

1100アルミニウムの角形コンテナによる 押出し加工と集合組織について

小林 義 一*

(平成8年9月30日 受理)

On the extrudability and the texture of 1100 aluminum plate extruded by square shaped container

By Yoshikazu KOBAYASHI

Aluminum was extruded under various reduction ratios, extrusion temperature, and the ratio of length and width of cross section of extruded plate by the square shaped container. Extrudability and texture of extruded plate were examined.

The following results were obtained.

(1) When the ratio of length and width of cross section was one, the texture of extruded plate was (213) [111] and (001) [100]. And when the ratio of the plate was higher, the texture was (213) [111], (113) [211] and (001) [100].

(2) When the extrusion temperature was higher, the microstructure of the plate was changed from the recrystallized structure of the outside to the strained structure of the center.

1. 結 言

工業用純アルミニウムは圧延や深絞りなどの塑性加工を施して使用される場合が多い。このような加工において問題になるのは、塑性異方性であり、板材の深絞りの際に発生する耳や成形性と集合組織との関係については数多くの研究がなされている^{1)~3)}。また最近では、集合組織制御によって成形加工に適した自動車用アルミニウム合金板を製造しようという研究もある⁴⁾。集合組織は、鑄造凝固、塑性加工、再結晶、相変態などの各現象が起こる際に形成されるので、押出し加工の際にも当然集合組織が形成される。然るに押出し加工の際の集合組織は、圧延加工の際の集合組織が深絞り加工の際の耳の発生に影響するというような顕著な影響がないので、わずかに引抜加工の例がある⁵⁾のみで、余り詳しい研究はなされていない。特に角形コンテナによって押出し加工した押出し板の集合組織についてはほとんど研究されていない。

一方押出し加工は、一般に熱間加工されるので、押出し温度によっては、押出し加工中に再結晶することが考えられ、その集合組織は、押出し材の表面や中心という位置によって複

* 機械工学科 教授

雑な現象を生ずることが考えられる。そこでこれらの関係を調べるために、角形コンテナによって、純アルミニウムを板状に押し出し加工し、その加工性と押し出し板の集合組織について研究したので、その結果を報告する。

2. 試料と実験方法

2-1 コンテナおよびダイスの製作

角形コンテナの影響を調べるために、角形コンテナとダイスを製作した。コンテナは、横断面の縦横の比が1:2となるように縦50mm横25mm長さ125mmとした。またダイスは、加工度と押し出し板の横断面の縦横比を変えるために、表1に示すような5種類を製作した。なお材質は、コンテナにSKD61、ダイスにSKS2を使用した。

2-2 試料の作成

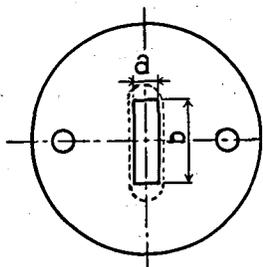
試料は、市販の99.7%の工業用純アルミニウム(分析値 Fe 0.17%, Si 0.06%, Cu tr, 残り Al)を使用した。これを内面をアルミナでライニングした30番黒鉛るつぼを使用して、1回の溶解量10kgを電気炉により溶解した。溶湯温度が760°Cに達したときに、市販のフラックスにより脱ガスしてから、溶湯温度が720°Cになったときにはほぼ120°Cに加熱した寸法35×60×160mmの金型に铸込んだ。その後560°Cで8時間の均質化処理を行って後、表面の柱状晶の影響を除去するために、表面の5mmを機械加工によって除去し、25×50×80mmの角形のピレットを作成した。またピレット長さの影響を調べるために、縦横の寸法は同じにして、長さを40mmと60mmに変えた2種類のピレットも作成した。

2-3 押し出し加工

押し出し加工は、製作した角形コンテナとダイスを使用し、押し出し加工性におよぼす押し出し温度の影響を調べるために、押し出し温度を400, 440, 480および520°Cの4種類に変え、加工度の影響を調べるために、加工度を80, 86および92%の3種類に変え、押し出し板の横断面の縦横比の影響を調べるために、押し出し板の横断面の縦横比を1, 4および16の3種類に変え、またピレットの長さの影響を調べるために、ピレットの長さを80, 60および40mmの3種類に変えて各々熱間押し出し加工を行った。

