

## 溶湯からの直接押出しに関する研究・第2報

Study on Direct Extrusion of Molten Metals · 2nd Report

木 内 学\*・杉 山 澄 雄\*・川 平 哲 也\*\*

Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA and Tetsuya KAWAHIRA

### 1. は じ め に

金属加工プロセスにおいて、中間工程の省略、複数の工程の直接/連続化は、省エネルギー、省資源を図るうえで極めて有効であるといえる。前報では実用アルミニウム合金を用い溶湯からの直接押出しによる中空材の製造を行い、コンテナ、ダイスの温度管理を十分に行えば、溶湯からの直接押出しが可能であることを明らかにした。本報では引き続きアルミニウム合金の溶湯より中空材の直接押出しを行い、その際の押出し条件の検討、および得られた製品の表面性状、機械的性質、内部組織について調査を行った結果を報告する。

### 2. 実 験 方 法

本実験では供試材として、A2024, A5056, A7075 の難

表 1 各合金の化学組成 (wt %)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
2024	0.07	0.09	3.9	0.53	1.6	0.002	0.003	0.04
5056	0.05	0.17	0.001	0.17	5.6	0.18	0.002	0.007
7075	0.06	0.09	1.8	0.001	2.6	0.23	5.6	0.05

表 2 押出し条件一覧表

1. 溶湯温度	710°C
2. コンテナ温度	430~580°C
3. ダイス入口の温度状態	強制空冷によりコンテナ温度に対し約50°C低く設定
4. ダイス寸法 ・ 径 ・ B. L. ・ ダイス角	φ 16 mm 40 mm 180°
5. マンドレル寸法	φ 10×60 mm テーパ部40 mm
6. 押出し比 λ	10
7. 押出し装置 ・ 能力 ・ ラム速度	50 ton 本実験では MAX40kgf/mm <sup>2</sup> 無負荷状態で約 10 mm/s

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

\*\* 三共アルミニウム工業(株)

加工高力アルミニウム合金を用いた。各合金の組成を表1に示す。押出し実験の手順は前報と同様であるが、以下にその概要を述べる。まず、ポンチおよびコンテナ、ダイスを所定の位置にセットし、高周波加熱炉でコンテナを目的とする温度に加熱保持する。ダイスを圧縮空気により強制冷却しダイス入口温度をコンテナ温度より約50°C低くする。次に、電気炉で溶解したアルミニウム合金の溶湯をコンテナ内に注湯し、ただちに押出しを行い、その際の荷重—ストロークをビジグラフに記録する。表2に押出し条件、写真1に実験装置の外観、図1に装置の概略をそれぞれ示す。

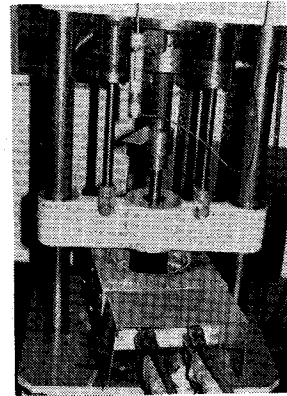


写真1 装置の外観

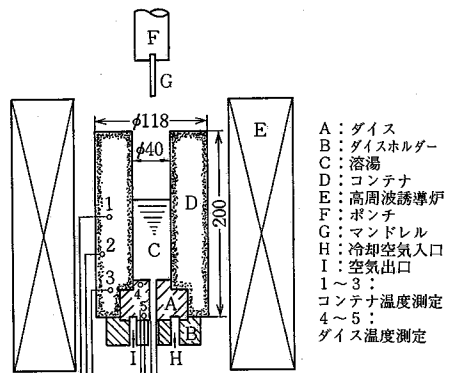


図1 装置の概略

研究速報

3. 実験結果および考察

3-1 押し出し温度と加圧力との関係

前報において、溶湯押し出しにおける押し出し限界は、コンテナ温度とダイス入口温度により決定されることが示された。本実験では、ダイス入口温度をコンテナ温度に対し約50°C低く設定し押し出しを行い、注湯前のコンテナ温度（以下 押し出し温度）と押し出し定常域の加圧力との関係を調査し、図2の結果を得た。押し出し加圧力は、押し出し温度が順次上がるに従い単調に減少する傾向を示す。また、押し出し温度が同じであれば、合金の種類によらず加圧力は等しく、いずれの合金も押し出し温度が450°C以下になると押し出し不可能となる。このことは次のように考えることができる。コンテナに注湯した溶湯は、押し出しの進行に伴い凝固が進み液相成分が減少していく。溶湯の凝固は、押し出し温度が低くなるほど急速に進み、この結果、低温で押し出しを行うと、押し出し時に存在

