

# アルミニウムおよびアルミニウム合金の 押出しに関する研究(第2報)

## 6063合金押出し材の集合組織

小林 義 一\*

### Studies on the Extrusion of Aluminum and Aluminum Alloys (2nd report)

#### Texture of Extruded 6063 alloy

Yoshikazu Kobayashi

## 1. 緒 言

アルミニウムおよびその合金は押出し加工や引抜き加工により集合組織が生じ、そのために加工材の機械的性質が向上する長所がある。その反面、圧延により生ずる集合組織は深絞りやのさいの耳の発生の原因になるなど好ましくない影響も与える。集合組織をつくる例としては、引抜きにより $\langle 111 \rangle$ 集合組織をつくり線の強さを高めたり、<sup>(1)</sup> また $\langle 100 \rangle$ 集合組織をつくることによってねじり強さを高める<sup>(2)</sup> こともできる。一方、押出し材において $\langle 100 \rangle$ 集合組織の強さを押出し材の各位置について調べることににより押出し加工中の再結晶現象を知る<sup>(3)</sup> こともできるなど、アルミニウムおよびその合金の集合組織を調べることは非常に大切なことである。

筆者はすでに99.8%アルミニウムの押出し条件と集合組織について報告した。<sup>(3)</sup> 今回は建築用型材などに著しい伸びを示している6063合金の押出し条件と集合組織について実験したのでその結果を報告する。

## 2. 試料と実験方法

試料は連続铸造した直径95mmの6063合金を使用した。この試料の化学分析値を表1に示す。これを押出し装置の関

表1 試料の化学分析値 (%)

係と表面の柱状晶や偏析の影響を除去するため、直径40mm、長さ80mmのピレットに切削加工した。その後490°

Si	Fe	Cu	Ti	Mg	Al
0.40	0.18	<0.005	0.017	0.62	残り

C, 8hrの均質化処理を行なった。加工度は80%および92%の2種類とし、押出し温度としては、実際現場操業に近い温度で、平衡状態図からみて固溶体範囲となっている520°Cと、これよりも低くMg<sub>2</sub>Siが析出すると考えられる400°Cおよびこれらを40°Cづつに等分して480°Cと440°Cの4種類とした。使用した押出し装置は前報<sup>(4)</sup>と同じであり、押出し速

\* 機械工学科

度としてはピレットの移動速度では 13~16mm/min, 押出されてでてくる押出し材の速度では加工度80%のとき 65~85mm/min, 加工度92%のとき160~200mm/min である。また潤滑剤としては黒鉛を使用した。

このようにして押出した押出し材の先端部と中央部について, X線ディフレクトメータによって極点図を作成し, 押出し集合組織の変化を調べ, また引張強さやかたさを調べて集合組織との関係について検討した。

極点図用試料としては, 押出し材の先端部と中央部から注意深くなるべく加工歪の入らないように切り出し, エメリーペーパーとバフで仕上げしてから電解研磨を行なって表面加工層の影響を除去したものをを用いた。使用したX線は Cu 対陰極で Ni フィルター, 電圧 30KV, 電流 8mA とした。

### 3. 極点図の作成

試料の全極点図形をつくるためには透過法および反射法を用いるのであるが, 本実験においては, 試料の関係上, 反射法により {111} 面の極点図を作成した。

反射法は Shultz 法により, その原理図を図1に示す。図1において, 試料をB軸(試料面法線)およびA軸(水平軸)の回りに回転し, B軸の回りの回転角を $\beta$ , A軸の回りの回転角を $\alpha$ とする。角 $\alpha$ は試料が水平位置のとき $0^\circ$ で垂直位置のとき $90^\circ$ とし, 角 $\beta$ はA軸から測った角度である。なおX線源は点焦点を用い, 発散X線によって試料面を照射し, 試料面全域の情報を得るために試料を振動させた。

