

# 連続鋳造によるアルミニウム材の品質向上に関する研究 Studies on the Improved Quality of Aluminum Material by Continuity Casting

## 6000系アルミニウム合金の機械的特性 Mechanical Properties of the 6000 System Aluminum Alloy

三島 栄・伊達勇介  
Sakae Mishima and Yusuke Date

連続鋳造法による 6000 系アルミニウム合金の機械的特性及びプレス加工での成形性を向上させるために、各熱処理条件を検討した。その結果、応力・耐力・ランクフォードで高い値が得られた。

We have studied the heat treatment conditions of continuous casting of aluminum alloy 6000 in order to improve mechanical properties and forming press. As a result, we found the conditions for obtaining material with high stress strength, yield strength and Lankford value.

### 1. はじめに

アルミニウムは発見されてからまだ百数十年しか経過していない比較的新しい金属であり、軽量で加工性や耐食性に優れた特性をもつため、エアコンのフィン、家庭用箔、飲料缶など我々の生活の中で、何らかの加工が施されて実用化されている。とりわけ地球環境保護の観点から自動車の軽量化に大きく寄与できる 6000 系アルミニウム合金が注目を集めている。この合金は添加元素の添加量が少なく、加熱処理（人工時効）することにより引張強さ、耐力が向上することを確認している（6016 合金）<sup>1)2)</sup>。そこで、車体用薄板材に使用することができ、自動車の軽量化に最適な材料と考えられる 6061 アルミニウム合金の機械的特性と成形性について検討を行った。

### 2. 実験方法

K 社の鋳造技術を基に、連続鋳造設備で試作鋳造した 6061 アルミニウム合金を表 1 で設定した条件で溶体化温度、溶体化時間、時効温度、時効時間で加熱処理を行った。試験は引張試験を行い、引張応力・耐力・伸び・R 値（ランクフォード値）で機械的特性と成形性の評価を行った。T 4 調質（自然時効）と T 6 調質（人工時効）した時の試作材とスラブ材との機械的特性の比較実験を行った。試験機はオートグラフ A G 100 k N G（島津製作所製）を使用した。

### 2.1 熱処理条件による試験体

試作鋳造したアルミニウム合金の製造条件と熱処理条件を表 1 に示す。この板材を用いて、引張試験片とした。

表 1 製造条件と熱処理条件

鋳造板幅	600 mm
鋳造板厚	7.0 mm
圧下荷重	600 ton
溶体化温度	515 ~ 560
溶体化時間	2 時間 ~ 8 時間
時効温度	140 ~ 200
時効時間	6 時間

試作した鋳造材を溶体化温度 515 ~ 560 <sup>3)</sup>で溶体化時間を 2 時間 ~ 8 時間、時効温度は 140 ~ 200 、時効時間は 6 時間に設定し加熱処理を行った。試験片は J I S の 5 号試験片を採取するために高機能フライス盤で加工した。

### 3. 試験結果

#### 3.1 実験 1

図 1 では試験体の加熱条件は溶体化温度を 530 、溶体化時間を 2 時間、時効温度を 140 ~ 200 、時効時間を 6 時間に設定した時の機械的性質を示す。引張

応力及び耐力は時効温度が上昇するとともに高くなり、200 の時の応力がいずれも高い結果となった。しかし、伸びについては温度上昇とともに低下傾向の結果となった。

表2 熱処理条件と機械的特性

	溶体化温度	溶体化時間	時効温度	時効時間	引張 [N/mm <sup>2</sup> ]	耐力 [N/mm <sup>2</sup> ]	伸び [%]		
試験体	530	2時間	140	6時間	260.2	141.1	33.5		
			160		270.8	166.3	28.4		
			180		297.9	252.7	22.9		
			200		305.0	276.5	19.7		
試験体	515	2時間	-	-	220.3	100.0	33.9		
	530				229.4	112.8	34.3		
	545				237.4	115.3	35.0		
	560				239.7	119.9	33.9		
	515	2時間			200	6時間	293.1	258.6	18.6
	530						304.4	280.2	18.0
	545						310.9	279.5	16.0
	560						313.2	287.5	18.6
試験体	560	2時間	-	-	239.7	119.9	33.9		
		4時間			237.4	117.5	34.4		
		6時間			238.3	118.1	35.6		
		8時間			239.4	120.1	35.5		
	560	2時間	200	6時間	313.2	287.5	18.6		
		4時間			313.4	292.2	17.4		
		6時間			311.1	278.2	18.9		
		8時間			311.3	292.3	-		