加熱は、アルミナ製炉心管にニクロム線を巻いた手製の管状電気炉によって行った。即ちピレットを挿入したコンテナをこの管状電気炉に入れて通電加熱して、所定の温度に達した後15分間保持してから、50 t 万能試験機によって加圧した。そして押し出し加工性を調べるた

表1 ダイスの寸法



No	a (mm)	b (mm)	縦横比	加工度
1	10	10	1	92%
2	5	20	4	92%
3	2.5	40	16	92%
4	6.6	26.4	4	86%
5	8	32	4	80%

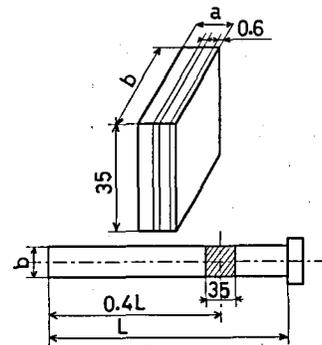


図1 極点図用試料切出し位置

めに、押し出されるときの荷重とストロークの関係を記録した。

2-4 押し出し集合組織

角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、押し出し温度、加工度、押し出し板の縦横比および押し出し板の表面と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40%の位置より、長さ35mmの板材を切り出した。この板から精密低速切断装置アイソメットにより、ダイヤモンド切断砥石を使って、中心部と表面部から厚さほぼ0.6mm長さ35mmの薄板を切り出した。切り出した板の表面をエメリーペーパーで仕上げしてから、1%のカセイソーダ水溶液に浸漬してほぼ0.25mmの薄さにした。その後直径32mmの円形にハサミで切り出してから極点図用試料とした。図1に極点図用試料を切り出した位置を示す。

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 フィルターをつけ、透過法は40Kv, 10mAで反射法は40Kv, 20mAで行った。

3. 実験結果と考察

3-1 押し出し加工性

角形コンテナにより、角形ピレットを押し出し加工して、その押し出し加工性が、加工度、押し出し温度、押し出し板の縦横比およびピレットの長さによりどのように変化するかを調べた。図2は押し出し圧力と加工度の関係、図3は押し出し圧力と押し出し温度の関係、図4は押し出し圧力とピレットの長さの関係、そして図5は押し出し圧力と押し出し板の縦横比の関係である。これらのことから、押し出し圧力は、加工度が高くなるにつれて、またピレットが長くなるにつれて高くなる。一方押し出し温度が高くなるにつれて、片対数図表で直線的に減少することがわかる。これらの傾向は、丸形コンテナでの丸棒押し出しの時とはほぼ同じような傾向を示す⁶⁾。これに対して、押し出し板の縦横比の影響では、縦横比が1から4までは、押し出し圧力に大きな変化は認められないが、縦横比が16になると押し出し圧力は著しく大きくなっている。

このように押し出し圧力が加工度、押し出し温度、押し出し板の縦横比などによって異なるので、このときの材料の塑性流れがどのようになっているかを調べた。写真1と写真2はピレットがダイスを出るときの残部ピレットのマクロ組織を示す。写真1は押し出し温度480°C、加工度92%で押し出し板の縦横比を1、4および16と変えたときの塑性流れを示し、写真2は押し出し温度480°C、押し出し板の縦横比4で加工度を80、86および92%と変えたときの塑性流れを示す。これらによると、縦横比が1と4の場合は塑性流れに大きな違いは認められないが、縦横比が16になると著しい塑性流れが生じており、押し出しのときの変形抵抗が大きなことを裏付けている。また加工度が高くなるにつれて、塑性流れが急になっており、押し出し圧力の変化と良い一致を示している。