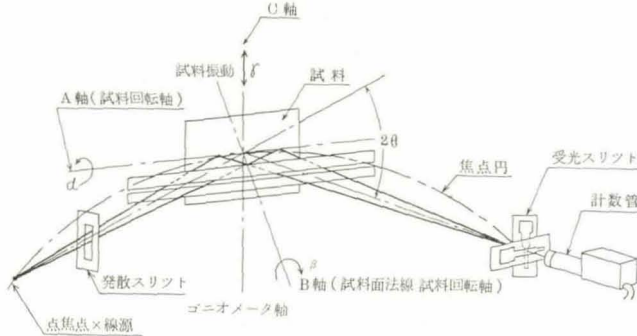


図1 反射法の原理図

測定としては, まずA軸を $30^\circ$ の位置にセットし, B軸の回りに1回転( $\beta=0^\circ\sim 360^\circ$ )させる。次にA軸を $35^\circ$ にセットし, B軸の回りに1回転させる。このようにA軸を $30^\circ$ から $5^\circ$ おきに $90^\circ$ まで増し, そのつどB軸の回りに1回転して, そのときのX線回折強度を測定しチャート紙に記録する。図2はその一例であり, 加工度92%で, 押出し温度を $520^\circ\text{C}$ として押出した押出し材の中央部を $\alpha=45^\circ$ にセットしたときの記録である。このようにしてえられたX

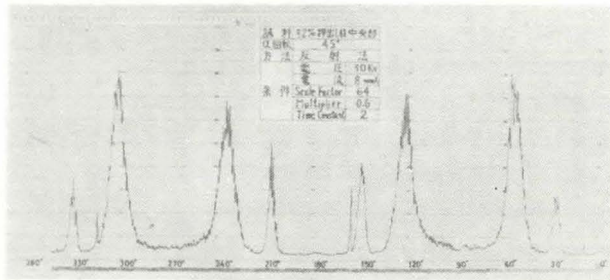


図2

線回折強度をポラーネット上に図3に示すような  $\alpha$ ,  $\beta$  の関係によって記入し、極点図を作成した。

## 4. 実験結果とその考察

### 4-1 押し出し条件と集合組織

図4および図5は押し出し温度 400, 440, 480 および 520°C で押し出した押し出し材の先端部と中央部の {111} 面の極点図であり、図4は加工度80%の場合そして図5は加工度92%の場合を示す。これらの極点図において試料の押し出し方向は上下に、半径方向は左右に示されている。いずれの極点図においても外側と内側の2つの集積帯が存在するが、このうち外側の集積帯は

$\langle 100 \rangle$  集合組織を、内側の集積帯は  $\langle 111 \rangle$  集合組織を示す。また  $\langle 100 \rangle$  と  $\langle 111 \rangle$  を示す集積帯の内部に集積度の高い部分があり、6063合金の押し出し材は  $\langle 111 \rangle$  と  $\langle 100 \rangle$  の2重集合組織を示すとともに cyclic fiber texture を示すことがわかる。この集積度の高い部分については K. Dies<sup>(6)</sup> らが Al-Mg-Si 系合金の直径 20mm の押し出し材について研究しているが、本実験においてもその結果とほぼ同じように (178)[ $\bar{1}1\bar{1}$ ], (112)[ $\bar{1}1\bar{1}$ ], (213)[ $\bar{1}1\bar{1}$ ], (001)[100], (012)[100] および (011)[100] が認められる。

次に各集積帯の強さに着目すると、強さは押し出し温度や加工度によって変化している。まず加工度80%の先端部について集積帯の中の最高X線強度をみると、 $\langle 100 \rangle$  では押し出し温度 400°C のとき相対値で 2.7 であるが、440°C で 3.0, 480°C で 3.9 そして 520°C で 4.8 というように押し出し温度が高くなるにつれて強さは高くなっている。一方  $\langle 111 \rangle$  では押し出し温度 440°C のとき 9.5, 480°C のとき 9.0 そして 520°C のとき 8.5 となり押し出し温度が高くなるにつれて強さは低くなっている。また中央部についても、 $\langle 100 \rangle$  では押し出し温度 400°C のとき 3.5 であるが、440°C で 5.0, 480°C で 8.0, 520°C で 8.5 というように押し出し温度の上昇とともに最高X線強度は高くなり、 $\langle 111 \rangle$  では 440°C で 10.2, 480°C で 10.0, 520°C で 8.0 というように反対に低くなっている。この傾向は加工度92%の場合も同じである。そこで、この最高X線強度が、押し出し温度と加工度および押し出し材の位置によってどのように変化しているかを検討するために、おのおのの極点図において  $\langle 100 \rangle$  と  $\langle 111 \rangle$  の最高X線強度を合計した値を 100% としたときに  $\langle 100 \rangle$  と  $\langle 111 \rangle$  がそれぞれどのような割合になっているかを計算してみた。その結果を表2に示す。これによると加工度80%の場合も92%の場合も、また先端部も中央部も押し出し温度が高くなるにつれて  $\langle 100 \rangle$  の割合は増加し、 $\langle 111 \rangle$  の割合は減少していることがわかる。とくに加工度92%の中央部についてみると、押し出し温度 400°C のときには  $\langle 111 \rangle$  が 73% そして  $\langle 100 \rangle$  が 27% であり、 $\langle 111 \rangle$  は  $\langle 100 \rangle$  のほぼ3倍近くもあるが、440°C になると  $\langle 111 \rangle$  が 59% で  $\langle 100 \rangle$  が 41% と  $\langle 111 \rangle$  が  $\langle 100 \rangle$  よりわずかに多い程度となり、480°C では  $\langle 111 \rangle$  が 47% で  $\langle 100 \rangle$  が 53% と逆に  $\langle 100 \rangle$  の方が  $\langle 111 \rangle$  より多くなっている。そして 520°C になると  $\langle 111 \rangle$  が 34% で  $\langle 100 \rangle$  が 66% となり、 $\langle 100 \rangle$  の方が  $\langle 111 \rangle$  より2倍近くも多くなっているのが注目される。また図6は  $\langle 100 \rangle$  集合組織のみに注目して、これが押し出し温度、加工度および押し出し材の位置によってどのように変化しているかを示したものである。なお図6には比較のために純アルミニウ

