22.3	304	17.4	307
3	21.8	303	19.5	299
4	20.2	306	18.5	300
5			19.7	302
6			18.9	301
平均	21.4	305	18.7	303

3-5 破断面の観察

走査電子顕微鏡で破断面の観察を行った。その結果を図3(a)～(d)に示す。合金間における破断面の違いは、マクロ的にもミクロ的にも見られなかった。また、試験を行った全ての試験片破断面を観察したが、ポイドや介在物等の鋳造欠陥は見られず、今回用いた試験片が鋳造欠陥のない健全なものであったことを確認できた。図3(b)と(d)より、共晶Siを起点としてポイドが形成され共晶組織に沿って破壊が進行し破断に至ったと考えられる。

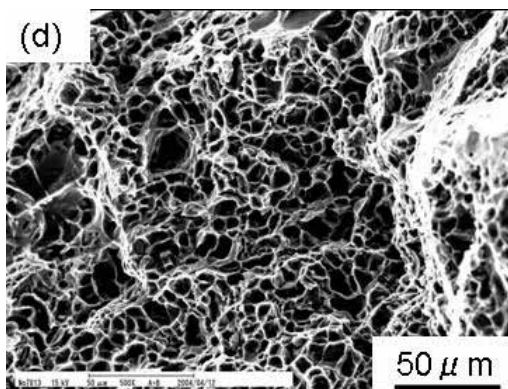
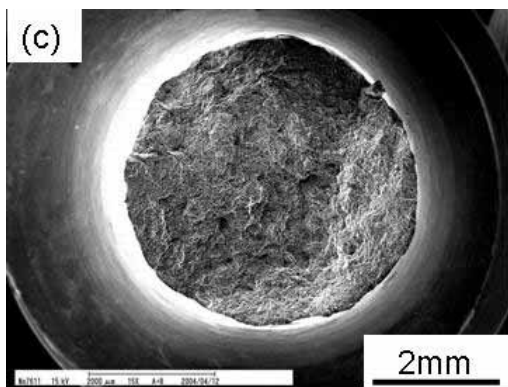
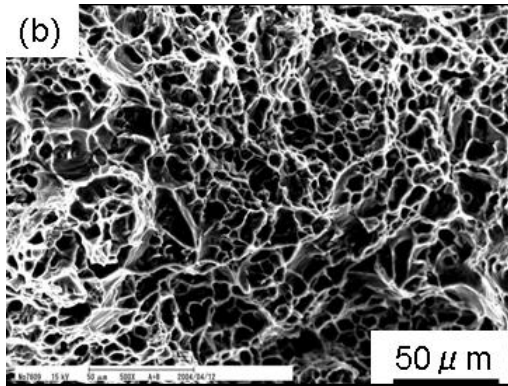
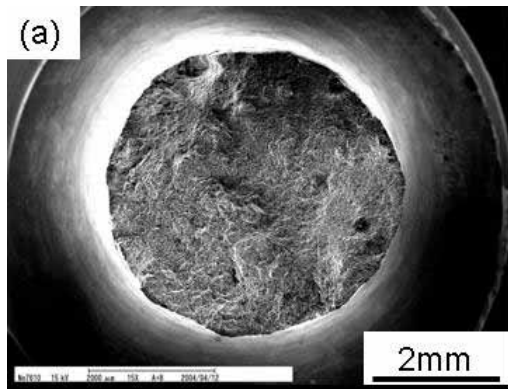


図3 破断面の二次電子線像

(a), (b)はアルゴン溶解材, (c), (d)は大気溶解材

4 まとめ

市販の原材料を用いコールドクルーシブル溶解炉で溶解雰囲気を変えて2種類のアルミニウム合金AC4CHを

溶製し, 成分分析, 組織観察, 鑄造欠陥調査, 引張試験を行って比較した結果以下の結論を得た。

- (1)アルミニウム合金AC4CHの延性は, 溶解雰囲気の影響を受けるということが考えられる。
- (2)Siと金属元素の含有量, DASや共晶Siの性状・分散状態がほぼ同じで, 引張試験片には鑄造欠陥が検出されなかったことを考慮すると, 大気溶解材よりもアルゴン溶解材の方が, 延性が良かった要因は, アルゴン溶解材の方が大気溶解材よりもHとNの含有量が少なかったためであると考えられる。
- (3)溶解雰囲気を大気雰囲気からアルゴン雰囲気に変えることで, 引張強さを低下させることなく, 伸びを1.5割程向上させることができる可能性があることがわかった。

5 参考文献

- 1)大西: 軽金属学会誌, Vol.46, p.365(1996)
- 2)古閑: 軽金属学会誌, Vol.44, p.216(1994)
- 3)古閑: 軽金属学会誌, Vol.43, p.297(1993)
- 4)古閑: 軽金属学会誌, Vol.43, p.612(1993)
- 5)大西: 軽金属学会誌, Vol.45, p.447(1995)
- 6)小林: 軽金属学会誌, Vol.43, p.472(1993)
- 7)小川: 日本金属学会誌, Vol.67, p.452(2003)
- 8)春山: 日本機学会論文集, Vol.70, p.258(2004)
- 9)日本鑄物協会編: アルミニウム合金鑄物の介在物と機械的性質に関する研究, Vol.53, p.9, 日本鑄物協会(1989)
- 10)日本鑄物協会編: アルミニウム合金鑄物のガス含有量と機械的性質, Vol.41, p.11, 日本鑄物協会(1986)
- 11)軽金属学会編: アルミニウムのデンドライトアームスペーシングと冷却速度の測定法, p.46, 軽金属学会(1988)
- 12)小林編: アルミニウム合金の強度, p.91, 内田老鶴圃(2001)