

# 新しい圧力センサの開発と押し出しにおける圧力測定

米山 猛\*

## 1. 緒言

塑性加工において、工具表面にはたらく圧力を検出することは、工具設計のためにも、変形解析のための基礎データとしても必要である。このため、測圧ピン法や感圧シート法、工具外表面のひずみ検出から内面の圧力を算出する方法などが行われている。この中で測圧ピン法は直接に、リアルタイムで圧力を検出できる利点をもっているが、検出ピンの剛性が工具の剛性と異なることや、工具に設けた穴とピンとの間に隙間が存在することなどから、工具面上のすべりが大きい場合や、潤滑を行う場合には、材料が突出したピン先にぶつかったり、加工材料や潤滑剤が隙間に入り込むなどの問題を生じ、測定に干渉が生じるという欠点を持っている。

そこで、工具表面にすきまを作らずに圧力を検出すること、また従来のひずみゲージでは測定が困難であった高温の温度領域で測定を可能にすることを目標に新しい圧力センサを開発した。具体的には、工具表面の圧力を検出する部分に薄肉の平板部分を残し、圧力が負荷された時のこの平板部のたわみ変位を光ファイバ式変位計を用いて検出する圧力センサを製作した。このセンサの開発と押し出しにおける圧力測定例について報告する。

## 2. 圧力センサの設計

### 2.1 冷間用圧力センサの設計

圧力センサの構造を図1に示す。光ファイバプローブの先端をクランプし、プローブ先端と平板との距離を $50\mu\text{m}$ 程度に近づけて、クランプブロックを平板周縁に近い段部に固定する。固定点を工具表面にできるだけ近づけてあるのは、周辺部の圧縮ひずみの影響をできるだけ避けるためである。またファイバの先端をクランプするのは、温度が変化した際のファイバと工具との熱膨張差を逃がすためである。

圧力検出の原理を図2に示す。工具表面が圧力を受た際、工具全体が縮み、平板周縁部からクランプブロックの固定点までが $X_1$ 変位するとともに薄肉平板部がたわみ変位 $X_2$ を起こす。したがって平板の最下点の変位 $X$ は $X = X_1 + X_2$ となる。この際ファイ

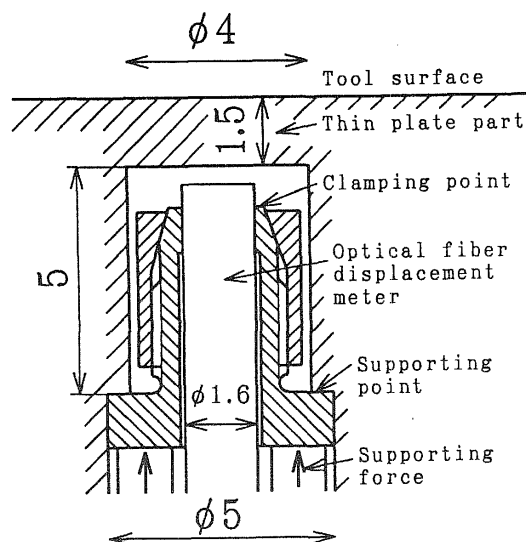


図1 圧力センサの構造

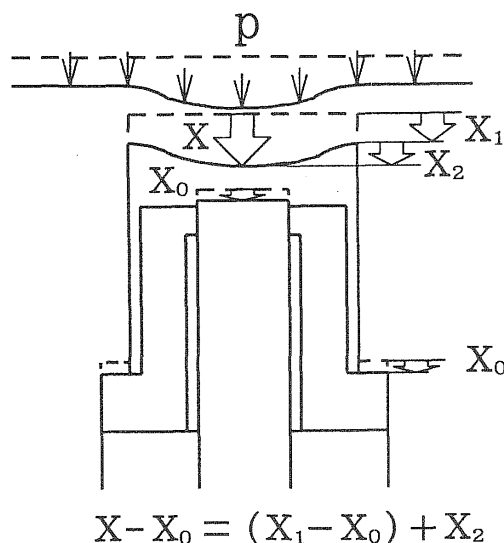


図2 圧力検出の原理

バの支持点も変位 $X_0$ を生じ、ファイバの先端も同量だけ変位すると考えられるので、ファイバが検出する変位 $U$ は、

$$U = X - X_0 = (X_1 - X_0) + X_2 \quad (1)$$

となる。

圧力センサの全体構造を図3に示す。クランプブロック②は伝達ブロック③を通じて固定ねじ④で押さえられている。ファイバプローブの根元を支持するのが⑤～⑧の部分で、プローブを固定したブロック⑤は保持ブロック⑥の円筒部にはめ込まれている。ファイバプローブと工具の熱膨脹差を逃がすために保持ブロック⑥の⑦部分はばね構造（薄肉平板の積層構造）になっており、ブロック⑤は保持ブロック⑥内を摺動できる。このガイド構造によってプローブが傾くのを防ぎながら、軸方向にはある程度の変位を許容することができる。

## 2.2 熱間用圧力センサの設計

冷間での圧力センサをさらに発展させて、アルミニウムの熱間押しなど400℃程度の温度域で使用できる圧力センサを設計した。このために、耐熱温度400℃の光ファイバ式変位計を使用した。圧力検出部の基本構造と原理は冷間のものと同じである。ただし、光の反射面の酸化を防ぐため、薄肉平板の反射面にニッケルメッキを施した。さらに酸化や汚れの付着を防止するため、図4のようにセンサ部を密閉する構造とした。窒素雰囲気中で組立を行い、接合部分にメタルOリングを用い、摺動部分には溶接ペローズを用いてシールした。これによって酸化やスケールの付着による出力の低下を防ぐことができた。