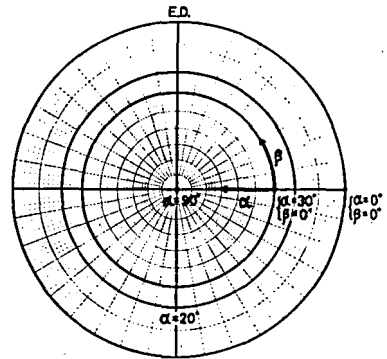


図3 極点図における角度の関係

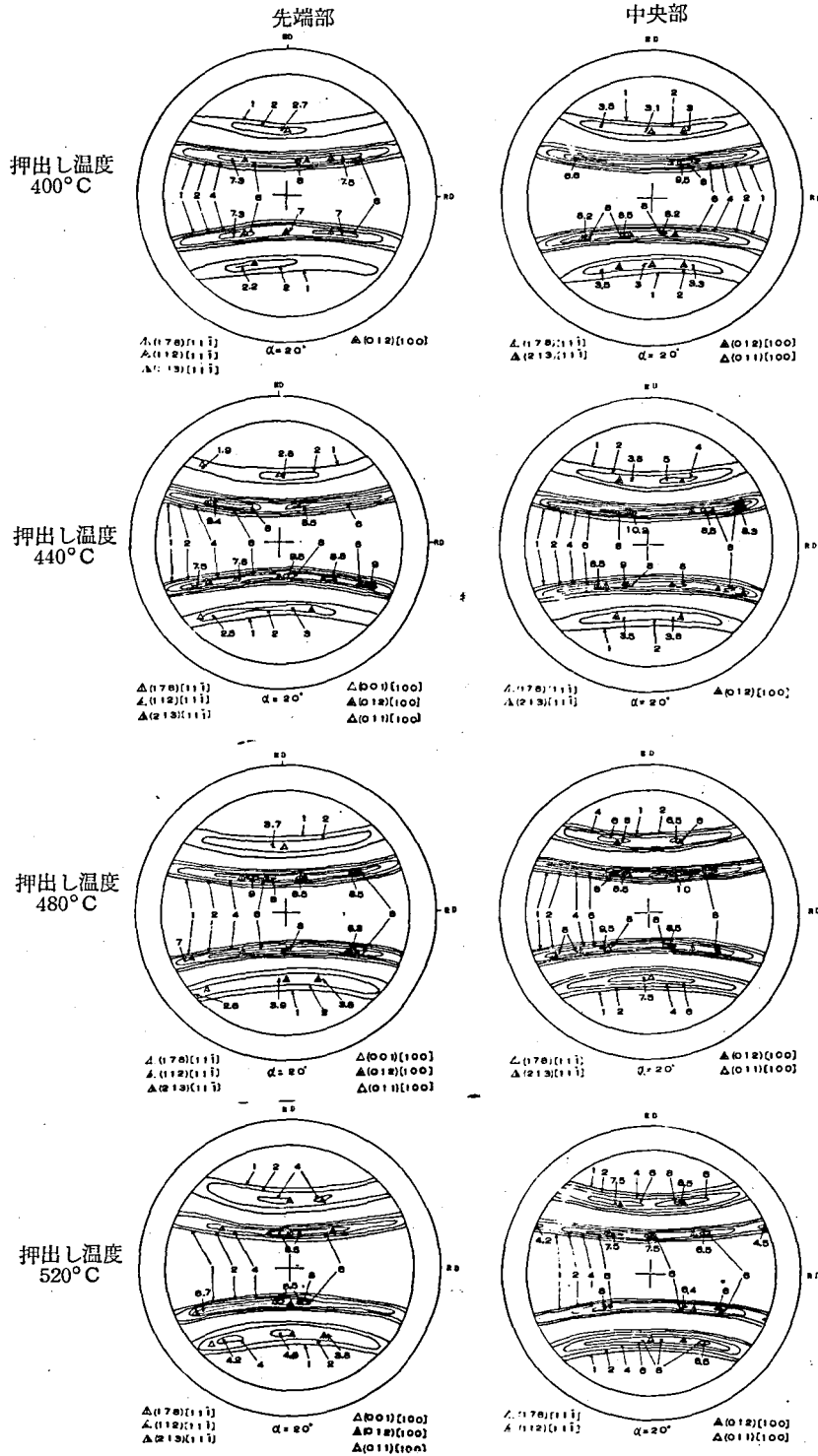


図4 6063合金押し出し材の{111}極点図  
(加工度.....80%)