する素材内部の液相成分が少ないため、素材の変形抵抗が増加し押し出し加圧力が上昇する。本実験では押し出し温度が450°C以下になると、押し出し途中で素材がコンテナ内で凝固してしまい、押し出し不可能になったものと思われる。また、溶湯押し出しでは、熱間押し出しに比べ低加圧力で押し出すことが可能であり、押し出し温度530°Cでは、熱間押し出しの約60%の加圧力で押し出し可能である。以上のことより、溶湯押し出しにおける加圧力は、熱間・冷間の押し出しにおけるように素材材質の相違による変形抵抗の影響は認められず、押し出し時に素材内部に存在する液相成分の量により決定されるといえる。

3-2 押し出し加圧カーストローク線図

各合金の押し出し加圧カーストローク線図を図3～図5に示す。熱間押し出しでは、コンテナと材料との摩擦抵抗

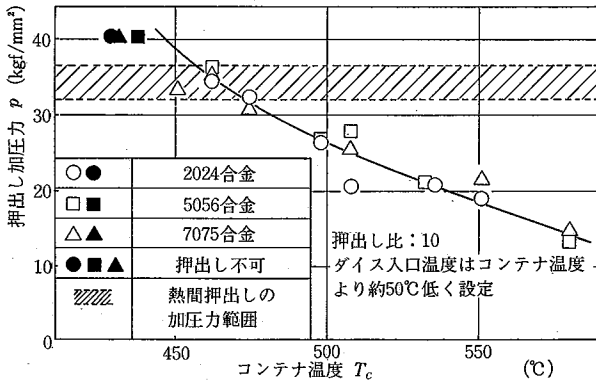


図2 注湯前のコンテナ温度に対する押し出し定常域の加圧力の変化

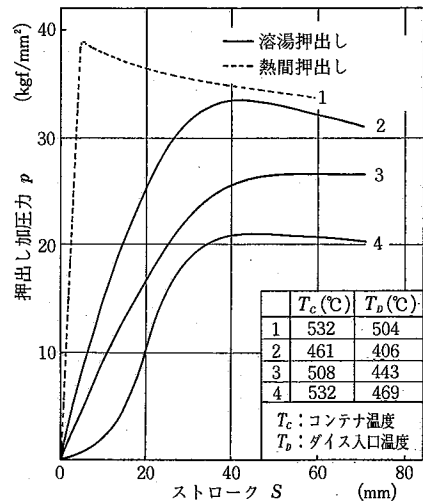


図4 5056合金のp-S線図

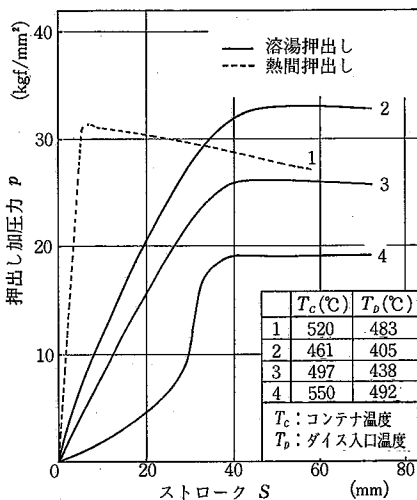


図3 2024合金のp-S線図

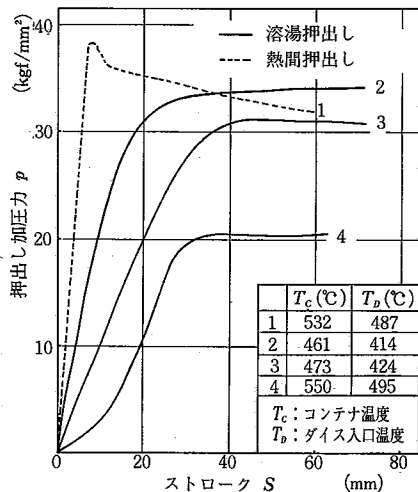


図5 7075合金のp-S線図

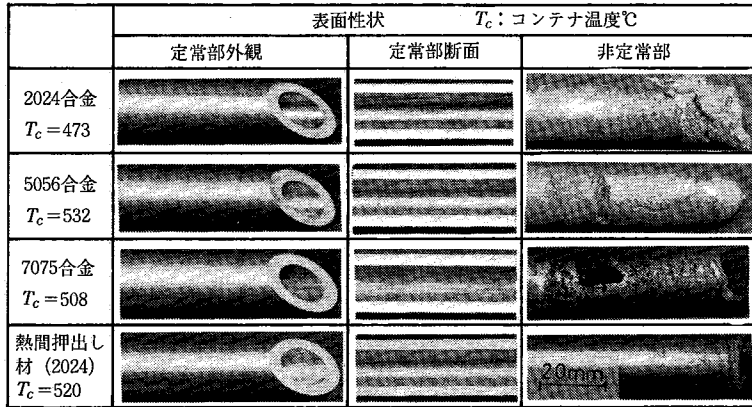


図 6 溶湯押し出し材の表面性状

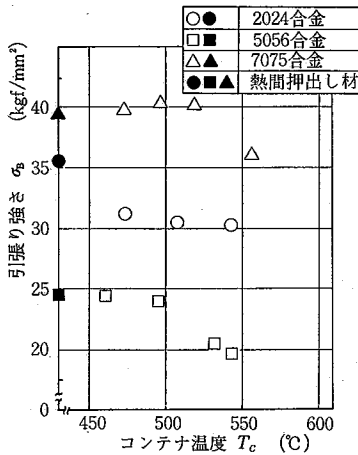


