

## Al-Mg-Si 合金の押出し性と集合組織に及ぼす Zr の影響

小林義一\*・堀内富雄\*\*

## Effects of Zr contents on the extrudability and the texture of extruded Al-Mg-Si alloys

Yoshikazu KOBAYASHI, Tomio HORIUTI

Al-Mg-Si alloys which have various Zr contents were extruded under various reduction ratios. And Extrudability and texture of extruded plates were examined.

The following results were obtained.

- (1) The texture developed on the surface of extruded plate is (110) [112] at low extrusion ratios and is (100) [001] at high extrusion ratios.
- (2) When Zr is not contained, extruded plate has no texture both on the surface and in the center at 600 °C extrusion but when the plate contains Zr the surface has (110) [112] and the center has (113) [211]. And Zr can delay recrystallization of extruded plates.

キーワード：Al-Mg-Si 合金，集合組織

## 1. 緒 言

Al-Mg-Si 合金は、押出し性が良好で熱処理により適度の強度を持ち、かつ耐食性が良好のためアルミサッシやアルミ車両などに広く利用されている。

一方、この合金の押出し加工は、熱間で行われるために、押出し加工中の再結晶により、板表面の肌荒れや強度が問題になることがある。

この合金の不純物元素による影響については、時効硬化や機械的性質におよぼす Mn, Fe, Au, Cu などの影響についての研究は認められるが<sup>1)~4)</sup>、Zr による影響についてはあまり報告されていない。そこで、Al-Mg-Si 合金に結晶粒微細化や再結晶防止が期待される Zr を添加した合金を溶解鋳造し、円形状のピレットから板状の押出し材を熱間押出しして、得られた押出し板の X 線回折および X 線ディフракトメータによる極点図を作成して、押出し板の再結晶や集合組織におよぼす Zr の影響について調べた。

## 2. 試料と実験方法

## 2-1 試料の作成

99.99% Al, 99.9% Mg および Al-24.3% Si 母

合金を使用して、Al-1.0% Mg-0.5% Si 合金を目標に、内面をアルミナでライニングした20番黒鉛るつばを使用して、一回の溶解量 6 Kg を電気炉により溶解した。

Zr の添加は、得られた合金に Al-4.85% Zr 母合金を加えて、Zr の量が0, 0.1, 0.2および0.3%になるように4種類の合金を作成した。

溶湯の温度は760°Cで鋳込み温度は720°C、金型温度はほぼ200°Cとした。また金型は直径45mm長さ160mmのものを使用した。金型鋳造後560°Cで16時間の均質化処理を行ってのち、直径40mm、長さ80mmのピレットを切削加工で作成した。表1に試料の化学分析値を示す。

## 2-2 押出し加工

内径40mmの円形コンテナから板状の押出し材を押出し加工した。加工度の影響を調べるために、押

表1 試料の化学分析値 (%)

No	Mg	Si	Zr	Zn	Fe	Al
Z0	1.10	0.59	0.00	0.123	0.055	bal.
Z1	0.96	0.59	0.20	0.124	0.052	bal.
Z2	0.92	0.63	0.27	0.123	0.098	bal.
Z3	0.80	0.65	0.31	0.124	0.055	bal.

\* 機械工学科教授

\*\* 電子制御工学科助手

原稿受付 1997年9月30日

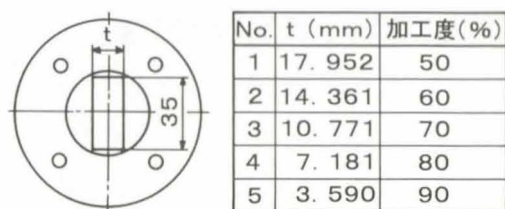


図1 ダイスの寸法

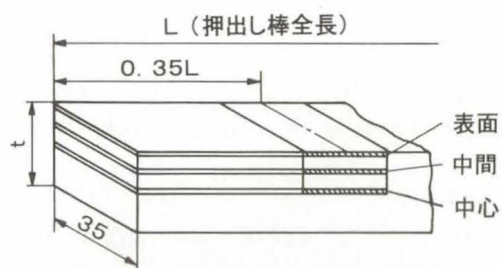


図2 極点図用試料の採取位置

出し板の幅を35mmと一定にして、厚さを少しずつ変えて加工度が50, 60, 70, 80および90%になるような5種類のダイスで押し出した。今回作成したダイスを図1に示す。