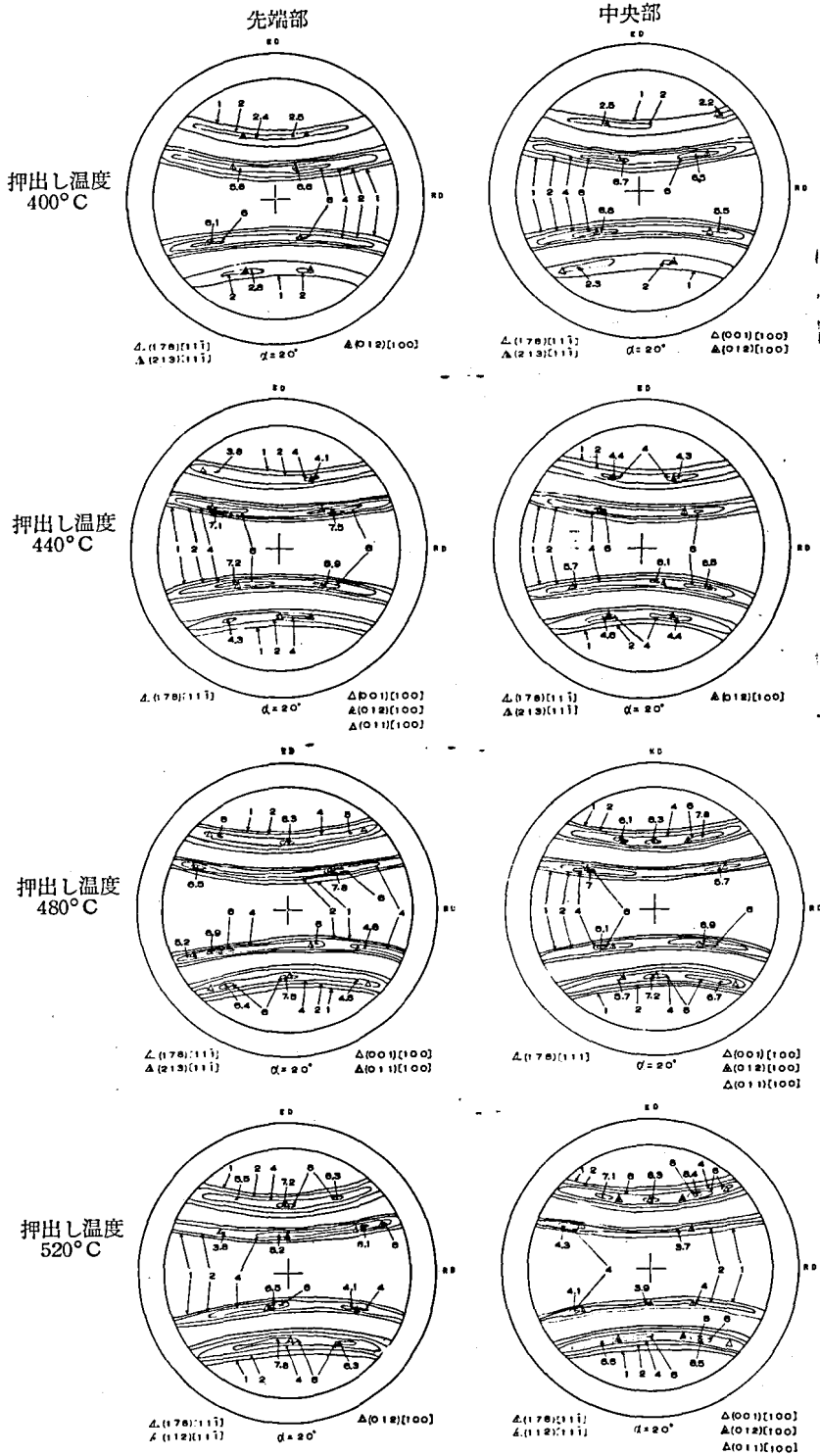


図5 6063合金押し材の{111}極点図  
(加工度92%)

表2 押し出し材の位置による集合組織の変化

加工度…80%

押し出し温度 (°C)	集 合 組 織	
	先 端 部	中 央 部
400	75%〈111〉+25%〈100〉	73%〈111〉+27%〈100〉
440	76%〈111〉+24%〈100〉	67%〈111〉+33%〈100〉
480	70%〈111〉+30%〈100〉	56%〈111〉+44%〈100〉
520	64%〈111〉+36%〈100〉	48%〈111〉+52%〈100〉

加工度…92%

押し出し温度 (°C)	集 合 組 織	
	先 端 部	中 央 部
400	73%〈111〉+27%〈100〉	73%〈111〉+27%〈100〉
440	63%〈111〉+37%〈100〉	59%〈111〉+41%〈100〉
480	51%〈111〉+49%〈100〉	47%〈111〉+53%〈100〉
520	45%〈111〉+55%〈100〉	34%〈111〉+66%〈100〉

ムの結果<sup>(3)</sup>をあわせて記入した。これによると〈100〉は(1)押し出し温度が高くなるにつれて、(2)押し出し材の先端部から中央部になるにしたがって、(3)加工度が高くなるにつれて、その強さは増大していることがはっきりわかる。また図6から6063合金押し出し材の〈100〉の発生割合は純アルミニウムの場合よりはるかに多くなっていることもわかる。

〈100〉や〈111〉のできる原因や割合については W. R. Hibbard<sup>(6)</sup> や C. J. Mc Hargue<sup>(7)</sup> らが引抜き材や押し出し材について実験しており、〈100〉集合組織は押し出し加工中の再結晶により生じ、〈111〉は変形集合組織であるとしている。筆者<sup>(3)</sup>も99.8%押し出し材について詳細な実験を行ない〈100〉は再結晶集合組織であることを確認した。