図 7 押し出し温度に対する F 材の引張り強さの変化

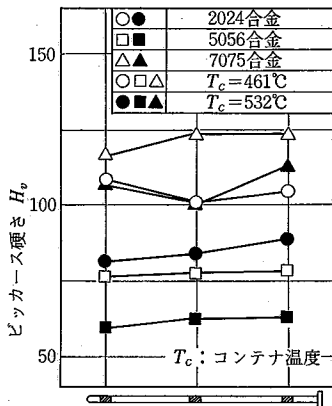


図 8 押し出し方向における F 材の硬さ変化

により押し出し初期にピーク荷重が現れ、その後押し出しの進行に伴い加圧力は減少している。一方、溶湯押し出しでは、コンテナおよびダイス入口温度が高くなるに従い、加圧力の立ち上がりがゆるやかとなり、また、押し出し定

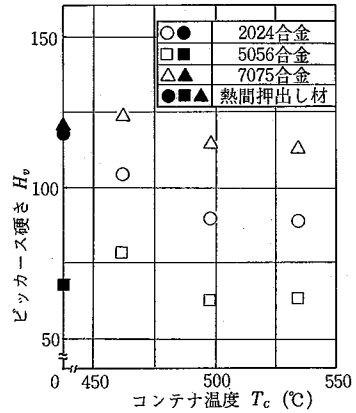


図 9 押し出し温度に対する F 材定常部の硬さ変化

常域においては加圧力が一定である。この原因としては次のことが考えられる。注湯した溶湯はコンテナ壁面より凝固が進行するが、押し出し開始時には相当量の液相成分が素材内部に存在する。このため押し出し初期に液相成分が先端に向かって流動し十分に凝固せずに低い加圧力で押し出される。この現象は押し出し温度が高くなるほど助長されるため加圧力の立ち上がりがゆるやかとなる。本実験では押し出し温度が 530 $^{\circ}\text{C}$ 以上になると、押し出し初期に溶湯の一部が突出するようになり、製品歩留りが悪化する傾向を示した。また、コンテナ内の素材は十分な液相成分を含んでいるため、ダイス入口に向かって容易に流動し、かつポンチ・コンテナ間の摩擦抵抗は、押し出し終了後にシェル状の試料がコンテナ壁面に付着・残留していることから判断して、素材のせん断変形抵抗に対応して一定であると考えられること、などから押し出し加圧力が定常域でほぼ一定値を示すことが説明できる。