3-2 押し出し板の集合組織

3-2-1 加工度による影響

加工度によって押し出し集合組織がどのように変化するかを調べるために、押し出し温度480°Cで加工度を80、86および92%と変えて押し出した押し出し板の(111)極点図と(100)極点図を作成した。1例として図6に加工度80%と92%で押し出した押し出し板(押し出し温度

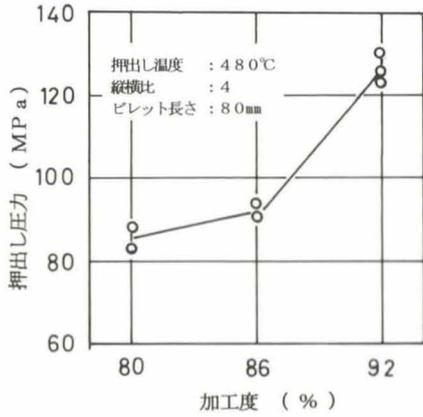


図2 押出し圧力と加工度の関係

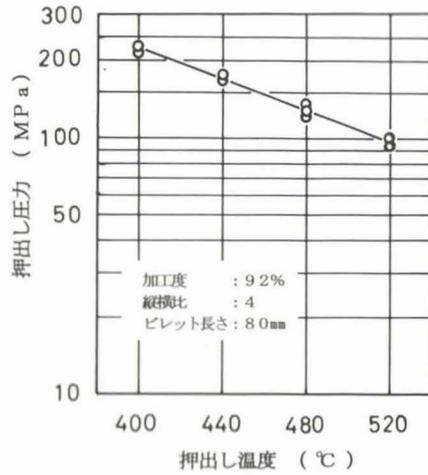


図3 押出し圧力と押出し温度の関係

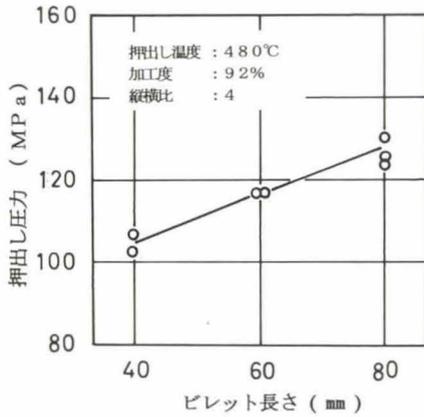


図4 押出し圧力とビレット長さの関係

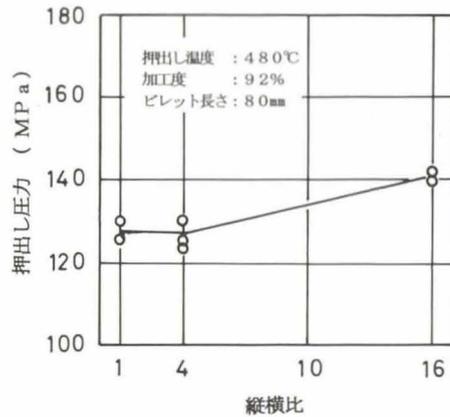
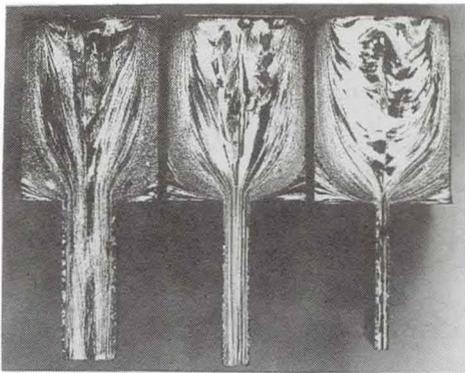
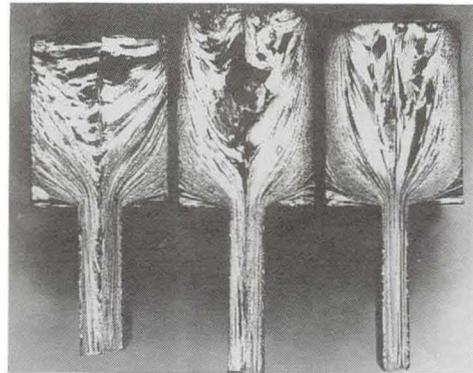