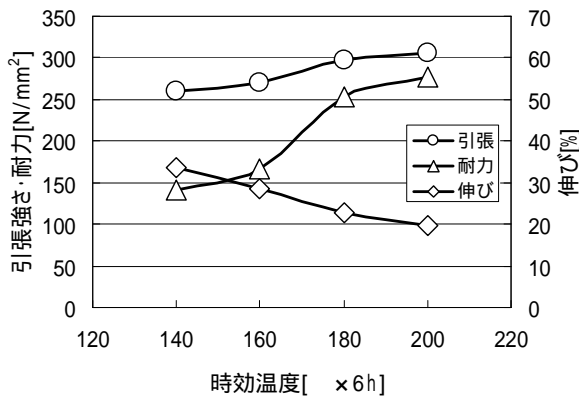


図1 溶体化 530 × 2 時間での時効温度変化

### 3.2 実験2

図2 では試験体 を溶体化温度 515 ~ 560 に設定し、溶体化時間はいずれも 2 時間、時効温度 200 で 6 時間の人工時効処理をしたものとししないものの結果を示す。ゆるやかではあるが溶体化温度が上昇するとともに引張応力・耐力は高くなり 560 で溶体化処理したものが引張及び耐力ともピークとなった。伸びについては溶体化温度による影響はなかった。時効処理した時の耐力は溶体化処理時に比較して 2 倍以上の高い結果となった。

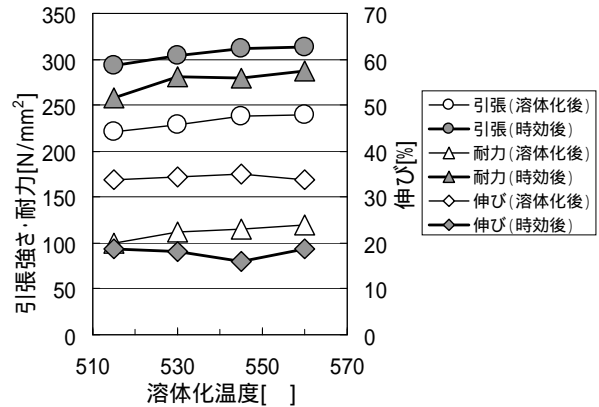


図2 溶体化温度による時効後変化

### 3.3 実験3

図3 では試験体 を溶体化温度 560 に一定にした時間の溶体化時間を 2 時間から 8 時間にし、200 で 6 時間の時効処理したものと処理しないものの結果を示す。時効処理したものが引張・耐力とも増加する結果となった。なかでも時効処理した時の耐力は溶体化処理時に比較して 2 倍以上の高い結果となった。しかし溶体化時間による機械的性質の変化はなかった。