押し出し温度は600°Cと一定であり、押し出し速度はビレットの移動速度で20~30mmとした。また潤滑剤としては黒鉛を使用した。

### 2-3 押し出し板の集合組織

円形コンテナによって押し出された押し出し板の集合組織が、加工度、Zrおよび押し出し板の表面、中間、中心の位置によってどのように変化するかを調べるために、各条件で押し出した押し出し板の先端から押し出し板全長の35%の位置より、ワイヤーカットで厚さほぼ0.2mm長さ40mmの薄板状の試験片を切り出した。その後1%のカセイソーダ水溶液で軽く腐食してから、直径34mmの円形状試験片をハサミで切り出して極点図用試料とした。

極点図は、各々の試料についてX線ディフレクトメータにより Shultz の透過法と反射法により(111)と(100)の2種類の極点図を作成した。X線の測定条件はCu対陰極にNiフィルタをつけ、透過法は40Kv, 10mAで反射法は40Kv, 40mAで行った。

また、極点図を作成した位置とほぼ同じ位置の押し出し板の表面と中心から18×20mmの試験片を切り出してX線回折を行い、結晶配向性を調べた。これら試料の採取位置を図2に示す。

## 3. 実験結果と考察

### 3-1 押し出し性

円形のビレットから断面が長方形の板を押し出し加工した。その時の押し出し圧力と加工度の関係を図3に、また押し出し圧力とZrの関係を図4に示す。こ

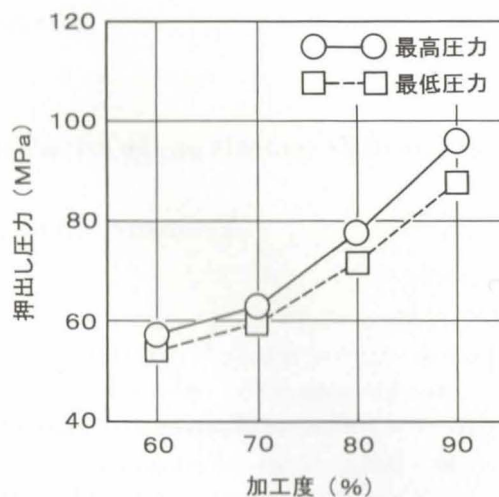


図3 押し出し圧力と加工度の関係

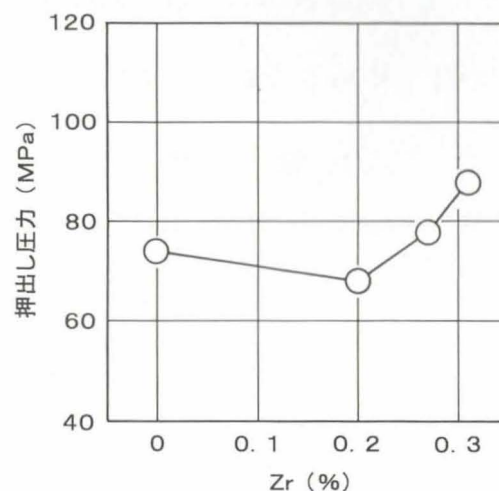


図4 押し出し圧力とZrの関係

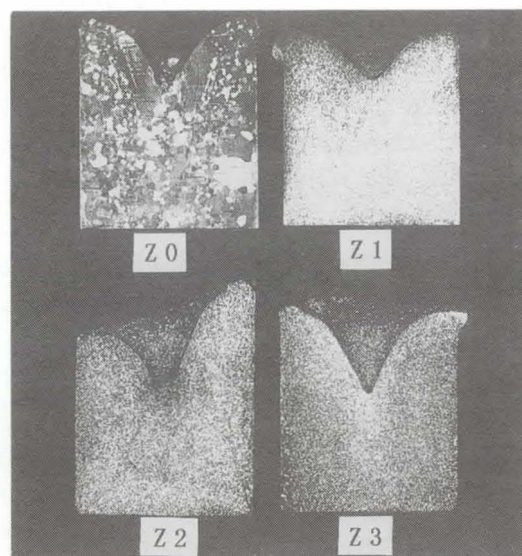


写真1 鋳造材のマクロ組織

れらによると押出し圧力は、加工度が大きくなるにつれて高くなる。また Zr が 0.2 % の時の押出し圧力が少し低く、Zr が増加するにつれて、押出し圧力は大きくなる。写真 1 は鋳造材のマクロ組織を示すが、Zr が含まれない時は、極めて大きな組織を示すものの、Zr が含まれると鋳造組織が微細化している。このことから鋳造組織は適當の大きさの時に押出し性が良いことがわかる。

