

溶湯からの直接-押し出し加工に関する研究(第3報)

Study on Direct Extrusion of Molten Metals • 3rd Report

木内 学*・杉山 澄雄*・川平 哲也**

Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA and Tetsuya KAWAHIRA

1. はじめに

加工プロセスの直接および連続化を目指す最近の傾向は、省資源の観点と省エネルギー等の経済的要請に基づくものであり、液相から固相域にわたる連続加工技術の確立は、塑性加工分野においても重要な研究課題といえる。

また、一連の半溶融押し出し加工の開発研究において、合金材料を半溶融状態で押し出し加工を行うことにより、薄肉小径管の直接製造が可能となることを示したが、さらにこの半溶融押し出し加工法により、難加工材の加工あるいは複雑な断面形状を有する長尺製品の製造への応用が期待されている。

本研究は溶湯から半溶融状態を経て固体に至る直接押し出し複合加工プロセスの開発を目的としている。このプロセスは、加圧凝固の効果を組み込んだ複合押し出し加工

プロセスと考えることができ、かつまた、上記のごとき応用の可能性を含むものである。

本報では、アルミニウム合金の溶湯から直接-押し出し法による棒材の製造を試みた結果について報告する。

2. 実験方法および条件

本研究で用いた供試材は、Al-3.9%Cu(以下2024合金と記す)、Al-5.6%Mg(以下5056合金と記す)、Al-5.6%Zn-2.6%Mg-1.8%Cu(以下7075合金と記す)の高力アルミニウム合金3種である。表1に各合金の化学組成および半溶融温度範囲を示す。

図1に実験装置の概略図を示す。本研究では、ダイス温度および素材の流動を容易に管理するため、溶湯を上方に押し出す後方押し出し法を採用した。実験手順は次のとおりである。コンテナ・ピレット・ダイス・ポンチ等を所定の位置にセットした後、高周波誘導加熱炉により目的とする温度に加熱・保持する。次に、ダイス出側を圧縮空気により冷却を行いながら押し出しを行う。この際、溶湯が押し出され、製品となるようすを観察し、冷却量の調節および押し出し速度の制御等を行う。また、押し出された製品についても空冷による2次冷却を行い、残留液相成分を完全に凝固させる。さらに、ダイスとコンテナとの間隙ならびにコンテナ底部からの溶湯の漏れを防止する目的で、これらの部分についても適時空冷を行う。

表1 各合金の化学組成(wt%)および半溶融温度範囲

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	半溶融温度℃
A2024	0.07	0.09	3.9	0.53	1.6	—	502~638
A5056	0.05	0.17	—	0.17	5.6	—	568~638
A7075	0.06	0.09	1.8	—	2.6	5.6	476~638

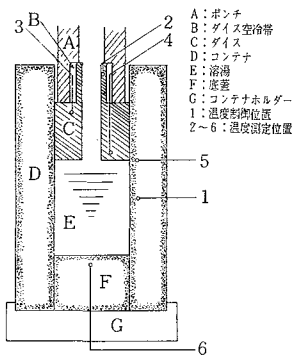


図1 装置の概略

表2 押し出し条件

1. ピレット寸法 温度	φ40×L50mm コンテナ中央部で 655℃に設定
2. ダイス出側の温度状態	圧縮空気により冷却 空冷帯20mm
3. ダイス寸法 径 B. L. ダイス角	10mm 60mm 180°
4. 押し出し比 λ	16

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 三井アルミニウム工業(株)

なお、押し出し時の荷重ならびに変位は X-Y レコーダに記録し、ダイス各点の温度変化については経時変化を測定した。実験条件をまとめて表 2 に、実験装置の外観を写真 1 に示す。

3. 実験結果および考察

3-1 押し出しを可能とするダイス温度勾配

図 2~4 に、各合金の製品押し出し時におけるダイス押し出し方向の温度勾配を示す。

図に示した結果より、ダイス入側温度はいずれの合金も約 640°C 程度であり、また、温度の変動も約 10°C と小さく、ダイス出側の冷却による影響は認められない。したがって、ダイス入側においては素材は熔融状態か、もしくはわずかに固相成分を含んだ状態にあることがわかる。ダイス出側温度は冷却量の調節および押し出し速度が正確に一定でないことから、約 80°C の変動が見られ、必ずしも明確ではないが、固相線温度の低い合金ほど平均温度が低下している。しかしながら、7075 合金の場合は最低温度でも固相線以上であり、製品を得る上で最も困難であった。これは、空冷による冷却であること、また、ダイス空冷帯が 20 mm と短いことから冷却能力に限界があり、十分な冷却を行えなかったことに原因がある。したがって、溶湯押し出しにおいては、半熔融温度範囲が