以上により、6063合金押し出し材は押し出し加工中に再結晶しており、加工度が高くなるほど再結晶しやすくなり、さらに純アルミニウムよりも再結晶しやすいということがわかった。

#### 4-2 〈100〉集合組織と機械的性質

図6により〈100〉集合組織は押し出し材の位置、押し出し温度および加工度などにより変化があることがわかった。そして〈100〉が再結晶集合組織であることを考えると、〈100〉集合組織と機械的性質との間にもなんらかの関係があることが考えられる。そこで、押し出し材の位置と機械的性質との関係を調べてみた。図7は加工度92%で種々の温度で押し出した押し出し材の先端部、中央部および最終部から直径6mm、標点距離40mmの引張試験片を切削加工し、インストロン型万能引張試験機を使用し、引張速度2mm/minで引張試験を行ない、押

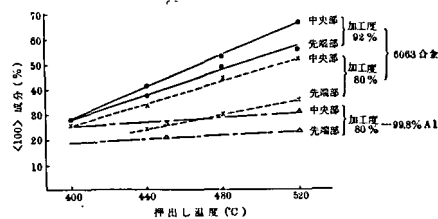


図6 〈100〉成分と押し出し温度との関係

出し材の位置と引張強さとの関係を示したものである。また図8は押し出し材の位置とかたさとの関係を示したものであり、引張試験を行なったとは同じ位置の押し出し材から、その縦断面について、手のこで試験片を切り出し、エメリーペーパーとバフで仕上げてからマイクロビッカース硬度計(荷重500g)で測定した結果である。これらによると押し出し温度が低く440°C以下の場合には、押し出し材の位置と引張強さおよびかたさとの間に相関関係は認められないが、押し出し温度が高く480°C以上になると、先端部から最終部になるにつれて引張強さは小さくなり、かたさも低くなっていく傾向が認められる。