### 3-2 押出し板の結晶配向性

各条件で押出した押出し板の表面と中心の試料について、押出し板の押出し方向を上向きに、板幅方向を左右にして X 線回折測定をした。1 例として図 5 に試料 Z2 (Zr 0.27%) の 50% 押出し板表面の X 線回折図形と比較のために結晶配向性のない粉末試料 (鋳造材から金ヤスリで粉末を削りだした試料) の X 線回折図形を示す。これらによると Al の (111), (200), (220), (311), (222), (400), (331), (420) の他に  $Mg_2Si$  の (111), (220), (400), (422) が認められる。しかし同じ回折面からの回折強度は、粉末試料の回折強度と比べて著しい違いのあることがわかる。例えば粉末試料では Al(111) の強度が最も高いが、押出し板では Al(111) はほんの僅かで、代わりに Al(220) が一番強い強度を示している。これは押出し板の場合は、板の表面に特定の結晶面が揃っているからである。そこで、Al の各結晶面について、粉末試料の強度に対してどのような割合になっているかを結晶配向性指数としてまとめた。図 6 は加工度を変えた時の押出し板表面と中心の結晶配向性指数を、また図 7 は Zr を変えたときの押出し板表面と中心の結晶配向性指数を示す。これらによると、加工度が高くなるにつれて、表面の (220) が強くなる。すなわち押出し板面に強度の強い (220) が現れる。また中心では加工度が高くなるにつれて (220) と共に (400) が強くなる。一方 Zr が増加するにつれて、表面は (400) が弱くなり、代わりに (220) と (311) が強くなる傾向にある。中心は Zr が増えると (220) が強く、その代わりに (400) は弱くなる。すなわち Zr が増えるにつれて再結晶粒は少なくなる傾向にある。また Zr が 0% のときは表面に強い (400) が現れており、表面に再結晶粒が多数発生していることを示している。

### 3-3 押出し板の集合組織

#### 3-3-1 加工度による影響

加工度によって押出し集合組織がどのように変化するかを調べるために、試料 Z2 (Zr 0.27%) を加工度 50, 60, 70, 80 および 90% と変えて押出した押出し板の表面、中間および中心の (111) 極点図と