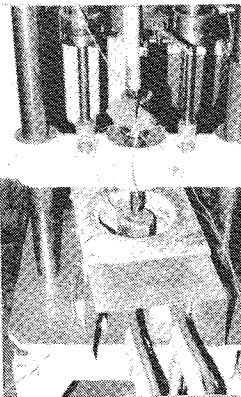


写真 1 装置の外観

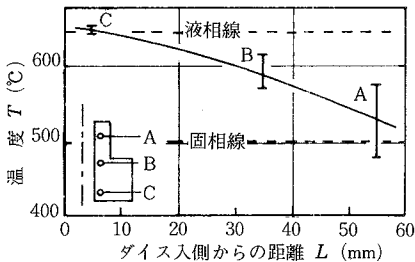


図 2 2024 合金押し出し時のダイス温度勾配

狭い合金あるいは冷却効率を上げやすい合金ほど、押し出しが容易である可能性があり、実際に本実験で用いた供試材のなかでは、5056 合金が比較的容易に押し出すことが可能であった。

また、ダイス出側温度ならびに半熔融温度範囲から判断して、押し出し直後の製品内部に存在する残留液相成分は、7075 合金、2024 合金、5056 合金の順で多いと推定でき、このことが後段で述べるように製品の機械的性質に影響を与えている。

以上のことより、安定した押し出しを行うには、ダイスに適切な温度勾配を設定することが必要であり、また、ダイス出側温度の変動は可能な限り小さくすることが望ましいと思われる。

3-2 溶湯押し出しにおける荷重-ストローク線図

図 5 に、溶湯からの直接押し出しにおける荷重-ストローク線図を、7075 合金の押し出しを例として示す。

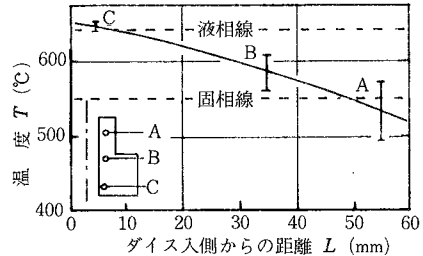


図 3 5056 合金押し出し時のダイス温度勾配

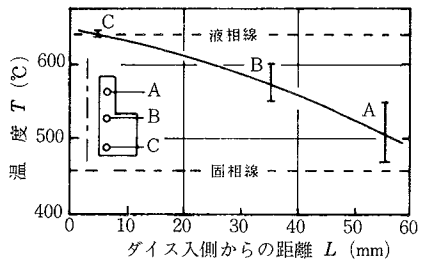


図 4 7075 合金押し出し時のダイス温度勾配

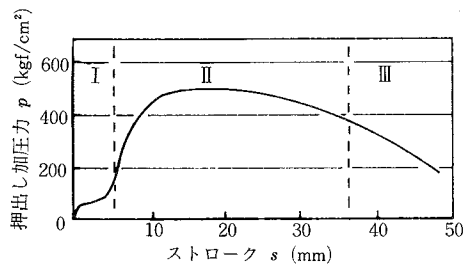


図 5 7075 合金における k-s 線図

研究速報

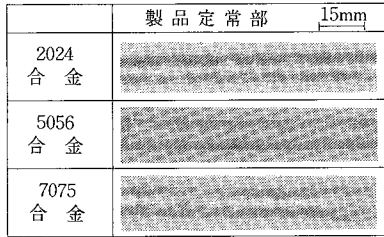


図6 溶湯押し出し材の表面性状

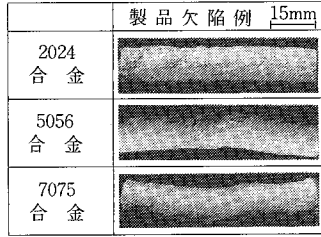


図7 溶湯押し出し材の製品欠陥例

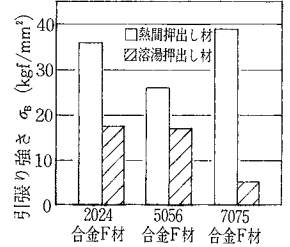


図8 溶湯押し出し材の引張り強さ

図中(I)の部分は、素材がダイス内に流入する過程であり、加圧力はほとんど加わっていない、この部分は後述するように、巣などの欠陥を生じやすく健全な製品とはなり難い。ここで、溶湯押し出しにおける抵抗力(加圧力)について考察を加えると、素材はコンテナ内では溶融状態にあることから変形抵抗はゼロとみなせるが、ダイス内では半溶融状態であるため、

