

| | |
|------------|------------------------------------------------------------|
| 氏名 | 高橋昌也 |
| 生年月日 | |
| 本籍 | 埼玉県 |
| 学位の種類 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 博甲第641号 |
| 学位授与の日付 | 平成16年3月25日 |
| 学位授与の要件 | 課程博士(学位規則第4条第1項) |
| 学位授与の題目 | アルミニウム合金の等温押し出し技術に関する研究 |
| 論文審査委員(主査) | 米山 猛(工学部・教授) |
| 論文審査委員(副査) | 山崎 光悦(工学部・教授) 白田 松男(工学部・教授) 香川 博之(工学部・講師) 大谷 吉生(工学部・教授) |

学位論文要旨

Isothermal extrusion of aluminum alloys is a method of maintaining a constant temperature of an extruded section in the bearing zone of the die in order to obtain a high steady quality of dimensions and mechanical properties. In this study, an equation for calculating the initial billet temperature that performs isothermal extrusion is proposed and confirmed. The concept of the equation for isothermal extrusion is to assign an adequate initial billet temperature, container temperature and ram speed to equalize the heat flow from the billet to the container and the heat generation by the shearing deformation of metal close to the container wall. Under the consideration of the parameters in the heat generation in the FEM analysis, adequate extrusion conditions are obtained. Using the results by the FEM analysis, isothermal extrusion has been realized in the extrusion of aluminum alloy 6063.

1. 緒言

押し出し加工中のダイ出側温度を一定に制御する等温押し出し技術は、押し出し速度の向上に伴う生産性の向上、品質不良や押し出し材の長さ不揃いの減少による歩留りの向上、押し出し加工後の寸法矯正工程の省略など、様々なコスト削減効果が期待できる技術として、古くは1960年ころから提唱されているが、内容は漠然としており、実施する方法は明らかになっていなかった。しかし、自動車やIT分野などの新たなマーケットへ押し出し材の適用範囲を拡げるためには、機械的性質や寸法のばらつきを著しく低減する必要がある、等温押し出し技術の確立が、押し出し業界全体の課題となっている。

本研究では、新たに等温押しを実現するための基本的な理論を提案し、FEM解析を用いて等温押し条件式を導出する。さらに実際の押し機にて等温押しが実現することと、高い品質の押し材が製造できることを確認する。

2. 等温押し条件計算式

押し材長手方向に温度変化が生じる最大の原因は、コンテナ壁面付近のビレットの変形発熱の蓄熱である。したがって、押し材の長手方向の温度を一定とするには、コンテナ壁面付近のビレットの変形発熱量と、ビレットからコンテナへの流出熱量を等しくすればよいと考えられる。

ビレット中に図1に示すように微小長さ dx で輪切り状に区切った要素を考える。コンテナ壁面付近のビレットのせん断変形抵抗を τ 、コンテナ径を D とし、ビレットの微小要素が x だけ進む間にコンテナ壁面付近のビレットに発生する熱量 ΔQ_1 は下式で示される。

$$\Delta Q_1 = \tau \cdot \pi \cdot D \cdot x \cdot dx \quad (1)$$

同じ時期にビレットの微小要素からコンテナへの伝熱量 ΔQ_2 はビレット要素の温度を T_b 、コンテナ温度を T_c 、ビレットとコンテナ間の熱通過率を U 、ラム速度を V とすると下式で示される。

$$\Delta Q_2 = \pi \cdot D \cdot U \cdot (T_b - T_c) \cdot dx \cdot \frac{x}{V} \quad (2)$$

ΔQ_1 と ΔQ_2 が等しくなり、ビレット温度 T_b が一定に保たれる場合には次式が成り立つ。

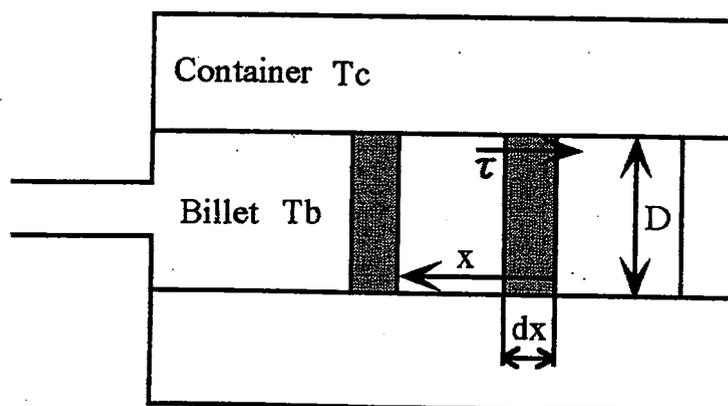


図1 微小長さの輪切りビレット

$$\tau \cdot \pi \cdot D \cdot x \cdot dx = \pi \cdot D \cdot U \cdot (T_b - T_c) \cdot dx \cdot \frac{x}{V} \quad (3)$$