このような押し出し材の位置と引張強さやかたさとの間の関係は、図6において<100>集合組織の強さが、押し出し温度の上昇とともに強くなり、また同一押し出し材では先端部より中央部の方が多くなっていることおよび押し出し温度が高い方が中央部と先端部の<100>の差が大きくなっていることと関係があるものと思われる。

以上のことから、押し出し材の先端部、中央部および最終部などに発生する<100>集合組織と機械的性質との関係は、<100>の強さが強くなるほど再結晶が多くおこっており、その結果押し出し材の機械的性質は低下すると考えられる。

### 4-3 X線回折

図7および図8によると、押し出し材の機械的性質は押し出し材の位置によって異なるとともに、押し出し温度によっても大きな変化が認められ、押し出し温度が高くなるにつれて機械的性質は向上していることがわかる。これは温度が高いほどMg<sub>2</sub>Siがより多く固溶し、押し出し後過飽和の状態になるからであると考えられるが、このてんをくわしく調べるためにX線回折を行なった。X線回折は加工度92%および80%、押し出し温度400、440、480および520°Cについて行ない、一例として加工度80%、押し出し温度400°Cのものを図9に示す。図9の解析の結

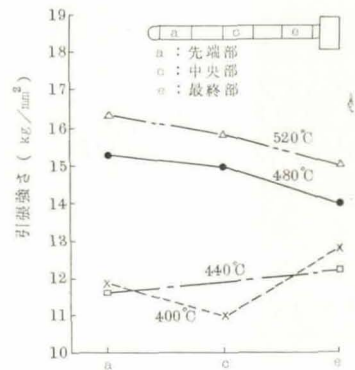


図7 押し出し材の位置と引張強さの関係 (加工度92%)

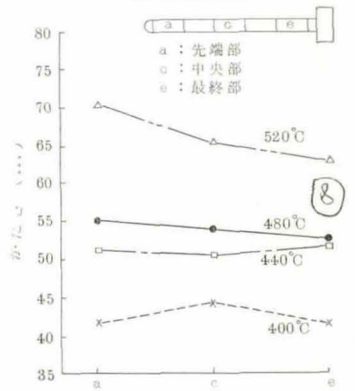
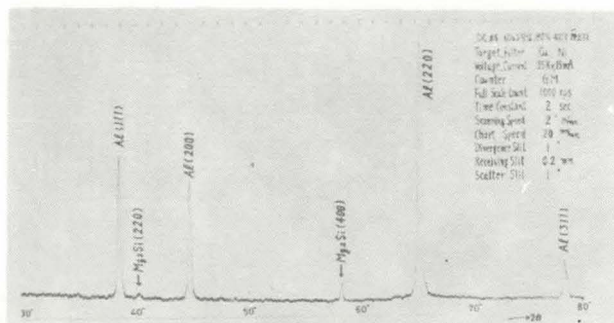


図8 押し出し材の位置と硬さの関係 (加工度92%)



(押し出し温度.....400°C)  
(加工度.....80%)

図9 6063合金押し出し材のX線回折

果は Al と Mg<sub>2</sub>Si の回折が認められる。そこで Mg<sub>2</sub>Si の X線回折強度に注目し、これが加工度や押し温度によってどのように変化しているかを示したのが図10である。なお図10では Mg<sub>2</sub>Si の回折強度を上げるために図9のときよりも電圧と電流を上げて 35KV, 20mA で X線回折を行なった。これによると Mg<sub>2</sub>Si を示す X線回折強度は押し温度が高くなるにつれて低くなっている。これは押し温度が高くなるにつれて Mg<sub>2</sub>Si がより多く固溶されていることを意味し、押し温度が高くなるにつれて押し材の機械的性質が向上しているのとよい一致を示している。また加工度92%の場合の方が80%の場合よりも Mg<sub>2</sub>Si の X線回折強度は低くなっており、加工度が高い場合の方が Mg<sub>2</sub>Si の Al への固溶量は多くなっていることがわかる。