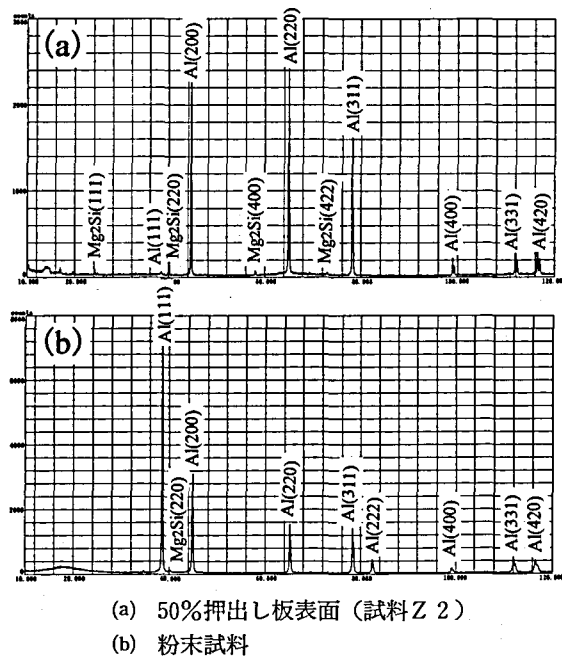


図 5 押出し板と粉末試料の X 線回折図形

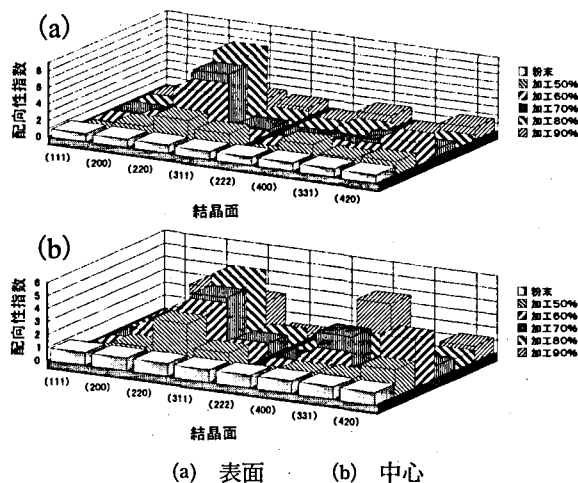


図 6 押出し板の結晶配向性指数 (加工度の影響)

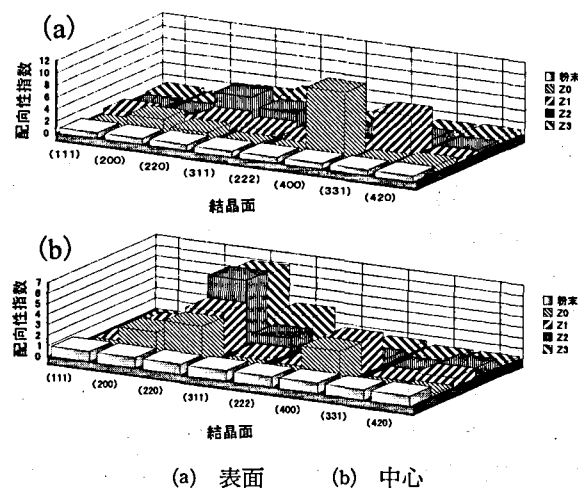


図 7 押出し板の結晶配向性指数 (Zr の影響)