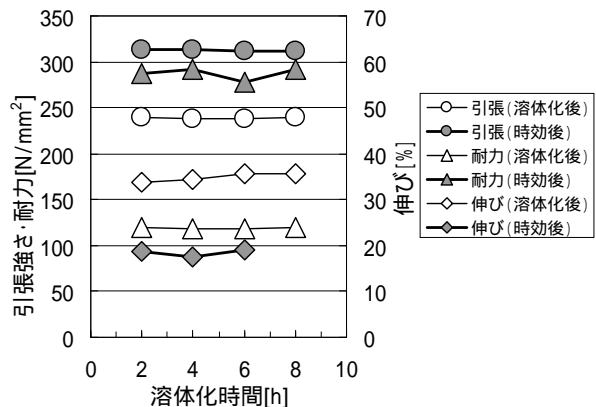


図3 溶体化時間による時効後変化

### 3.4 調質ごとの機械的性質

調質の機械的性質は T 6 処理した時に連続鋳造材がスラブ材より引張・耐力・伸びで同等以上の数値を示した。

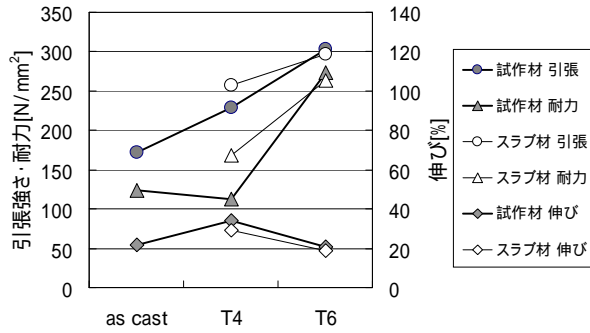


図4 調質ごとの機械的性質

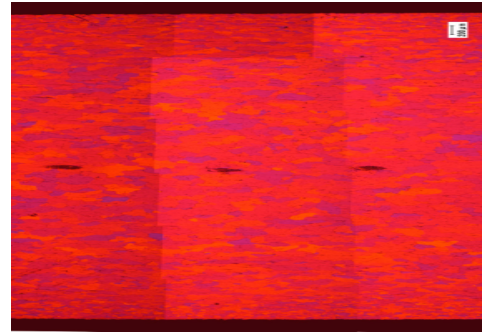


図7 560 溶体化後

#### 4. 光学顕微鏡による組織観察

図5～図7に示すように各溶体化温度の組織観察を行った。溶体化処理後の観察試料を採取し、それぞれ個々の試料を型枠に入れ、樹脂を流し込み硬化させて観察用サンプルを作成した。その後観察面を研磨、エッチングし光学顕微鏡にて観察を行った。

その結果、溶体化温度による結晶粒径の大きな変化は認められなかった。

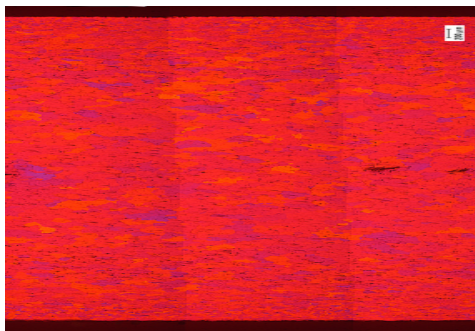


図5 515 溶体化後

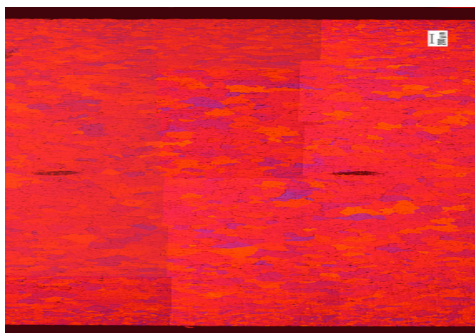


図6 545 溶体化後

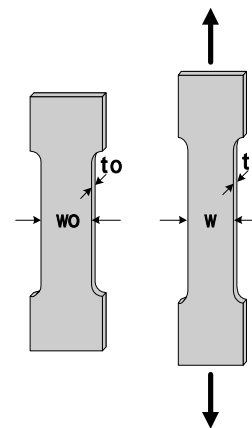
#### 5. 成形性評価

##### 5.1 r値の評価(ランクフォード値)

r値は引張試験における試験片平行部の板幅方向対数ひずみと板厚方向対数ひずみの塑性ひずみ比で材料の異方性を表す基礎的な材料特性であるとともに、深絞り性を支配する成形性評価指標である<sup>3)</sup>。ここでは、r値の測定条件として標点間距離を30mmとし、試験片平行部に標点シールを貼り付けCCDカメラで追跡し標点シールを15%のひずみを与えた後、試験片の板厚・板幅・距離を測定しr値を求めた。スラブ材と連続鋳造試作材を圧延方向に対して0°、45°、90°の試験体で評価した。

##### 5.2 r値の算出

r値(ランクフォード値)の求め方



$$r = \frac{\ln \frac{w_0}{w}}{\ln \frac{t_0}{t}} = \frac{\ln \frac{w_0}{w}}{\ln \frac{l w}{l_0 w_0}}$$

図8 r値の計算式

表3 スラブ材試験前寸法 (T4 板厚7mm)

試験片	番号	元距離Lo [mm]	元板幅Wo [mm]	元板厚to [mm]
0°	1	29.899	24.95	6.99
	2	29.755	24.95	6.99
45°	1	29.785	24.94	6.98
	2	30.016	24.93	6.99
90°	1	29.411	24.94	7.00
	2	30.342	24.95	7.00

表6 連続材試験前寸法 (T4 板厚7mm)