図5 押出し圧力と押し出し板の縦横比の関係



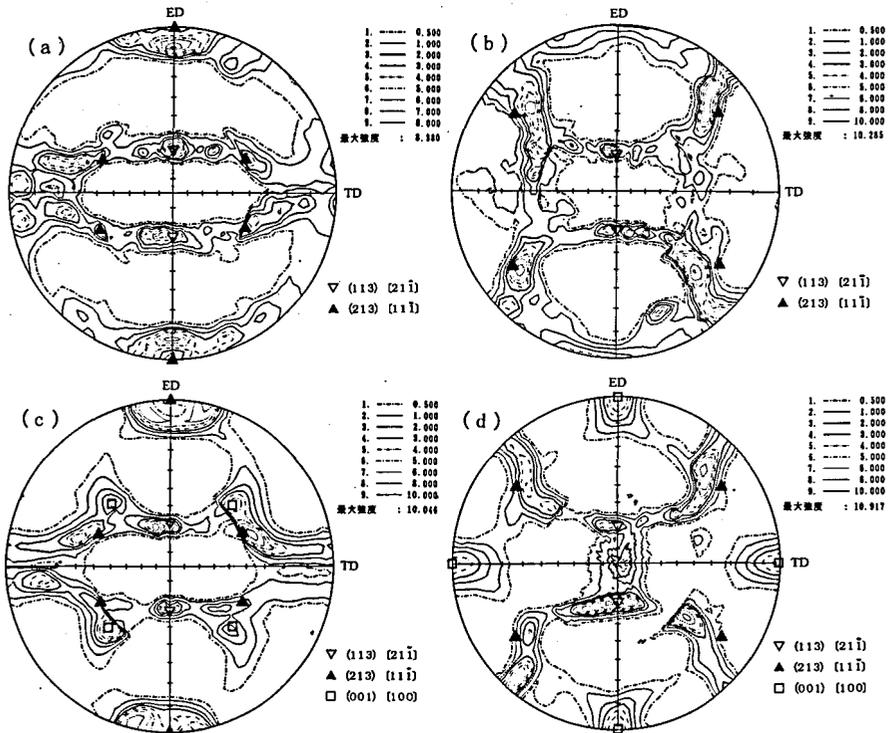
縦横比 1 4 16

写真1 残部ビレットのマクロ組織
(押出し温度480°C, 加工度92%)



加工度 80% 86% 92%

写真2 残部ビレットのマクロ組織
(押出し温度480°C, 縦横比4)



(a) 加工度80%, (111) 極点図 (b) 加工度80%, (100) 極点図
 (c) 加工度92%, (111) 極点図 (d) 加工度92%, (100) 極点図

図6 加工度を変えて押し出した押し出し板中心部の(111)極点図と(100)極点図
 (押し出し温度480°C, 縦横比4)

480°C, 縦横比4)の中心部の(111)極点図と(100)極点図を示す。これらによると、加工度80%と86%のときには主に(113)[211]方位と(213)[111]方位が認められるが、加工度92%になると新たに(001)[100]方位が生じてくる。この(001)[100]方位は、加工度80%のときには認められなく、加工度86%のときにわずかに認められるものである。従来から(001)[100]方位は、再結晶によって発生する⁷⁾と言われており、押し出し温度が一定でも、加工度が高くなると、ピレットがダイスから押し出されるときに著しい塑性変形を受ける結果、再結晶し易くなったものと思われる。

3-2-2 押し出し温度による影響

押し出し板の集合組織が押し出し温度によってどのように変化するかを調べるために400, 440, 480および520°Cで押し出した押し出し板の中心部と表面の(111)極点図と(100)極点図を作成した。1例として図7に400°Cと520°Cで押し出した押し出し板(加工度92%, 縦横比16)の中心部と表面の(111)極点図を示す。これらによると、中心部の集合組織は、押し出し温度が低い400°Cと440°Cの場合は(113)[211]方位と(213)[111]方位が認められる。押し出し温度が480°Cになるとわずかに(001)[100]方位が生じてくる。そして520°Cになると強度が大分強い(001)[100]方位が生じてくる。一方、表面では押し出し温度400°Cでは(112)[110]方位が認められ、440°Cになると(112)[110]方位はその強度が低くなっている。また押し

