6063合金押出材の諸性質に及ぼす鋳塊組織の影響*

室町 繁雄**・時沢 貢***
多々 静夫***・穴田 博***

Influence of billet structures on properties of 6063 alloy extrusions*

UDC: 669.715'721'782 : 621.777 : 620.18

Shigeo MUROMACHI, Mitsugu TOKIZAWA, Shizuo TADA
and Hiroshi ANADA

Homogenized 6063 alloy billets having feather crystals (F.C.) and granular crystals (G.C.) were hot extruded with a 1500 ton press. Extruding conditions for the F.C. billet into extrusions having granular structure are established. When extruded at a low temperature 390°C, the mechanical properties, surface roughness and anodic film thickness of extrusions are nearly the same for F.C. and G.C. billet structures. The original cast structure (121) $[1\bar{1}1]$ in the F.C. billet still remains in the extrusions. When the F.C. and G.C. billets are extruded at an elevated temperature, the extrusions have typical orientations of cold-rolled aluminum sheets in (123) $[21\bar{1}]$ and (130) $[3\bar{1}5]$. A typical hot-rolling orientation (110) $[001]$ is also found in the extrusion of the G.C. billet. Both the extrusions of F.C. and G.C. billets have nearly the same properties.

(Received August 29, 1980)

1. 緒 言

従来、加工用アルミニウム合金鋳塊については、微細で均一な粒状晶をもつ鋳塊は押出後機械的および表面的にも均一な品質を有する加工材が得られることから好まれてきた。そして、まれに発生する鋳塊の羽毛状晶、粒状晶等の混在は、一般に加工性の低下、加工後の表面模様や集合組織のパラツキを有するなどの欠点が指摘され、その防止対策がなされてきた。

また、一方では羽毛状晶の発生機構や発生を促進するような研究も進められた^{1),2)}が、加工性については異論があつた。たとえば Aust³⁾は、羽毛状晶鋳塊に90%以上の圧延加工を行なえば粒状晶鋳塊と変わらない均一な圧延材の集合組織となることをX線背面反射ラウエ法で確認している。また、本間⁴⁾は同じく圧延加工において鑄造組織は加工後も残存する傾向が強く、加工材の強度の不均一性に欠けていることから工業的な意義がないと述べている。

そこで、著者らの一人は、全羽毛状晶試料の加工性に

関する基礎実験を、引張り、圧縮および押出加工で試みた。その結果、羽毛状晶の結晶成長と平行に加工すれば、粒状晶試料に比較して引張りでは約3倍の伸び、圧縮や押出し加工では変形抵抗が低下するなど優れた加工性を示し、押出材では機械的性質も変わらないことがわかつた^{5),6),7)}。

本研究は、羽毛状晶鋳塊の加工性に関する工業的規模から見直した総合的な一連の研究である。すでに著者らは全羽毛状晶からなる直径6インチの6063合金ビレットが作製できる溶製方法と造塊条件を明確にし⁸⁾、さらに1,500トン押出機を使用して全羽毛状晶、全粒状晶およびこれらの混在した3種の6063合金ビレットを押出し、なかでも羽毛状晶の成長方向への押出しは省エネルギー、生産能率の向上に貢献できることを明らかにした⁹⁾。そこで、本報は押出材の品質に関する鋳塊組織の影響を明らかにする目的で、前報⁹⁾で得られた押出材の機械的性質、表面あらさおよび集合組織並びに表面の陽極酸化皮膜処理性と鋳塊組織の関係を検討した。