上式を解いて次式を得る.

$$T_b = \frac{\tau}{U} \cdot V + T_c \quad (4)$$

この式は、ビレットの初期温度をコンテナ温度よりも適切に高い温度に設定しておけば、ビレット温度が一定に保たれることを意味している。ラム速度 V が大きいほど単位時間あたりの発熱量が大きくなるので、ビレット温度とコンテナ温度との差を大きくして、ビレットからコンテナへの伝熱量を大きくしてやればよい。

3 FEM 解析条件

(4) 式から等温押し条件を求めるには、変形抵抗 τ とビレットとコンテナ間の熱通過率 U を求める必要がある。押し実験や数値解析で係数 τ/U を求める場合は、数種類のラム速度においてダイ出側の押し材温度が一定となるビレット温度とコンテナ温度を求めればよい。そこで、(4) 式の考え方にもとづいて、FEM 解析をビレット温度 460, 470, 480, 490°C の 4 条件で行った。コンテナとダミーブロック温度は 450°C とし、ダイ温度はビレットの各設定温度と同一とした。押し条件を表 1 に示す。

表 1 押し条件

| | |
|------------------------------|--------------------|
| Billet heating type | Uniform |
| Billet temperature (°C) | 460, 470, 480, 490 |
| Die temperature (°C) | 460, 470, 480, 490 |
| Billet length (mm) | 200 |
| Container diameter (mm) | 94 |
| Extruded rod diameter (mm) | 32 |
| Extrusion ratio | 8.6 |
| Ram speed (mm/s) | 10 |
| Container temperature (°C) | 450 |
| Dummy block temperature (°C) | 450 |
| Friction condition | Shear |

4 解析結果

図 2 はラム速度が 10mm/s , コンテナ温度 450°Cにおいて, ビレット温度を 460, 470, 480, 490°Cにした場合の押し出し材のダイ出側温度の計算結果である。ビレット温度とコンテナ温度の差が大きくなるにつれ, 等温押し出しに近づいており, ビレット温度が 490°Cではほぼ等温押し出しとなっている。

(4) 式の意味しているとおり, ビレット温度, コンテナ温度, ラム速度を適切に設定すれば等温押し出しが実現する可能性があることが FEM 解析からも明らかになった。

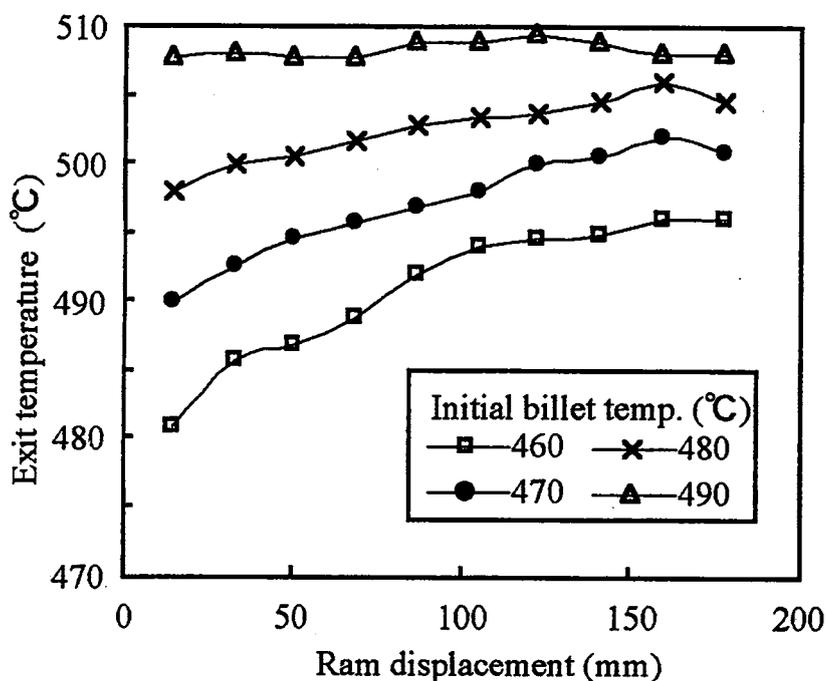


図 2 ビレット予熱温度とダイ出側押し出し材温度の対応

5 押し出し実験

FEM 解析を用いて求めた等温押し出し条件で, 等温押し出しが実現するか確認する。FEM 解析で求めた等温押し出し条件で実験をを行った結果を図 3 に示す。ダイ出側の押し出し材温度は約 510°Cの等温押し出しが実現した。