試験片	番号	元距離Lo [mm]	元板幅Wo [mm]	元板厚to [mm]
0°	1	30.824	24.97	7.01
	2	29.695	24.96	6.99
45°	1	30.046	24.95	7.00
	2	28.958	24.96	7.00
90°	1	29.688	24.96	7.01
	2	30.089	24.96	7.01

表4 スラブ材試験後寸法 (T4 板厚7mm)

試験片	番号	距離L [mm]	板幅W [mm]	板厚t [mm]
0°	1	34.399	23.62	6.43
	2	34.255	23.64	6.44
45°	1	34.285	23.77	6.36
	2	34.516	23.77	6.38
90°	1	33.811	23.63	6.44
	2	34.842	23.64	6.45

表7 連続材試験後寸法 (T4 板厚7mm)

試験片	番号	距離L [mm]	板幅W [mm]	板厚t [mm]
0°	1	35.424	23.27	6.57
	2	34.195	23.28	6.55
45°	1	34.546	23.87	6.43
	2	33.258	23.85	6.45
90°	1	34.188	23.57	6.47
	2	34.589	23.61	6.52

表5 r値計算結果

r 値 距離より	r 値 板厚より
0.6413	0.656
0.6206	0.6581
0.5186	0.5165
0.5177	0.5218
0.6313	0.6471
0.6393	0.6591

表8 連続材r値計算結果

r 値 距離より	r 値 板厚より
1.0281	1.0877
0.9756	1.0717
0.4643	0.5210
0.4894	0.5559
0.6835	0.7148
0.6638	0.7673

図8のr値の計算式よりスラブ材の試験結果を表5に示す。

r値の計算式は距離と板厚から求めることができるが板厚から求めるほうが少しではあるが高い数値となった。

表8は連続材のr値計算結果であるがスラブ材と同様距離からr値を求めるより板厚から求めた時が高い数値となった。スラブ材のr値の試験結果と連続材を比較するといずれも連続材が高い数値を示し、成形性が良いことを確認した。

距離から圧延方向ごとのr値を求めた結果、45°と90°の連続材とスラブ材のr値の差異はないが0°方向(铸造方向)は連続材が良い結果となった。

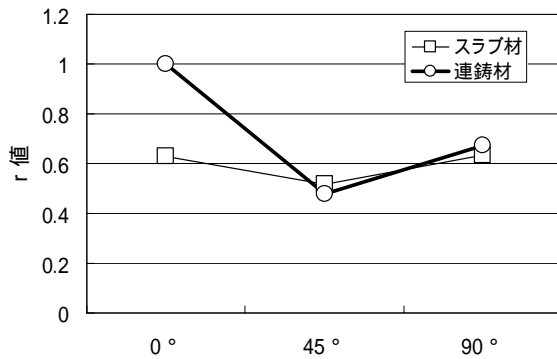


図9 連鑄材とスラブ材の圧延方向での r 値

「連続鑄造によるアルミニウム系高強度材料の開発」成果報告書,p.57-59(2005)

3) アルミニウムの組織と性質, 軽金属学会,p.477(1991)

4) 林央: 材料特性値の基礎, プレス技術,31(5),p.22-23(1993)

## 6. まとめ

- (1) 連続鑄造試作材を溶体化温度 560、溶体化時間 4 時間、時効温度 200、時効時間 6 時間に設定した条件が引張応力でピークが 313.4 N/mm<sup>2</sup> 耐力が 292.3 N/mm<sup>2</sup> で高い数値を示した。
- (2) スラブ材の r 値の試験結果と連続鑄造材を比較するといずれも連続鑄造材が高い数値を示し、プレス加工での成形性が良いことを確認した。
- (3) 調質の機械的性質は T 6 処理した時に連続鑄造材がスラブ材より引張・耐力・伸びで同等以上の数値を示した。
- (4) 今回の試作鑄造では板材のごく一部にふくれ(気泡)など不良が発生したので今後は不良の原因を解析し、アルミニウム材の品質の向上を図る。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、試作鑄造、試料提供にご協力いただきました K 社に厚くお礼申し上げます。

また、本研究は財団法人 J K A から競輪等の収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けた設備を利用して研究を行いました。

## 文 献

- 1)平成 15 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業  
「連続鑄造によるアルミニウム系高強度材料の開発」成果報告書,p.51(2004)
- 2)平成 16 年度地域新生コンソーシアム研究開発事業