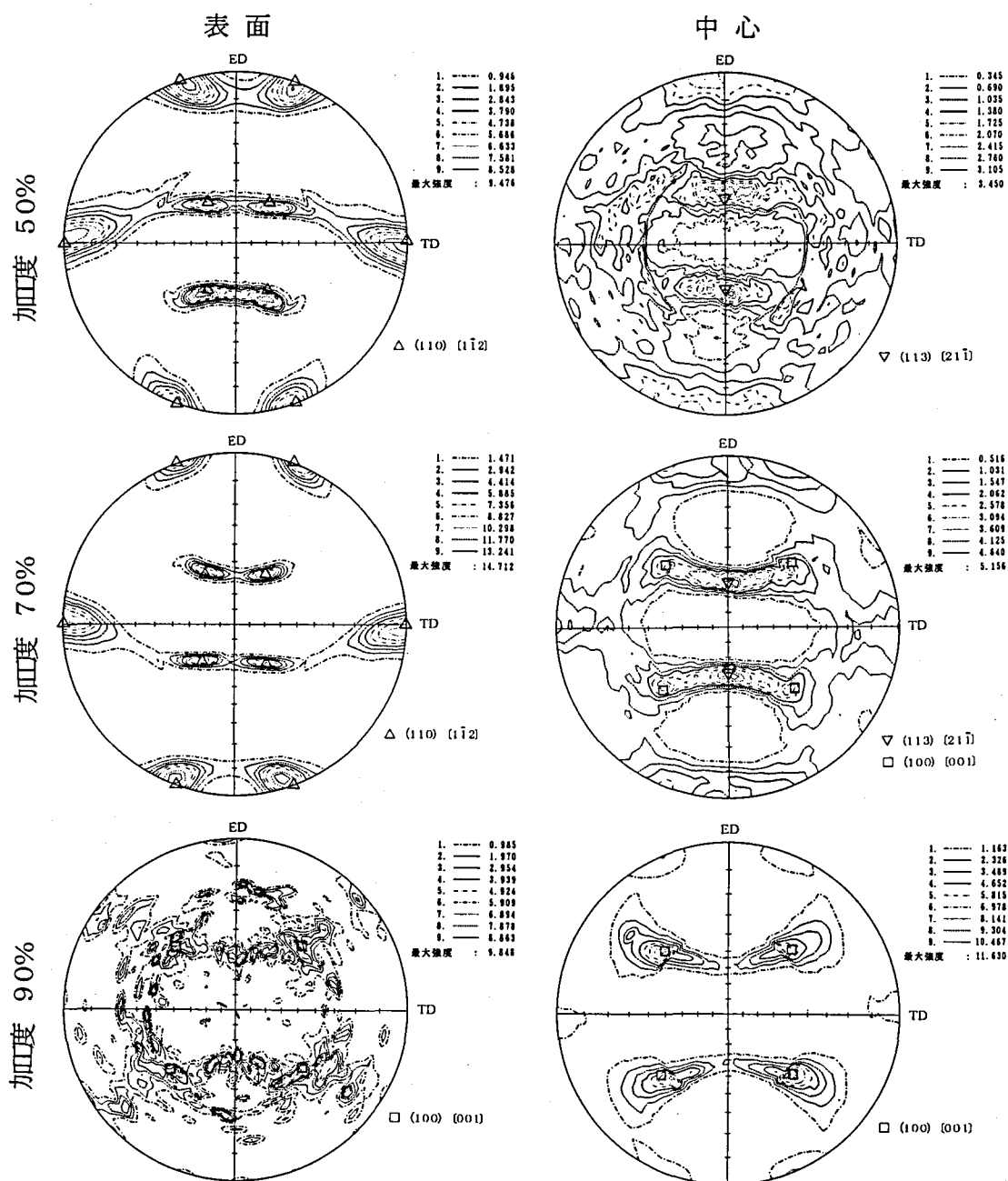


図8 加工度を変えて押出した押し板の表面と中心の(111)極点図

(100)極点図を作成した。1例として図8に加工度を変えて押出した押し板の表面と中心の(111)極点図を示す。これらによると、表面と中心の集合組織は明らかに違うことが判る。

表面は、加工度が50%から70%までは、(110) [112] が認められる。この集合組織は冷間圧延したAl板(2S)の中心部の優先方位である<sup>9)</sup>と言われており、今回のような押し板でも、表面は圧延板と同じ優先方位を示すことがわかった。加工度が80%になると(110) [112] の他に(100) [001] も認められ、加工度が90%になると(100) [001] のみの再結晶集合組織となる。

一方中心は、50%から60%までは(113) [211] が認められるが、加工度が70%になると(113) [211] の他に(100) [001] のはっきりした再結晶集合組織が認められる。この中心の優先方位は、純Alを角形コンテナから板状に押出したときの優先方位<sup>9)</sup>と同じである。