- ① ダイスペアリング内での素材の流動に伴う抵抗
- ② 素材とダイスペアリング部との摩擦抵抗
- ③ ダイスとコンテナとの間隙部を冷却していることから、この間に流入・凝固した素材とダイスとの摩擦抵抗

の3つがあり、これらの抵抗値は素材の液相成分の量に対応して変化するものと考えられる。(II)の領域では、ダイスペアリングで素材が冷却され液相成分が減少し、また間隙部の空冷を始めるため①~③の各抵抗が増加し、400~500 kgf/cm²の範囲で製品を押し出している。また、押し出しの進行に伴い、加圧力は順次減少する傾向を示している。これはダイスがコンテナ内に進入するため、間隙部の温度が上昇し、ダイスと素材間の摩擦抵抗が低下すること、また、本実験ではダイスの温度制御が手動であり完全ではないため、ダイス出側温度が全体的に上昇したことが考えられる。(III)の過程は、ダイス出側の冷却量が不足し、形状不良の製品を押し出した過程であり、加圧力は低下している。

3-3 溶湯押し出し材の外観

溶湯からの直接-押し出しにより得られた各合金製品部の外観を図6に示す。これらの製品では、いずれの合金も表面に多少の凹凸が観察でき、表面性状は良好とはいえない。この現象は、素材が液相成分を含んだ状態で押し出されるため、その後の2次空冷により表層部の残留液相成分が流動・凝固した結果、表面起伏を生じたものと推定できる。

図7に、製品に発生した欠陥例を示すが、いずれの場合もダイスペアリング部での素材の冷却不足に起因するものである。2024合金の例は、製品表層部に過剰に存在する液相成分が2次空冷により波状に凝固したものであ

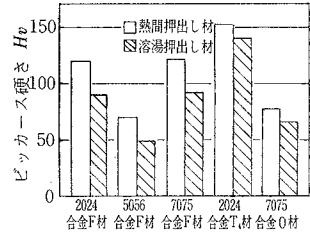


図9 溶湯押し出し材の硬さ

る。5056合金の場合は、残留液相成分が多すぎて自重で折れた例であり、7075合金の場合は、残留液相成分が流れ落ち形状が不均一になったものである。

これらの結果より、溶湯からの直接-押し出しにおいて健全な製品を得るには、製品内部に許容される残留液相成分に上限があると考えることができ、この液相成分を管理することが今後研究を進める上での課題であるといえる。

3-4 溶湯押し出し材の機械的性質

図8に、溶湯からの直接-押し出しにより得られたF材の引張り強さを、熱間押し出しF材と比較して示す。いずれの合金も、溶湯押し出し材は熱間押し出し材より劣り、熱間押し出し材に対する割合は2024合金で45%、5056合金で70%、7075合金で13%程度である。この強度の低下は、前述した残留液相成分の多い合金ほど顕著であることがわかる。ただし、溶湯押し出し材の強度は、押し出し時の残留液相分量に依存するとはいえ、残留液相成分そのものの影響ばかりではなく、その存在により発生しやすい種々の欠陥にも大きく影響を受けるものと考えられる。図9に、溶湯押し出し材ならびに熱間押し出し材のF材、T₄材、O材の硬さを示す。溶湯押し出し材の硬さは、合金の種類によらず熱間押し出し材の70%程度であり、強度とは異なり残留液相成分の量の違いによる差異は認められない。2024合金T₄処理、7075合金O処理の熱処理を施した溶湯押し出し材の硬さは、熱間押し出し材のそれと比べて若干低い傾向を示す。