### 3-3 表面性状

溶湯押し出し材の表面性状を、2024 合金熱間押し出し材と比較して図 6 に示す。図より、溶湯押し出し材の先端部に、

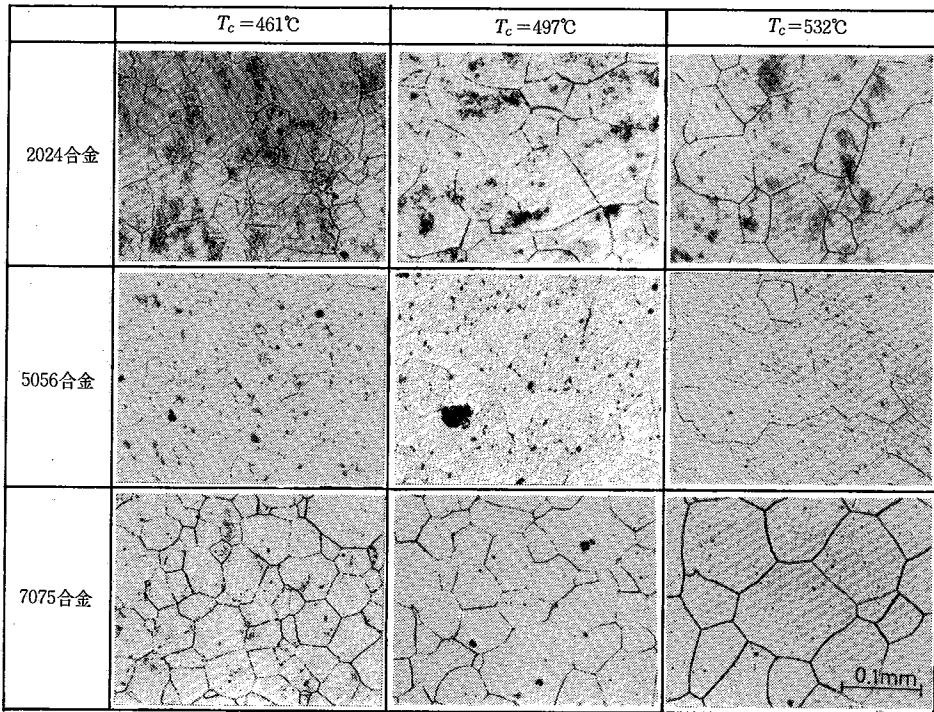


図 10 溶湯押出し材の内部組織

$T_c$ : コンテナ温度

液相成分を過多に含んで押出された様子が観察される。この非定常部は、押出し長さ約 650 mm に対し 50~150 mm であり、押出し温度が高くなるに従い増加する傾向を示す。しかしながら、定常部における外観および内面の表面性状は、割れ、テアリング等の欠陥がなく、熱間押出し材と比較して遜色のない健全な製品が得られていることがわかる。

### 3-4 溶湯押出し材 (F 材) の機械的性質

図 7~図 9 に各合金の溶湯押出し材 (F 材) の機械的性質を示す。図 7 は、押出し温度の変化に対する定常部の引張り強さの推移を示し、いずれの合金も押出し温度が上がるに従い、引張り強さは低下する傾向を示しているのがわかる。しかしながら、押出し温度 460~500°C の範囲では、2024 合金を除き熱間押出し材と同程度の引張り強さが得られている。図 8 に押出し方向による硬さ変化を、図 9 に押出し温度に対する定常部の硬さ変化を示す。図より、溶湯押出し材の硬さは、押出し方向に対して一様で安定していること、また、押出し温度に対しては、引張り強さと同様な傾向を示していることがわかる。

### 3-5 溶湯押出し材の内部組織

溶湯押出し材の定常部の内部組織を図 10 に示す。いずれの合金も熱間押出し材の組織のような微細に展伸した

組織とは異なり、粒状の結晶粒が観察される。つまり、溶湯押出しでは、注湯した溶湯がコンテナ内で半溶融状態を経てダイスを通ずる際に熱を奪われ、固体、もしくはわずかに液相成分を含んだ状態で押出されるが、素材内部に存在する液相成分により、結晶粒の移動および回転に対する拘束が緩和され、結晶粒の変形はわずかであつても押出しが可能になるものと思われる。また、押出し温度が高くなるに従い、結晶粒が若干粗大化している様子が認められ、この現象により引張り強さおよび硬さが低下するものと思われる。

### 4. ま と め

本研究では、液相から固相にわたる連続加工プロセスの開発の一環として、アルミニウム合金の溶湯から直接押出しによる中空材 ( $\phi 16 \times t_3$ ) の製造を行い、その際、押出しを安定的に実現するために必要な温度条件について明らかにした。また、得られた製品の内部組織・機械的性質の系統的解明を行った。今後は本加工プロセスの応用技術について検討を行う予定である。

(1985 年 4 月 11 日受理)

### 参 考 文 献

- 1) 木内・杉山・新井: 29 回塑加工連講論, (1984), 184.
- 2) 木内・川桐: 昭 59 春塑加工講論, (1984.5), 603.