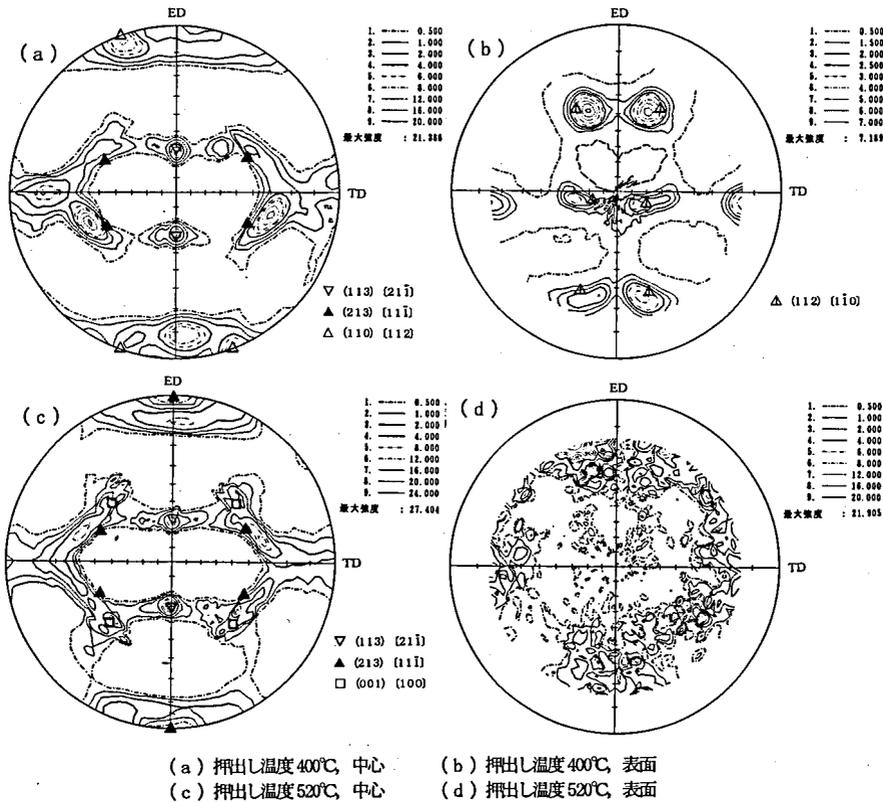


図7 押出し温度を変えて押出した押し板の中心と表面の (111) 極点図
(加工度92%, 縦横比16)

し温度480°Cでは、わずかに (112) [110] 方位が認められるが、520°Cになるともはや集合組織は認められない。このように押し板の集合組織は、押し温度とともに押し板の中心部と表面で著しく異なっていることがわかる。

3-2-3 押し板の縦横比の影響

押し板の横断面の縦横比が1の押し板は、その断面が正方形をしているが、縦横比が大きくなるにつれて、断面は長方形になり、薄板状に変化してゆく。そこで縦横比を変えた時の集合組織がどのように変化してゆくかを、押し板の縦横比が1, 4, 16の場合について、板の中心部と表面の (111) 極点図を作成して調べ、断面が円形の押し棒や冷間圧延板の集合組織との違いについて検討した。1例として図8に押し板の縦横比が1と16の押し板 (押し温度480°C, 加工度92%) の中心部と表面の (111) 極点図を示す。また比較のために加工度92%, 押し温度480°Cで押しした断面が円形の押し丸棒の (111) 極点図と加工度92%で冷間圧延した圧延板の (111) 極点図を図9に示す。これらによると中心部の集合組織は、押し板の縦横比が1の場合は、 $\langle 111 \rangle$ と $\langle 100 \rangle$ の2重集合組織を示し、押し丸棒の集合組織と似ている⁸⁾。これに対して、縦横比が4と16の場合は (113) [211] 方位と (213) [111] 方位が認められ、圧延板の集合組織に似ていることがわかる。一方、外周部では縦横比が1の場合は (213) [111] 方位と (001) [100] 方位が認められるが、縦