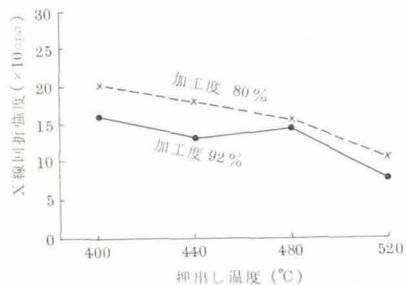


図10 Mg<sub>2</sub>Si の X線回折強度と押し温度との関係  
(回折面…Mg<sub>2</sub>sj(400)面)  
(条件…35kv, 20mA)

#### 4-4 X線マイクロアナライザー

本実験においては、連続鋳造した鋳塊を所定のピレットに切削加工後 490°C×8hrの均質化

処理をしてから各押し条件で押ししたのであるが、均質化処理後のピレットの組織がどのような状態になっているかを知っておくことは大切と思ひ、ピレットの組織を X線マイクロアナライザーと光学顕微鏡で調べた。写真1は X線マイクロアナライザーによる結果を連続鋳造のまま、560°C×8hrの均質化処理をした場合および 490°C×8hrの均質化処理をした場合について示す。

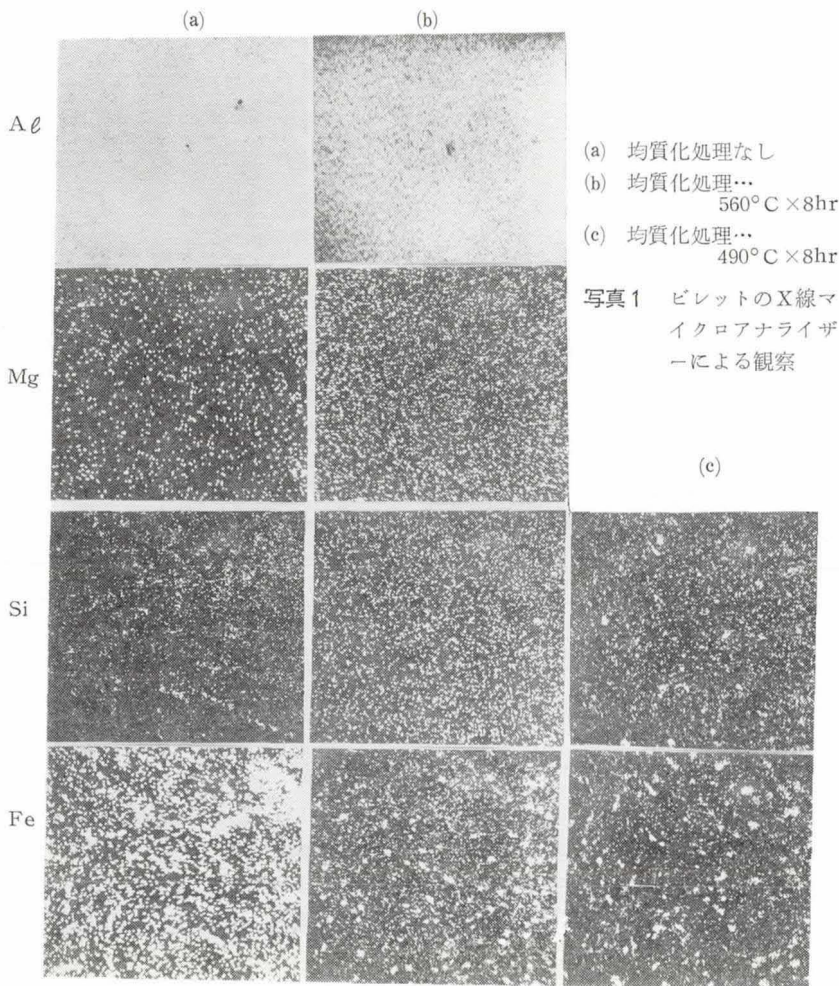
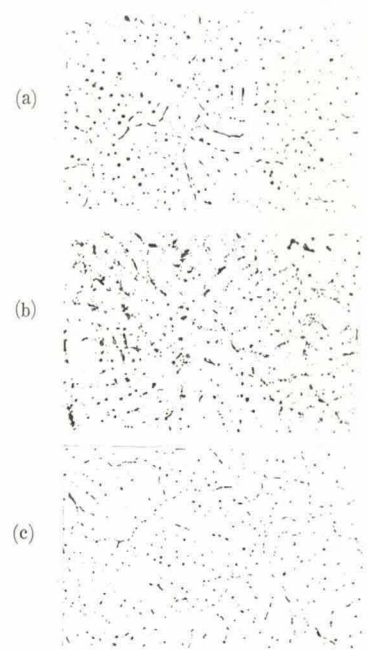




