

# 前方押しにおける連続潤滑油導入法の開発

東京電機大学 工学部先端機械工学科

柳田 明

## 1. はじめに

ローターシャフトのように長尺で多くの段を持つような部材は切削で製造されることが多いが、生産コストの面から前方押しで製造することが期待されている。前方押しでは、ボンデ処理や一液潤滑処理が用いられるが、多段の加工においては、複数回の前処理が必要とされ、コスト削減効果は少ない。液体潤滑剤を前方押し加工に適用することでコスト・環境面の両面で有効な技術となりうる。著者はこれまでに経済産業省平成 28 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「サーボプレスと CAE の高度利用により、中～小ロット生産に対応したボンデフリーの分流冷間鍛造技術開発」においてスライドモーションと分流鍛造により液体潤滑剤を用いて、ヘリカルギアの成形荷重を低減できることを示した<sup>1)</sup>。この技術に加えて新規に連続潤滑供給技術を開発することで、液体潤滑剤で多段長尺部材の加工法が確立できれば、国内の基幹産業への波及効果は大きい。

## 2. 目的

表面拡大が大きい加工に用いることが難しい液体潤滑剤においても、潤滑剤の加圧、除荷時の弾性回復、材料の揺動を利用し、前方押しによる長尺材の加工法・金型構造の開発を目標としている。Matsumoto<sup>2)</sup>は、後方押しにおいて潤滑導入孔の空いたパンチを用いてパルスモーション付与することで潤滑油を供給し深い穴を開けることができることを報告しているが、前方押しに関する潤滑油供給技術の例はない。

## 3. 実用的な価値、実用化の見込など

1 段の押し加工において低粘度 100.4(cSt)の潤滑剤を用いてもダイと試験片の間に十分に導入されることが確認された。押し後の表面粗さが潤滑剤を封入しない場合と比べて低くなることが確認された。

潤滑剤の封入用のシーリングの存在により加工荷重が増大する課題、多段加工に関する検討がまだできておらず今後の実証が必要であるが、長尺材に対して有効な加工方法であると考えられる。

## 4. 研究内容の詳細

### 4.1 金型形状の検討

#### a)再潤滑の仕組み

図 1 に再潤滑の仕組みを示す。試験片をパンチで押し込み通常の前方押しを行う。ここで液体潤滑剤を用いて 1 ストロークで加工すると、潤滑剤は加工と共に流れだしてしまい、材料とダイとの間で油膜切れが起き、摩擦が増大、焼付きなどが発生する。そこでの左図のようにカウンタパンチを用いて油だまりを設けることで図 1 の右図のように加工の途中でパンチを引き上げ、除荷すると同時に試験片をカウンタパンチで押し上げると、試験片とダイとの間に隙間ができ、その隙間に潤滑剤が流れることにより、再潤滑効果が期待できる。また、パンチを除荷するだけでも、ダイと材料のヤング率の違いにより弾性回復するときに隙間ができることによる再潤滑効果も期待できる。また、奥村らは<sup>3)</sup>、ドイツ FELSS 社の保有特許である「FM (Frequency Modulated)フォーミング(ある固有振動数で型を前後に振動させながら、素材材へ押し込んで成形する方法)」を用い、前方押しでの成形荷重を低減できることを示

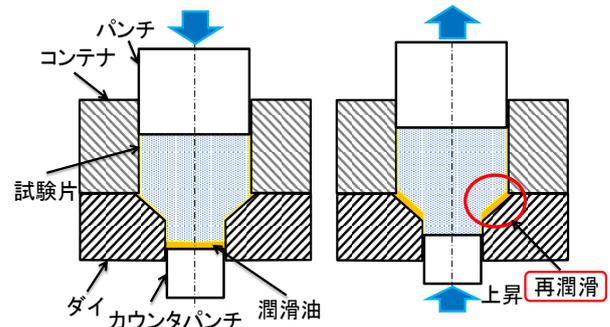
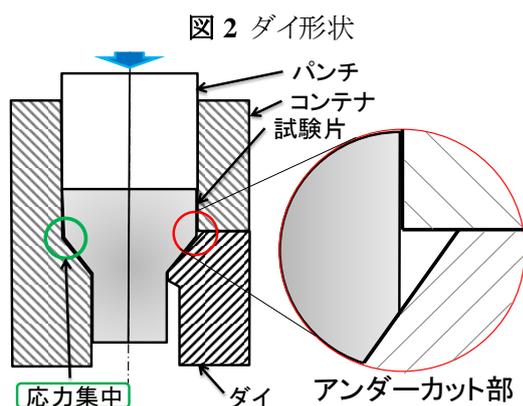