* 本論文は「全羽毛状晶からなる6063D Cビレットの鑄造と加工性に関する研究」の全3報の論文のうち第3報にあたります。

** 富山大学 (高岡市)。現在、千葉工大 (習志野市)。Toyama University (Takaoka). Presently at Chiba Institute of Technology (Narashino).

*** 富山大学 (高岡市)。Toyama University (Takaoka).

2. 実験方法

2.1 供試料

本報の供試料は前報^{8),9)}で作製された6063合金の全羽毛状晶、粒状晶およびこれらの混在した組織からなる3種類のピレットを1,500トン押出機で押出された型材である。押出方法の詳細については、すでに前報⁹⁾で報告したので、以下に押出条件を簡単に説明し、次いで試料の採取方法を述べる。押し出しダイスは押し出し比49と72の中実ダイスと、73の中実ダイスの3種類である。また、押出条件として温度は現場操業では比較的低い390℃と逆に高い450℃、ラム速度は0.45 m/minと0.65 m/minの4条件を選んだ。また、1本の押し出し型材の長さは約30m、またはそれ以上で、押し出しの初期、中期、後期の3分割して試料を切り出した。

Fig. 1 は、本研究のうち所要動力の小さい、押し出し比49

Fig. 1 Appearance of extrusions showing positions for surface roughness measurement. (extrusion ratio: 49, solid die)

の中実ダイスを使用して押し出した型材の断面形状の実例である。本報は主としてこの型材の諸性質を調べた。

2.2 表面あらさ

表面あらさの測定位置は Fig. 1 中の外側面位置①, ②, ③, ④, ⑤で②, ④は裏面リブ付, ③は平板面, ①, ⑤も裏面リブの影響の考えられる位置である。また、1本の型材での測定位置は押し出し後期に相当し、あらさの測定には Talysurf Model 4を用い、測定長さ3 mm 内の中心線平均あらさ値 (Ra) で示した。

2.3 機械的性質

型材の機械的性質は Fig. 1 に示した型材を用い、ピレットは3種類、押し出しは前述の4条件で押し出し後190℃2.5時間の時効処理をした。また試料の切り出し位置は、押し出し前期、中期、後期から、そして Fig. 1 に示した③の平板部で、形状は JIS 5号試験片をプレスで打抜いた。試験には5トンインストロン型引張試験機を用い、5 mm/secの引張速度で、耐力、抗張力および伸びを測定した。

2.4 極点図の作成

供試料は粒状晶と全羽毛状晶鑄塊の押し出し材で押し出し後期の Fig. 1 に示した位置③の平板の外側面を測定した。測定には Ru-200 理学電機製半自動極点図形測定装置を用い、管球は銅、管電圧40 kV、管電流80 mA、使用フィルタはニッケル、測定法はシュルツ反射法により、 $\alpha = 0 \sim 70^\circ$, $\Delta\alpha = 0.5^\circ$, $\beta = 0 \sim 360^\circ$, $\Delta\beta = 0.5^\circ$, 0.2° の測定範囲で、計数時間は1秒で行なつた。

Fig. 2 Surface roughness of extrusions.

Sample. A: Granular crystals (G.C.).

B: Feather crystals (F.C.) (extrusion direction for opposite direction of feather growth).

B': Compound F.C. and G.C. structures (the same as the above).

C: F.C. (extrusion direction for feather growth).

C': Compound F.C. and G.C. structures (the same as the above).

Fig. 3 Mechanical properties of extrusions. (aged at 190 °C for 2.5 hrs.)

Sample. A: Granular crystals (G.C.).

B: Feather crystals (F.C.) (extrusion direction for opposite direction of feather growth).

B': Compound F.C. and G.C. structures (the same as the above).

C: F.C. (extrusion direction for feather growth).

C': Compound F.C. and G.C. structures (the same as the above).