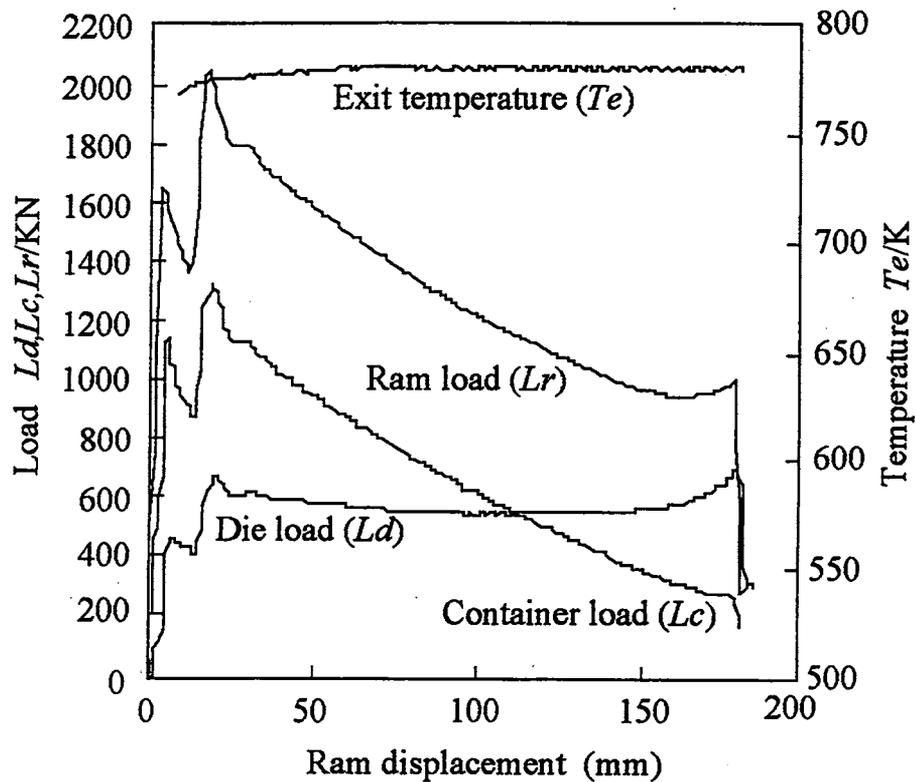


図3 等温押し実験結果

6 結言

(1) 押し材長手方向に温度変化が生じる最大の原因は、コンテナ壁面付近のビレットの変形発熱の蓄熱である。したがって、押し材の長手方向の温度を一定とするには、コンテナ壁面付近のビレットの変形発熱量と、ビレットからコンテナへの流出熱量を等しくすればよい。

(2) FEM 解析で求めた押し条件にて実験を行った結果、等温押しが実現することを確認した。

学位論文審査結果の要旨

平成16年1月27日に第1回学位論文審査委員会を開催し、平成16年2月6日に口頭発表ならびに第2回審査委員会を開催して審議した結果、以下のように判定した。

本論文は、アルミニウムの熱間押出しにおいてダイス出口温度を一定に保つことによって安定した品質の押出し材を得る新しい方法を考案したものである。本手法の特徴は、アルミニウムビレットとコンテナ間の熱伝導に着目し、押出し中のビレットとコンテナ内面との摩擦によって生ずるビレット内部の加工発熱とビレットからコンテナへの熱伝導とが釣り合うように、コンテナ温度よりビレット温度を適切に高く設定し、押出し出口に到達するビレット材の温度を一定に保つことにある。このための基本式を提案し、等温押出しを実現するビレット温度・コンテナ温度・ラム速度条件を算出している。一方コンテナ内の圧力および摩擦応力を検出するセンサを開発して直接測定を行い、摩擦条件を考察してその結果を有限要素法に用いるパラメータに導入し、押出しにおける温度解析を行って等温押出し条件を解析から予測している。さらに実験によって等温押出しが実現することを確認し、従来手法よりも優れたものであることを示している。

以上のように本論文は等温押出しに関する優れた工学的成果を生み出すとともに、アルミニウム押出し材の品質向上・生産性向上という工業的成果を上げている。したがって、その内容は博士（工学）論文に値するものと判定する。