図 1 再潤滑の仕組み

している。しかし、潤滑ではなく振動による変形を用いた荷重低減効果であり本研究と原理は異なる。

### b) 金型形状

図 2 にダイ形状を示す。長尺部材製作のための前方押しにおける一体金型では、製品成形部が深穴になるため、摩擦を低減するための穴内部へのコーティングができず、ダイとコンテナの境界で応力集中が発生し、金型の割れなどを引き起こし、金型寿命を縮める要因となる。そこで、ダイとコンテナを分割することで、穴内部へのコーティングが可能となる。しかし、コンテナの径とダイ上部の径が等しいと組み合わせるときに接続部での噛み出しが起きる。そこで、噛み出しを防ぐためにダイ接続部の径をわずかに大きくしたアンダーカット分割金型を適用した。また、ダイの下部に逃げを設けた。



### c) FEM シミュレーション

アンダーカット部は 0.2mm である。Simufact forming15 を用いてダイ半角をおよび減面率を変化させて、アンダーカット部への流入(広がり量)のシミュレーションをおこなった。表 1 に解析条件、図 3 に解析モデルを示す。

解析結果を図 4 に示す。ダイ半角が小さいほど、材料のアンダーカット部への広がり量を小さく抑えられる結果となった。ダイ半角は 15°より小さく設計することは可能であるが、角度が小さくなるほどテーパ部分が長くなり、ダイの厚みが増してしまうため、ダイ半角 15°が適切だと考えている。また、減面率が大きいほど、材料とダイの接触面積が増えるため、摩擦の影響が大きくなることを考え、減面率 36%(直径変化 2mm)とした。

表 2 FEM 解析条件

| 試験片         | 弾塑性体(A5056)     |
|-------------|-----------------|
| 試験片寸法       | φ10×20 [mm]     |
| シミュレーションモデル | 2D モデル軸対称       |
| 加工速度        | 2[mm/s]         |
| クーロン摩擦係数    | 0.1             |
| せん断摩擦係数     | 0.2             |
| メッシュ        | Quadrilateral   |
| メッシュサイズ     | 0.1[mm]×0.1[mm] |