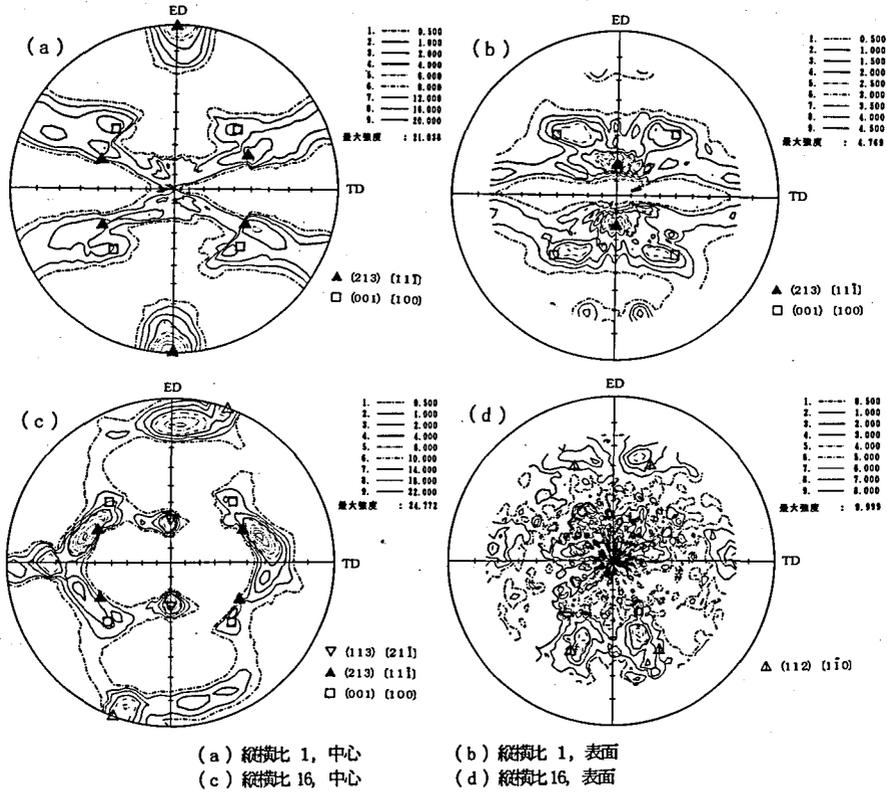


図8 押し板の縦横比を変えて押し出した押し板の中心と表面の(111)極点図
 (押し温度480°C, 加工度92%)

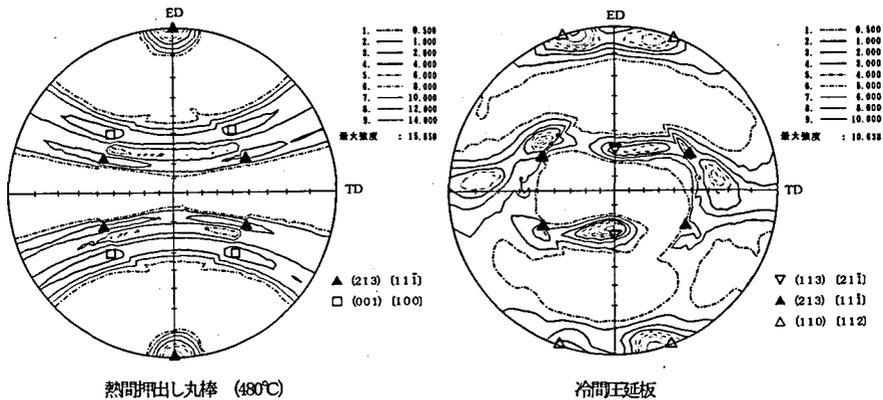


図9 押し丸棒と冷間圧延板の(111)極点図
 (加工度92%)