中間では中心の集合組織とほとんど変わりはない。これら加工度による集合組織の変化の様子をまとめると表2のようになる。

### 3-3-2 Zrの影響

Zrの含有量によって集合組織がどのように変化するかを調べるために、Zrを変えて押出した押し

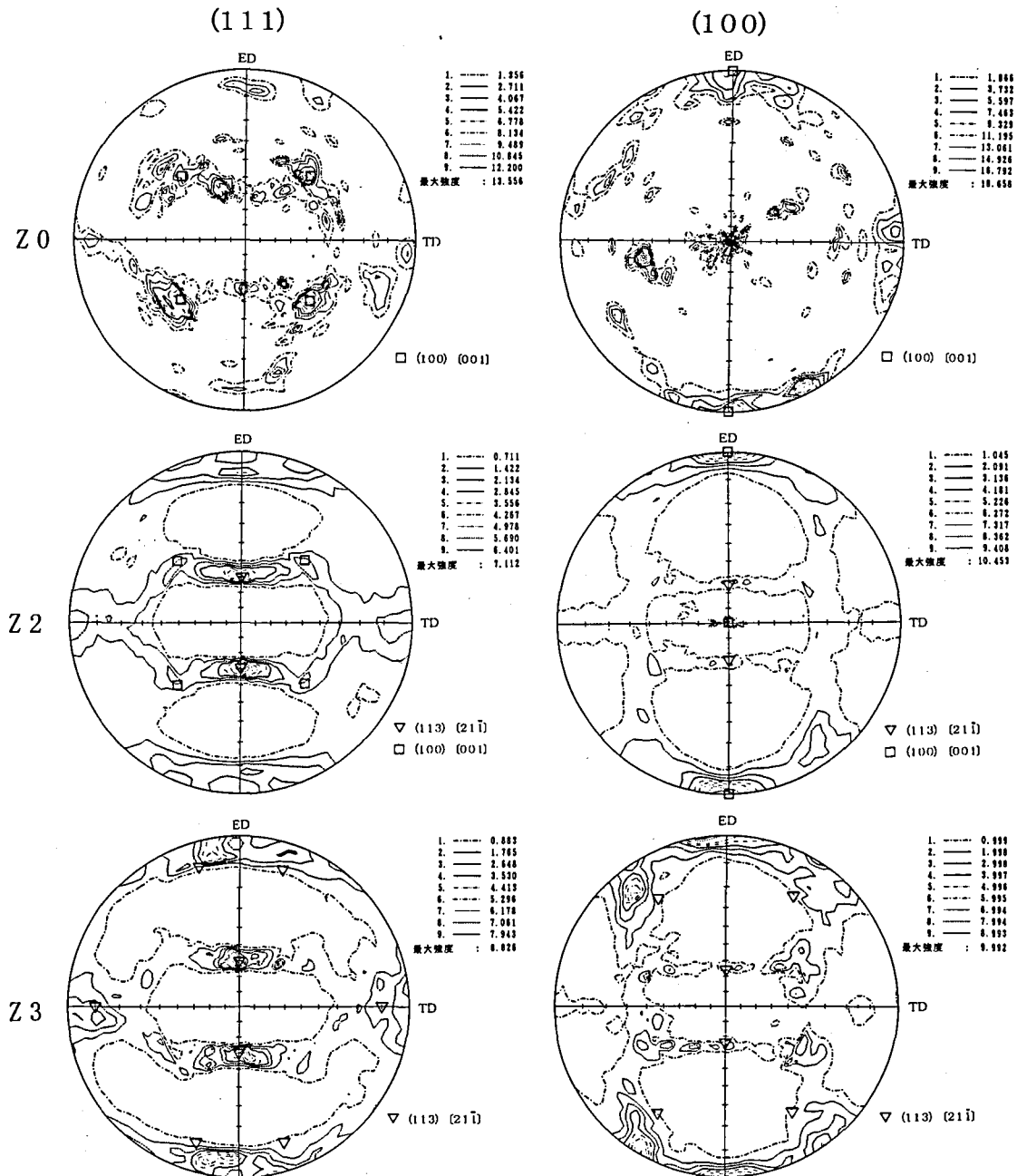


図9 Zrを変えて押出した押し板中心の(111)極点図と(100)極点図

表2 集合組織の変化(加工度の影響)

加工度	表面	中心
50%	(110)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ]	(113)[21 $\bar{1}$ ]
60%	(110)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ]	(113)[21 $\bar{1}$ ]
70%	(110)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ]	(113)[21 $\bar{1}$ ], (100)[001]
80%	(110)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ], (100)[001]	(113)[21 $\bar{1}$ ], (100)[001]
90%	(100)[001]	(100)[001]

表3 集合組織の変化(Zrの影響)

No	表面	中心
Z0	—	(100)[001]
Z1	—	(100)[001]
Z2	(110)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ]	(100)[001], (113)[21 $\bar{1}$ ]
Z3	(110)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ]	(113)[21 $\bar{1}$ ]

し板の表面と中間および中心の(111)極点図と(100)極点図を作成した。1例として図9にZrを変えて押出した板の中心の(111)と(100)の極点図を示す。これらによると表面は、Zrが含まれないときには集合組織は認められないが、試料Z2 (Zr 0.27%)

以上になると(110) [ $\bar{1}\bar{1}2$ ] 集合組織が生じてくる。

中心ではZrが少ないと(100) [001] のみであるが、Zrが増えると(100) [001] の他に(113) [21 $\bar{1}$ ] が認められるようになり、試料Z3(Zr 0.31%) になると(113) [21 $\bar{1}$ ] のみとなる。すなわちZrの含



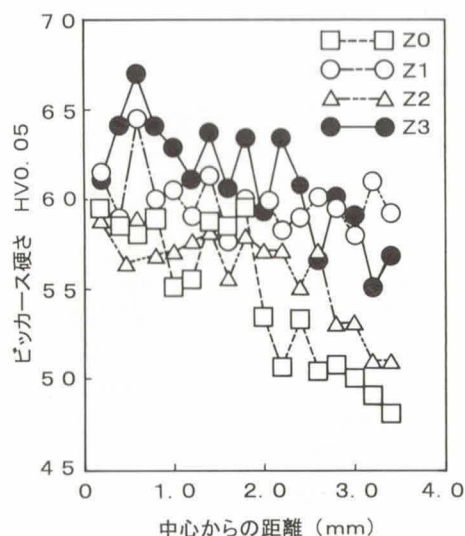


図10 押し出し板横断面の中心から表面への硬さの変化

有量の増加とともに(100)〔001〕から(113)〔211〕へと変化してゆき、Zrは再結晶を押さえる効果が大いことがわかる。これらZrが増えるにつれての集合組織の変化の様子をまとめると表3のようになる。