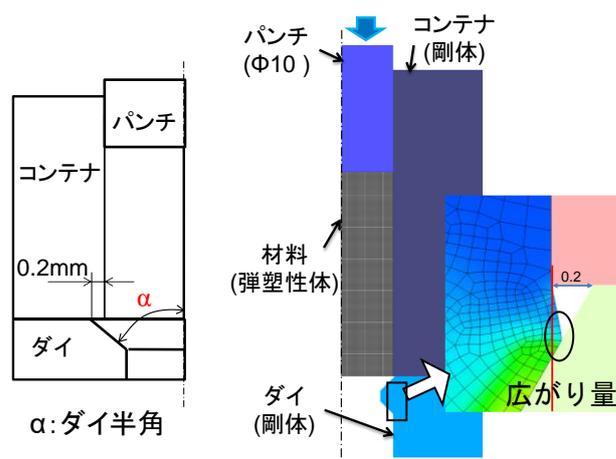


図 3 解析モデル

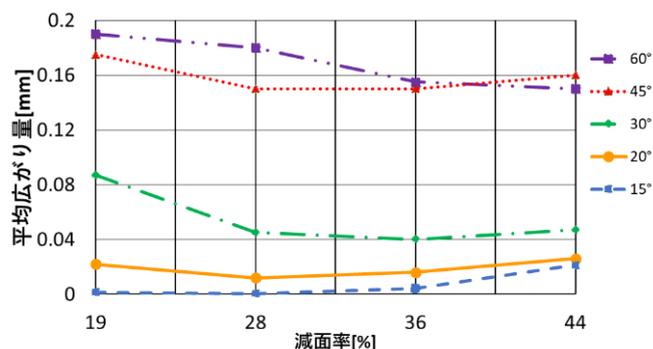


図 4 減面率、ダイ半角と広がり量の関係

### 4.2 金型の設計

図 3 にパンチとコンテナの変更点を示す。パンチは先端部分に Oリングを設置する溝があったが応力が集中し折れやすいため、普通形状のパンチとしシリンドラ型の Oリング設置とした。振動モーションを利用した再潤滑効果を得るためには、液体潤滑剤が金型外へ漏れ出ないことが重要となる。そこで、液体潤滑剤をシーリング可能にするために、図 3 の左図のようにコンテナ上部、コンテナ底面、ダイ下部の長穴に設けた内溝にそ

それぞれOリングを付けることとした。Oリングは運動部のシーリングに適し、耐油性、耐摩耗性に優れたニトリルゴムを使用する。

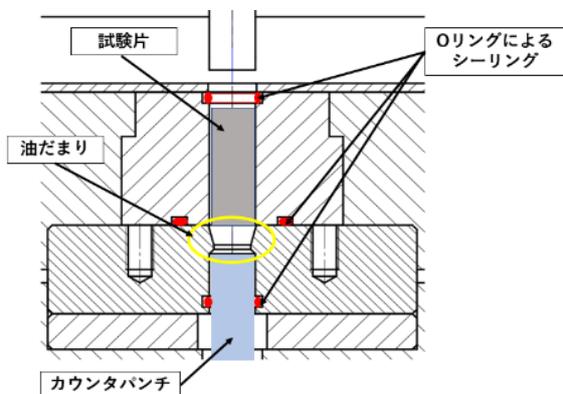


図5 パンチとコンテナのシーリング

### 4.3 実験方法

#### a) 押し出し試験

表1に実験条件を示す。試験片及びコンテナ長穴部、ダイ内部にアルミニウム用液体潤滑油を塗布し充填させ、実験を行う。実験装置には、KOMATSU製450kNサーボプレス、背圧付与ユニットは油研工業製シリンダCJT140シリーズを用いる。潤滑剤の静水圧を上昇させること目的に背圧を付与する。背圧付与ユニットは保持設定値で圧力を常に保持し、設定値を超えると下降する仕様となっている。(本助成により、一定圧で制御できるように改良したが、2021年2月に完了したため本報告では、改良前の結果である。)

表2 実験条件

|         |            |
|---------|------------|
| 試験片材料   | A1070      |
| 試験片寸法   | φ10×27[mm] |
| 加工速度    | 2[mm/s]    |
| 潤滑油動粘度  | 100.4[cSt] |
| 背圧      | なし/1.4kN   |
| シーリング   | なし/あり      |
| 振動モーション | なし/あり      |

#### b) 表面性状

KEYENCE製レーザ顕微鏡を用いて、のちに示す図8のA, B, Cの3点を20, 50倍の対物レンズで表面性状は測定した。また、50倍で測定したデータから押し出し方向に垂直な線粗さ(Ra)を3点測定した。

#### 4.4 実験結果及び考察

図6に荷重-ストローク線図、図7に後半部の拡大図、図8に加工後の試験片の外観を示す。

(i)シーリング：シーリングなしの場合は、荷重は他の条件よりも低い荷重が上昇し続けた。これは、ダイ下側において潤滑油が漏れ出し、試験片とダイとの接触部で油膜切れが起き、摩擦が大きくなるのが主な原因だと考えられる。シーリングありの場合も、いずれの場合もシーリングなしの場合より荷重が高くなった。これは、試験片とカウンタパンチが接触し、接触部で変形が起き図7の下部に示すバリが発生したためだと考えられる。背圧がない場合でも背圧パンチはOリングによる摺動抵抗のためシーリングがない場合よりも荷重は増加する。ストローク13mm以降の荷重が低下していることから潤滑切れが起こっていないことが分かる。