また、極点図は(111), (200)および(220)のそれぞれについて作成した。

2.5 陽極酸化皮膜

供試料は前項の機械的性質の調査試料の残部1 m長さを切断してアルマイト皮膜処理をした。処理条件は H_2SO_4 130 g/l の溶液で電流密度 1.3 A/dm², 温度 21 ± 1 °C の条件で50分間の電解を行なった。また、皮膜厚さの測定にはパーマスコープとラミノメータを使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 押出材の表面あらし

Fig. 2 は実験に供したすべての種類と条件に相当する型材の押出しの前期, 中期, 後期から切り出した試料の表面あらしを示した。記号 A から C' は鋳塊の組織との関係を示しているが、いずれの試料も Ra 値で 1.0 ~ 1.5 の範囲内にあり、平均で 1.2 μm ぐらいに相当していて差をみることができない。しかし、型材の断面形状からみると、測定位置③の試料はどの鋳塊組織でも粗い表面を示しているが、これはベアリング長さの一番大きい部分からの流出であるので摩擦の大きいことが原因していると考えられる¹⁰⁾。また、②, ④は型材の裏面にリップがあるので、一般に摩擦が大きくなるが、ベアリング長さを小さくしたので、型材が流出しやすくなるためなめらかな表面となり、①と⑤はその中間のあらし挙動を示している。

3.2 押出材の機械的性質

前項の表面あらし試料に相当する同様な方法で実験に

Fig. 4 (111) Pole figure of 6063 alloy extrusions of granular crystalline billet extruded at 390 °C and 0.45 m/min.

供した型材を押出し後時効処理をした後、試料を切り出し、Fig. 3 に示すような機械的性質を得た。押出温度が 390 °C と 450 °C を比較すると、高くなるにつれて多少強度の低下を示し、390 °C では耐力 15 ~ 17.5 kg/mm², 抗張力 19 ~ 21 kg/mm² に対し、450 °C では 14 ~ 16.5, 18.0 ~ 21.0 となり、450 °C, 0.65 m/min の押出しでは 14 ~ 16, 18 ~ 20 kg/mm² で低下の傾向が認められる。

また、伸びについてはばらつきが大きい、ほぼ 5 % 以上の値を示す。一方、鋳塊の組織による機械的性質の

差はほとんど認められない。

3.3 集合組織

集合組織の測定試料は主として Fig. 1 に示した押出し比49の中実ダイスによる加工材であり、測定位置は平板部③の外側面である。測定した極点図は(111), (200)および(220)であるが、本報では(111)極点図を代表して示した。Fig. 4 および Fig. 5 は、いずれも同じ押出条件で、Fig. 4 は粒状晶鑄塊を、Fig. 5 は全羽毛状鑄塊を押出した加工材の集合組織である。一般に押出加工では、力学的にダイス首部で大きな圧縮力を受け、ベアリング

の出口付近から引張力が働くので、押出材はダイベアリングの出口から一軸方向に変形する。従つて、押出材の集合組織にも当然方向性があり、例えば Fig. 4 に示す粒状鑄塊の押出材の集合組織は、ちょうど冷間圧延材やその再結晶集合組織と類似し、押出方向には左右対称性もあり、中間方位 $n(123)[21\bar{1}]$ と $(130)[3\bar{1}5]$ から成り立っていることがわかる。ところが、Fig. 5 に示した羽毛状晶鑄塊を押出した場合、Fig. 4 に示した集合組織のほか鑄造材の羽毛状晶である優先方位 $(112)[\bar{1}11]$ が残存し、対称性の低いことが明らかである。

Fig. 6 は、Fig. 4 と Fig. 3 と同じ押出温度で、押出速度を0.45 m/min から0.65 m/min に上昇させた結果である。Fig. 6(b)で明らかなように羽毛状晶の $(112)[\bar{1}11]$ 方位が完全になくなり、Fig. 6(a)およびFig. 3(a)と同様な圧延材の集合組織に類似している。次に押出温度を現場操業では比較的高い450℃の押出材について調べた。Fig. 7 に示した押出速度0.45 m/min における押出材の集合組織は、方位および対称性についても変化は認められないが、押出速度を0.65 m/min に上昇させると変化する。粒状晶鑄塊の場合、Fig. 8 に示すように一般に冷間圧延材の集合組織にはみられない方位 $(110)[001]$ の熱間圧延にみられる方位が現われている。また、Fig. 9 の羽毛状晶鑄塊の場合、このような新たな方位は認められないが、押出方向に対する方位の対称性はくずれている。