3-5 溶湯押し出し材の内部組織

図10に、溶湯押し出しならびに熱間押し出しのF材の内

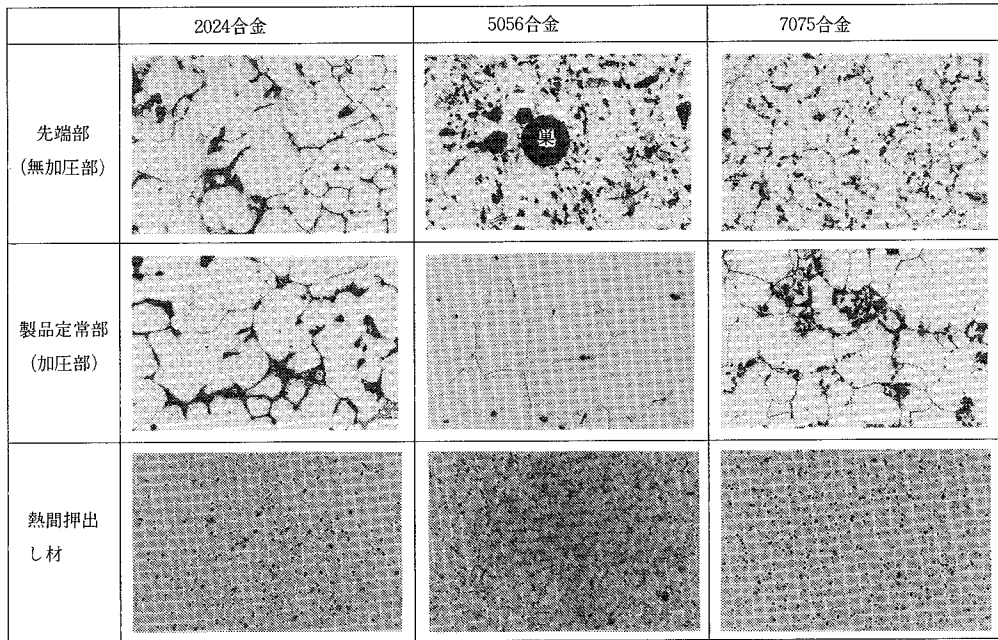


図 10 溶湯押し F 材の内部組織

0.1mm

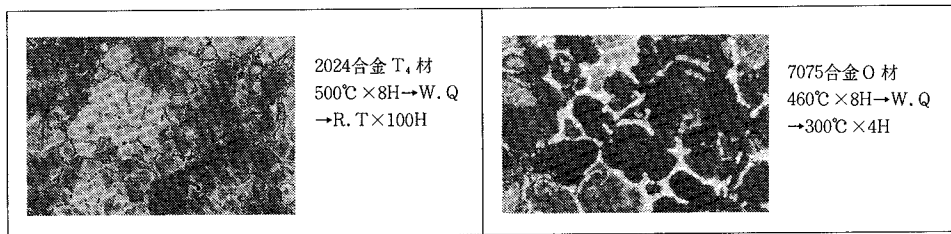


図 11 溶湯押し熱処理材の内部組織

0.1mm

部組織を示す。熱間押し材の組織は、いずれの合金についてもマトリックス中に析出物が均一に分散しているのが観察できる。一方、溶湯押し材の先端部は、加圧を受けていないため巣が見られ、柱状晶が発達している。定常押し部の内部組織には欠陥は認められないが、これは加圧力が液相成分に対し静水圧作用による押湯効果を与えたためと思われる。したがって、本加工プロセスは、凝固加工の観点からみると、健全な凝固製品を得やすい加工法ともいえる。さらに、本実験ではストレートダイスを用い、また、加圧力が通常の熱間押しに比べて極めて小さいことから、素材は塑性変形をほとんど受けておらず铸造組織を呈しており、粒界に化合物が晶出している。図 11 に溶湯押し熱処理材の内部組織を示す。2024 合金 T₄ 材、7075 合金 O 材とも粒内に化合物が析出しているようすが観察できるものの、F 材の組織がその

まま残っている割合が多く、再結晶組織は認められない。

4. ま と め

溶湯より直接-押し加工を行う新加工プロセスの開発の一環として、2024 合金、5056 合金、7075 合金の棒材の直接-押し加工実験を行った。得られた製品の表面性状は良好とはいえないものの、極めて低い加圧力で押し出せることを示した。また、機械的性質は熱間押し材と比較して、いずれの合金も強度、硬さとも劣る結果を得た。内部組織は铸造組織を呈していることが明らかとなった。今後は、これらの問題に関する検討を含めて、本加工プロセスの開発・応用を進める予定である。

(1985年9月4日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・杉山・新井：29 回塑加連講論，(1978)，184
- 2) 木内・川桐：昭 59 春塑加講論，(1984)，603
- 3) 木内・杉山・川平：昭 60 春塑加講論，(1985)，465