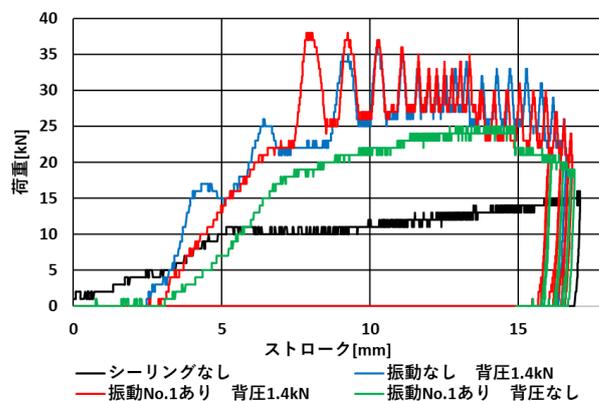


図6 荷重-ストローク線図

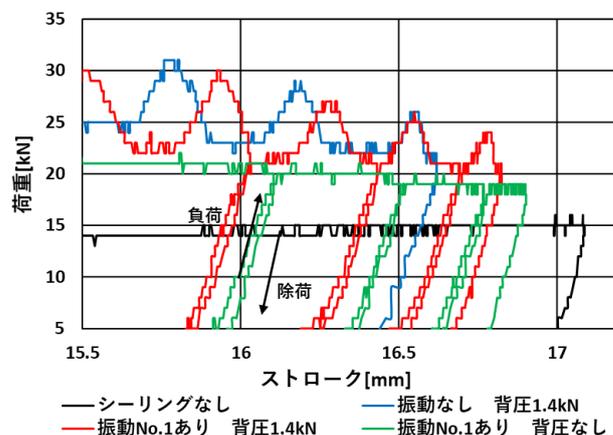


図7 後半部の拡大図

(ii)背圧: 背圧(1.4kN)の付与は背圧パンチが連続的に移動するのではなく、ステップ上に移動するため、押し出し後の部位が停滞することで荷重が振幅していることがわかる。図 8 に示すバリも大きく、潤滑剤の圧力を上げる効果は得られなかった。

(iii)振動モーション: 図 7 から振動モーションにより、背圧ありの場合と比較すると、背圧ユニットの移動による振幅のためわかりにくいですが、わずかに荷重が低下していることがわかる。背圧 1.4kN のとき太さ約 2mm, 振動あり背圧 1.4kN のとき太さ約 1mm, 振動あり背圧なしのとき太さ 0.1mm 未満のリング状のバリが発生した。このことより、除荷の際に試験片とカウンタパンチの間に油が入り込み摩擦がわずかに低減できたと考える。