以上の結果は、すべて Fig. 1 に示した押出し比49の中実ダイスによる型材で調べたが、さらに押出し比の高い72の中実、73の中実ダイスを用いた結果については抜き取りで調べた。例えば、押出し比72中実ダイスによる

● $n(123)[21\bar{1}]$ ▲ $(130)[3\bar{1}5]$ ◆ $(112)[\bar{1}11]$
Fig. 5 (111) Pole figure of 6063 alloy extrusions of feather crystalline billet extruded at 390°C and 0.45 m/min.

● $n(123)[21\bar{1}]$ ▲ $(130)[3\bar{1}5]$
(a) Granular crystallite billet (G. C.)

● $n(123)[21\bar{1}]$ ▲ $(130)[3\bar{1}5]$
(b) Feather crystallite billet (F. C.)

Fig. 6 (111) Pole figures of 6063 extrusions of G.C. and F.C. billets heavily extruded at 390°C and 0.65 m/min.

Fig. 7 (111) Pole figures of 6063 extrusions of G.C. and F.C. billets heavily extruded at 450°C and 0.45 m/min.

390°C 0.39 m/min 押出材の極点図では、羽毛状晶の残存方位(122)[111̄]は認められず、Fig. 6と同様な集合組織となつている。また、押し出し比73の中空ダイスを用いた結果では、ダイス内の流れの途中ですでに再結晶が進行し、溶着室(ウエルディング)を出てベアリングに入る前の流れ過程の集合組織は、ちょうどFig. 4に示した一部羽毛状晶(112)[111̄]を残存した対称性の低い圧延材類似の極点図となつている。また、加工後の押出材の集合組織はFig. 8に示した粒状晶鑄塊と同様な熱間圧延の有する方位となつた。

以上のように、羽毛状晶鑄塊の熱間押出加工をした工場実験によれば、羽毛状晶のような特定方位の強い

(112)[111̄]方位は消失し、圧延集合組織に移行することが明らかになった。しかし、これまでの圧延加工材で見られるような多くの研究結果から鑄造集合組織の影響が95%圧延後も持続されるというBaumgartenらの事実¹²⁾、また持続されないというAustらの事実³⁾などあり、一見当惑されるが、理由を以下のように考察してみた。力学的には押し出しは3次元の軸対称の圧縮性の加工である。一方、圧延加工は平面ひずみ加工で幅方向を拘束して長さ方向に大きなひずみを発生させる2次元加工である。また塑性流動の相違は押し出しの場合、流れの解析は熱間であるだけに困難であるが、例えば著者らの一人の結果では**Fig. 10(a)**のような流速分布。またFig. 10

Fig. 10 Distribution of metallic flow on meridian plane.

Fig. 11 Schematic diagram of working direction for feather crystalline ingot. (E.D.: Extrusion direction, R.D.: Rolling direction)

(b)の等相当ひずみ速度分布¹³⁾となり、ダイス首部に集中した流れであることがわかる。一方、圧延ではロールキャンバによつて均等な厚さと流れが圧延方向に均等になるように調整されている。このように圧延と押出しでは根本的な加工方式の相違がある。そこで、いま圧延によつて Fig. 11 (a) (b)のように羽毛状晶を加工すれば、(a)の場合加工方向は成長方向と平行であり、一軸引張りでは粒状晶の3倍の伸びを示すので⁷⁾ 圧延においてもかなりの圧下力が低下し圧延方向に伸びやすいことは推定できる。しかし(b)の場合は、成長方向の伸びが拘束されるので粒界と同時に双晶面も圧縮されるので、圧下力は(a)の場合より大きくなり羽毛状晶が破壊しやすく、特に熱間