今回の押し出しは600°Cと再結晶温度より遥か高い温度にもかかわらず、Zrが加わると明らかな集合組織が認められたことになり、Zrは再結晶を押さえる効果が非常に大きいことが分かる。

図10は押し出し板横断面の中心から表面への硬さの変化を示す。これによると中心の硬さは高く、表面になるにつれて硬さは低くなっており、(100)〔001〕は硬さを低下させることがわかる。またZrが含まれない時の硬さは一番低く、Zrが含まれると硬さは高くなっている。これは写真2のようにZrが含まれると顕微鏡組織が微細になるためであると考えられる。

#### 4. 結 論

Al-Mg-Si合金(6061)にZrを添加した合金を作成して、これを600°Cで熱間押し出し加工し、得られた押し出し板の集合組織をX線ディフレクトメータを用いて測定したところ次のことがわかった。

- (1) ZrはAl-Mg-Si合金の結晶粒を微細化する効果がある。しかしZrが増えると押し出し性は低下する。
- (2) X線回折によると、加工度が増加するにつれて、押し出し板の表面にはAlの(220)が強く現れ、中心では(220)と共に(400)が強く現れるようになる。

Zrが0%のときは、押し出し板表面に強いAlの

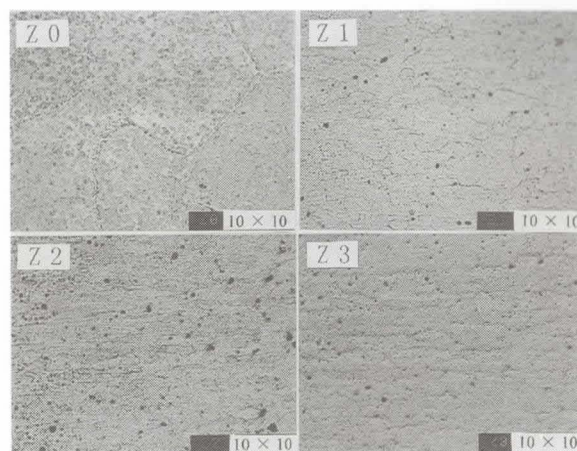


写真2 押し出し板の顕微鏡組織

(400)が現れるが、Zrが増加するにつれて(400)が弱くなり、代わりに(220)と(311)が強くなる傾向にある。中心はZrが増えると(220)が強くなる。

(3) Al-Mg-Si合金板の押し出し集合組織は、表面では加工度が50%から70%までは冷間圧延した純Al板(2S)の中心と同じ(110)〔112〕であるが、加工度が80%になると(110)〔112〕の他に(100)〔001〕も生じ、加工度が90%になると(100)〔001〕のみとなる。

中心では加工度が低いときは(113)〔211〕のみであるが、加工度が高くなると(113)〔211〕の他に(100)〔001〕が生じ、加工度が90%になると(100)〔001〕のみとなる。

(4) Zrが含まれない合金は、600°C押し出しすると、再結晶し集合組織は認められないが、Zrが含まれると再結晶が押さえられ、表面には(110)〔112〕、中心には(113)〔211〕が現れるようになる。

#### 参考文献

- 1) 池野進, 松田健二, 上谷保裕, 多々静夫: 軽金属, Vol.38(1988), No.1, p.22
- 2) 鈴木寿, 伊藤吾朗: 軽金属, Vol.33(1983), No.5, p.266
- 3) 望月博, 藤川辰一郎, 平野賢一: 軽金属, Vol.21(1971), No.8, p.505
- 4) 鈴木寿, 菅野幹宏, 白石泰久, 塙健三: 軽金属, Vol.29(1979), No.12, p.575
- 5) H.Hu, P.R.Sperry, and P.A.Beck: Trans.AIME 194 (1952), p.76
- 6) 小林義一: 長野工業高等専門学校紀要第30号 (1996), p.1