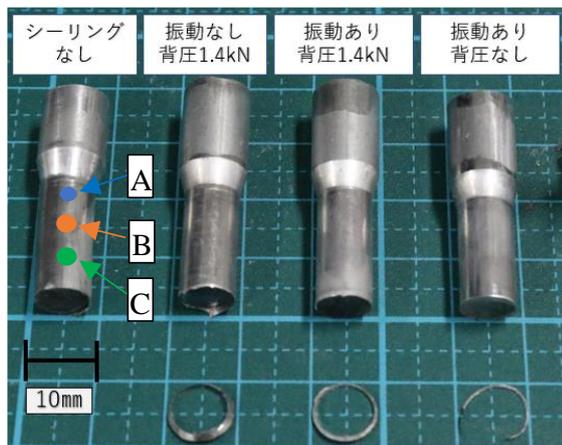


図 8 加工後の試験片の外観

図 9 に表面粗さの比較、図 10 に加工後の表面性状(A 部)を示す。

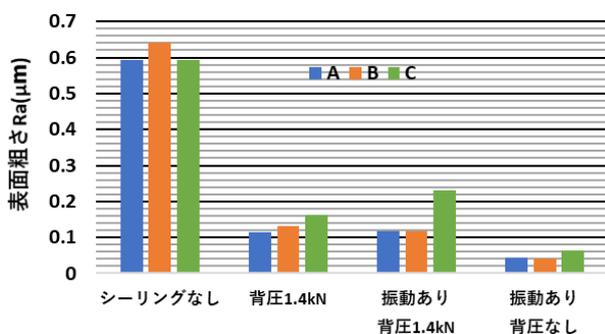
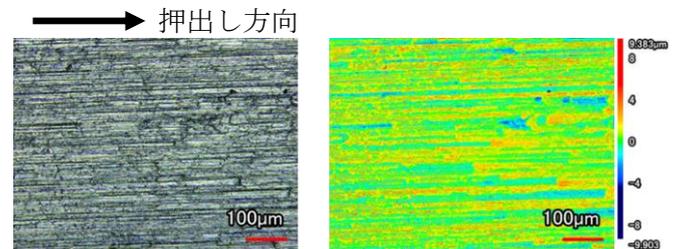


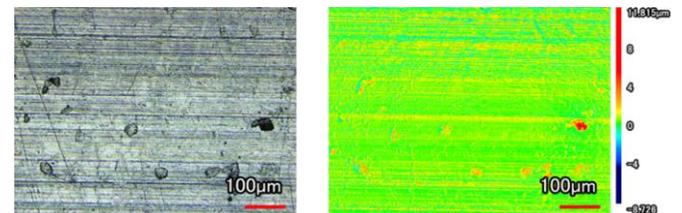
図 9 表面粗さの比較

表面性状については図 9 より、シーリングをすることで表面粗さが低下したことがわかる。また、図 10(a)の場合、矢印の押し出し方向に深い擦過傷や凝着がある

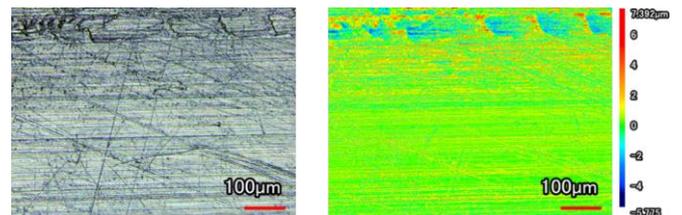
のに対し、図 10(d)の場合は傷が少なかった。これらのことから潤滑油が封入されていたと考える。図 10(d)では押し出し方向と垂直な向きに傷が入っている。これは、試験片を取り出す際についた傷だと考えられる。



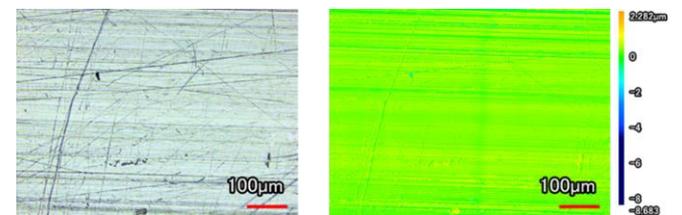
(a) シーリングなし



(b) 振動なし 背圧 1.4kN



(c) 振動あり 背圧 1.4kN



(d) 振動あり背圧なし

図 10 加工後の表面性状(A 部)

## 6. 参考文献等

- 1) 王梓印, 松嶋秀哲, 今田航平, 柳田明, 分流鍛造とモーション効果によるボンデフリー加工の研究, 第 69 回塑性加工連合講演会, 279-280.
- 2) R. Matsumoto et al.: Prevention of galling in forming of deep hole with retreat and advance pulse ram motion on servo press, CIRP Annals, 60/1(2011), 315-318.
- 3) 奥村英之, 荒川泰行, 「FM フォーミングによるスプライン塑性加工の開発」: ヤマハ発動機技報, 42 (2006), 131-135.