横比が大きくなるにつれてその強度は低くなり、縦横比が16になるとわずかな(112) [110] 方位とランダムな方位のみとなり、再結晶が進んでいることがわかる。

以上のように、押し板の集合組織は、加工度、押し温度、押し板の縦横比とともに、

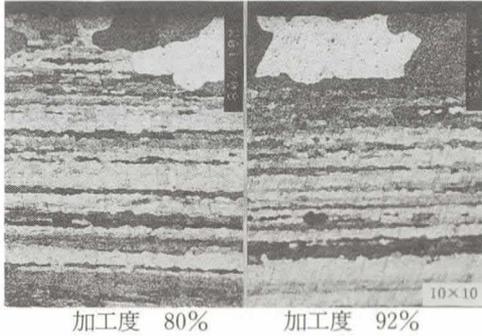


写真3 押し出し板縦断面の偏光顕微鏡組織
(押し出し温度480°C, 縦横比4)

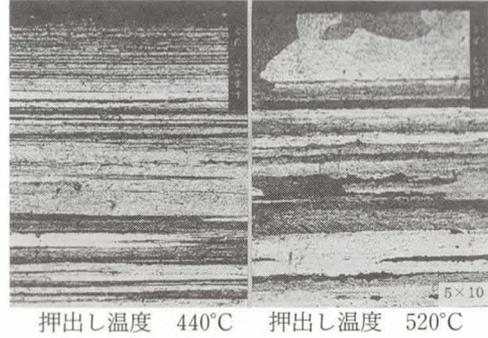


写真4 押し出し板縦断面の偏光顕微鏡組織
(加工度92%, 縦横比16)

押し出し板の中心部と表面で大きな違いが認められることがわかった。そこで、極点図を作ったとほぼ同じ位置から切り出した試料の縦断面の偏光顕微鏡組織観察を行った。1例として写真3に加工度80%と92%で押し出した押し出し板(押し出し温度480°C、縦横比4)の縦断面の偏光顕微鏡組織を、また写真4に押し出し温度440°Cと520°Cで押し出した押し出し板(加工度92%、縦横比16)の縦断面の偏光顕微鏡組織を示す。いずれも押し出し方向は左右方向に、また上側が表面、下側が中心の方向に一致している。写真3の加工度80%と92%の場合は、表面の再結晶組織、中間の著しく塑性変形を受けた組織、それに中心の押し出し方向に引き伸ばされた比較的大きな組織からなっている。写真4の押し出し温度の影響では、押し出し温度が低い400°Cと440°Cの場合は、著しく塑性変形を受けた表面と塑性変形の程度の低い中心部の2層の組織が認められるが、押し出し温度が高くなるにつれて、表面にはひずみのない再結晶粒が生成し、それに続かたちで、著しく変形を受けた組織と再結晶ではないが大きく加工された組織が続いており、全体では3層になっている。結局押し出し温度が低いときは、表面の著しく塑性変形を受けた組織と、あまり塑性変形を受けていない中心部の2層の組織になっているが、押し出し温度が高くなると、表面の再結晶組織と、その内部の著しく塑性変形を受け

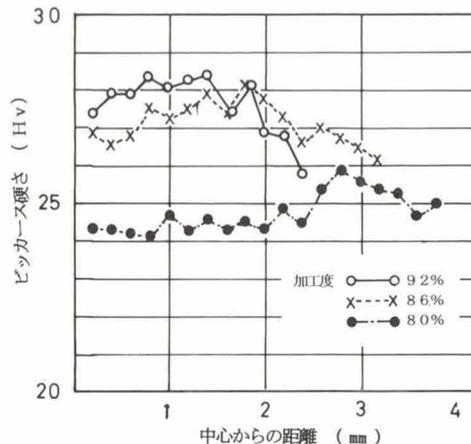


図10 押し出し板縦断面の中心から表面への硬さの変化
(押し出し温度480°C, 縦横比4)