圧延では容易になる。ところが、押出加工の場合は、等軸加工であるから羽毛状晶の成長方向と平行に全周より圧縮加工が与えられ、内部せん断流れに沿つて絞られながらダイス首部に到達し、Fig. 10 に示したような高エネルギー状態で押出される。この間の温度上昇は一般に50~70℃で、厳密にはもつと高く融点近くまで上昇するであろうといわれている¹⁰⁾。従つて押出しは圧延加工に比べ、ダイス内の流れによつて均一な再結晶、つまり鑄造組織の破壊しやすい加工条件であるといえるので、やはり論議の対象は加工プロセスと材料科学的な要因との相互作用によつて取扱われるべきだと思われる。

3.4 陽極酸化皮膜

供試料は、押出後190℃、2.5時間の時効処理をした押出材から約1 m長さを採取した後陽極酸化皮膜処理を行なった。皮膜処理条件および合金組成が一定であるので、押出材の皮膜厚さは、ばらつきが小さく15~17 μmの範囲にあつた。また、外観試験では鑄塊および押出材の金属組織に起因する色むら、結晶模様、ストリークなども見あたらなかった。

4. 結 言

均質化処理した羽毛状晶と粒状晶からなる6063合金ビレットの熱間押し出しを、1,500トンプレスを用いて行ない、押出材の性質をまとめると次のとおりである。

1) 羽毛状晶ビレットの鑄造組織が粒状組織に変えることのできる押出条件を得ることができた。

2) 羽毛状晶と粒状晶ビレットを比較的低い温度(390℃)で押出せば、押出材の機械的性質、表面あらさ、陽極皮膜の厚さなどはほぼ同じになつたが、羽毛状晶ビレットの押出材については、鑄造の集合組織である(121)[111]方位が残存した。

3) 羽毛状晶と粒状晶ビレットを比較的高い温度(450℃)で押出せば、押出材の集合組織は冷間圧延したアルミニウムシートのような $n(123)[21\bar{1}]$ と $(130)[3\bar{1}5]$ 方位を示したが、粒状晶ビレットについては、熱間圧延シートのような $(110)[001]$ 方位も観察された。また、押出材の性質は羽毛状晶ビレットとは変わらないほぼ同じ値であつた。

終わりに本研究の集合組織の測定にあたり、ご協力いただいた株式会社豊田中央研究所取締役中島耕一氏、多田雅昭研究員に深く感謝の意を表し、また、試料の作製にあたりご協力いただいた三協アルミニウム工業株式会社に対し深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 中谷, 清水, 福田, 橋本: 軽金属, **18** (1968), 165.
- 2) 中谷, 清水, 福田, 橋本: 軽金属, **18** (1968), 217.
- 3) K. T. Aust, F. M. Krill and F. R. Morral: *J. Metals*, **4** (1952), 865.
- 4) 本間: 軽金属学会第2回シンポジウム 概要, (1972), 3. 軽金属, **26** (1976), 298.
- 5) 堀, 時沢, 室谷: 軽金属, **21** (1971), 524.
- 6) 堀, 時沢, 室谷: 軽金属, **21** (1971), 520.
- 7) 時沢, 堂田, 室谷: 日本金属学会誌, **40** (1976), 564.
- 8) 室町, 穴田, 多々, 時沢: 軽金属, **30** (1980) (第1報), 537.
- 9) 室町, 多々, 時沢, 穴田: 軽金属, **30** (1980) (第2報), 545.
- 10) 時沢, 堂田, 室谷: 精密機械, **41** (1975), 175.
- 11) L. L. Dillamore and W. T. Roberts: *Acta Meta.*, **12** (1964), 281.
- 12) J. Baumgarten and W. Bunk: *Z. Metalk.*, **64** (1973), 679.
- 13) 時沢, 須田: 塑性と加工, **17** (1976), 951.