写真2は写真1と同じ均質化処理条件のピレットの光学顕微鏡組織である。これらの結果によると鑄造のままのものは、X線マイクロアナライザーの結果では、MgとSiが結晶の粒界と思われるところに不均一に分布し、さらにSiとFeはそれぞれ対応する場所に多く分布していることがわかる。光学顕微鏡による観察では結晶粒界に析出物が認められるが、X線マイクロアナライザーの結果から考えると、これは $Mg_2Si$ とAl-Fe-Si化合物であることがわかる。560°C×8hrの均質化処理の場合は、X線マイクロアナライザーの結果では、MgとSiは均一に分布し、Feの不均一分布が認められ、この均質化処理ではMgとSiは固溶されるが、Al-Fe-Si化合物は析出していることがわかる。そして光学顕微鏡で認められる析出物はAl-Fe-Si化合物が主であると思われる。490°C×8hrの均質化処理の場合は、X線マイクロアナライザーの結果では、SiとFeの不均一分布が認められ、光学顕微鏡でも結晶粒界に $Mg_2Si$ とAl-Fe-Si化合物と考えられる析出物が認められ鑄造のままの組織とあまり変化は認められない。



(a) 均質化処理なし  
(b) 均質化処理…560°C×8hr  
(c) 均質化処理…490°C×8hr

写真2 ピレットの顕微鏡組織  
(×480)

## 5. 結 論

6063合金を加工度および押出し温度を変えて押出し、えられた押出し材の先端部および中央部についてX線ディフレクトメータを使用して集合組織の極点図をかき、押出し集合組織の変化を調べ、また押出し材の引張強さやかたさなどを調べて集合組織との関係について調べたところつぎの結論がえられた。

- (1) 6063合金押出し材は $\langle 111 \rangle$ と $\langle 100 \rangle$ の2重集合組織を示すとともにcyclic fiber textureを示す。そして集積度の高いのは(178)[11 $\bar{1}$ ]、(112)[11 $\bar{1}$ ]、(213)[11 $\bar{1}$ ]、(001)[100]、(012)[100]および(011)[100]である。
- (2)  $\langle 100 \rangle$ 集合組織は、(a)押出し温度が高くなるにつれて、(b)押出し材の先端部から中央部になるにしたがって、(c)加工度が高くなるにつれて、その強さは増大する。そして押出し材の先端部から中央部になるにつれて $\langle 100 \rangle$ の強さが増大するのは、押出しの過程での再結晶によるためである。
- (3) 押出し温度が高い場合には、押出し材の先端部から中央部になるにつれて機械的性質が低下するが、これは押出し加工中の再結晶のためである。
- (4) 押出し材の機械的性質は、押出し温度の上昇とともに向上するが、これは温度が高いほど $Mg_2Si$ が多く固溶し、押出し後過飽和の状態になるからである。

この研究は東京工業大学高橋恒夫教授の御指導を受けたことを付記して深謝の意を表し

ます。なお本研究を行なうにあたって研究資金の一部として昭和43年度文部省科学研究費によったことを付記する。

### 参 考 文 献

- (1) G. Wassermann, J. Grewen, : Texturen Metallischer Werkstoffe, 2. Aufl., Berlin/Göttingen/Heidelberg 1962.
- (2) K.S.S. Harsha, B.D. Cullity : Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 1962, Vol. 224, p.1189.
- (3) 高橋, 小林 : 軽金属, 1968, Vol.18, p.81.
- (4) 小林 : 長野高専紀要, 1967, No.2, p.15.
- (5) K. Dies, P. Wincierz : Zeitschrift für Metallkunde, 1966, Vol.57, p.141 u.227.
- (6) W.R. Hibbard : Journal, Institute of Metals, 1950, Vol.77, p.581.
- (7) C.J. McHargue, L.K. Jetter, J.C. Ogle : Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 1959, Vol.215, p.831.

(44. 9. 20 受理)