た中間部組織と、余り塑性変形を受けない中心部組織の3層になっていることがわかる。

このような組織の変化は、次のように考えられる。即ち写真1と写真2からわかるように、ピレットがダイスから押し出される時に、外周部は著しい変形を受けるのにたいして、中心部はピレットの内部の材料が余り大きな変形を受けないで押し出されてゆくが、一般に著しい変形を受けた部分の再結晶温度は低いことが知られているので、押し出し温度が480°C以上の高温になると、著しい変形を受けた外周部は、再結晶粒が生成しやすくなったからであると思われる。

図10は、加工度80、86および92%で押し出した押し出し板の中心から表面方向への硬さの変化を測定した結果である。この図10において縦軸は押し出し板縦断面の中心の位置を、横軸は中心から表面への距離を示している。これによると、加工度が高くなるにつれて硬さは高くなるが、中心から表面への硬さの変化では、中間部が高く、次に中心部そして表面は硬さが低く、偏光顕微鏡組織観察の結果と良い一致を示している。

4. 結 論

角形コンテナにより、加工度、押し出し温度、ピレットの長さおよび押し出し板の縦横比を変えた板を押し出し加工し、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法によって極点図を作成して調べた結果、次のことがわかった。

(1) 押し出し圧力は、加工度が高くなるにつれて、またピレットが長くなるにつれて高くなる。一方押し出し温度が高くなるにつれて、押し出し圧力は片対数図表で直線的に減少する。また押し出し板の縦横比が1から4までは、押し出し圧力に大きな変化は生じないが、縦横比が16になると押し出し圧力は著しく大きくなる。

(2) 押し出し板の集合組織は、押し出し板の縦横比が1の場合は、丸棒押し出しのような $\langle 111 \rangle$ と $\langle 100 \rangle$ の2重集合組織を示すが、縦横比が4以上になると、圧延板の集合組織に似てくる。その方位は、押し出し板の縦横比が1の場合は、中心部では(213) [111]が主方位であるが、縦横比が4以上になると(113) [211]方位と(213) [111]方位が主方位となり、加工度が高くなるにつれて、また押し出し温度が高くなるにつれて(001) [100]方位が生じてくる。縦横比が4以上の表面では(112) [110]方位が主であるが、押し出し温度が高くなるにつれてその強度は低くなり、押し出し温度が520°Cになるともはや集合組織は存在しなくなる。

(3) 押し出し板の組織は、押し出し温度が低い場合は、著しく塑性変形を受けた表面層とあまり塑性変形を受けていない中心層の2層であるが、押し出し温度が高くなると、表面の再結晶層と中間の著しく塑性変形を受けた層と中心部の余り大きな塑性変形を受けていない層の3層になる。これはピレットがダイスから押し出される時に、表面部が著しく塑性変形をうけるのに対して、中心部はピレットの中央の材料が比較的スムーズにダイスを出てゆくが、温度が高くなると、著しく塑性変形を受けた表面部が、再結晶し始めるためと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 高橋恒夫, 中村 修, 橋本正興: 軽金属, Vol.18(1968), No.2, p.106
- 2) 竹島正博, 菅又 信, 金子純一, 青木頭一郎: 軽金属, Vol.29(1979), No.12, p.549

- 3) 高橋恒夫, 村上 雄, 宮川睦啓: 軽金属, Vol.29(1979), No.12, p.568
- 4) 上城太一, 福原正明: 日本金属学会研究会, 集合組織と材料特性 (1994), p.18
- 5) 稲数直次, 山本 久: 日本金属学会誌, Vol.37(1973), No.11, p.1224
- 6) 小林義一: 長野工業高等専門学校紀要, No.2(1967), p.15
- 7) W.R.Hibbard: Journal, Institute of Metals, Vol.77(1950), p.581
- 8) 高橋恒夫, 小林義一: 軽金属, Vol.18(1968), No2, p.81