## 3. 押し実験システム

押しにおいてコンテナ内面の圧力を測定するシステムを図5に示す。製作した圧力センサをコンテナの2箇所に取り付けてある。ダイの位置をスペーサによって変えることができ、ピレットの初期位置をコンテナ内でずらすことができるので、複数の実験からコンテナ内での圧力分布を求めることができる。ダイの下部に設置したロードセルでダイにかかる荷重を、コンテナの下部に設置したロードセルでコンテナにかかる荷重を別々に検出することができる。押し荷重とダイ荷重、コンテナ荷重とを比べることによって、コンテナ壁面での摩擦分とダイでの変形抵抗分を分離して知ることができる。ラムは最大500kNの油圧プレスによって駆動される。

圧力センサの出力検定として、このコンテナ内に表面を潤滑したシリコンゴムを充填して加圧し、加圧圧力とセンサの出力との関係を求めて、圧力と出力との関係とした。またセンサ部以外を加圧して、センサの

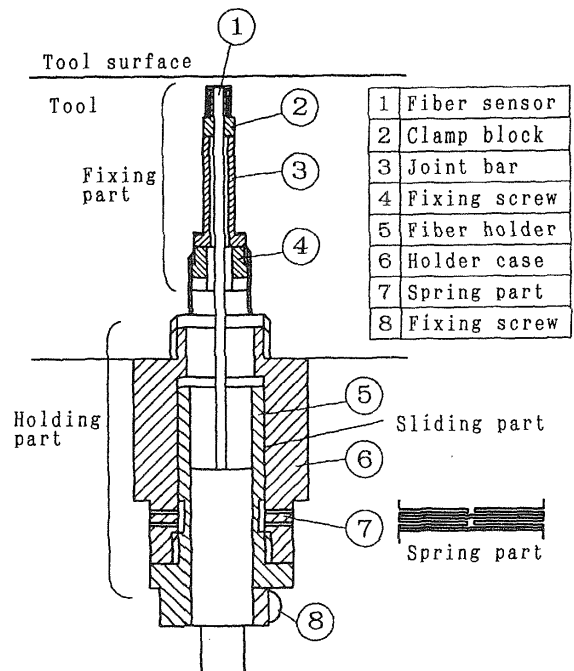


図3 圧力センサの全体構造

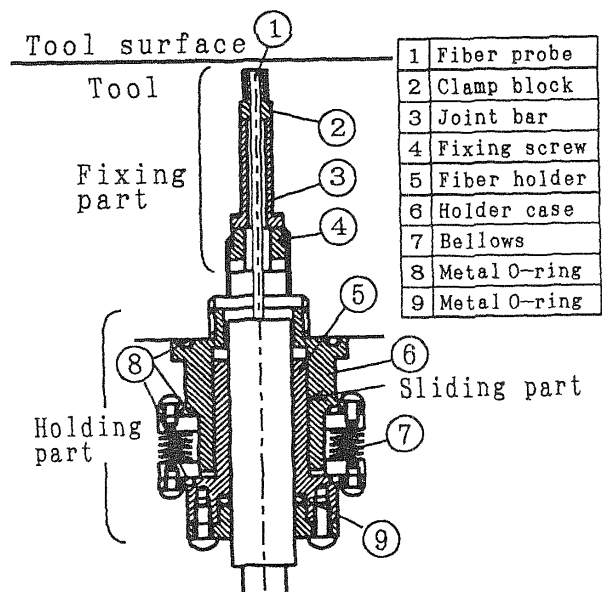


図4 熱間用圧力センサの構造

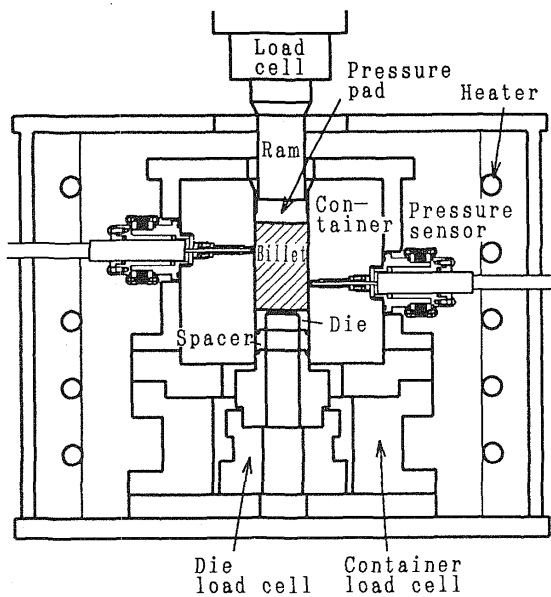


図5 押出し実験システム

出力に干渉しないかどうかを調べた。その結果、出力の直線性がよく、またセンサ部の近傍(センサの中心から4mm以内)に加圧された時以外はセンサの出力に干渉しないことを確認した。

#### 4. 押出しにおける圧力測定

##### 4.1 鉛材の冷間押出しにおける圧力測定

室温で鉛材を無潤滑、押出し比4で押出したときの圧力分布を図6に示す。ビレットがコンテナ内を摺動する際のコンテナ内面との摩擦のため、ビレットが長いほど押出し圧力は高くなり、コンテナにはたらく圧力もダイ近傍から押板に向かって高くなる分布となっている。押板面圧とダイ面圧は、それぞれの荷重を面積で割った平均面圧である。

無潤滑で間接押出し(後方押出し)を行った場合の圧力分布を図7に示す。この場合、ビレットはコンテナ内で固定され、ダイが上方から押し込まれる。ダイの近傍でのみ圧力が上昇していることがわかる。

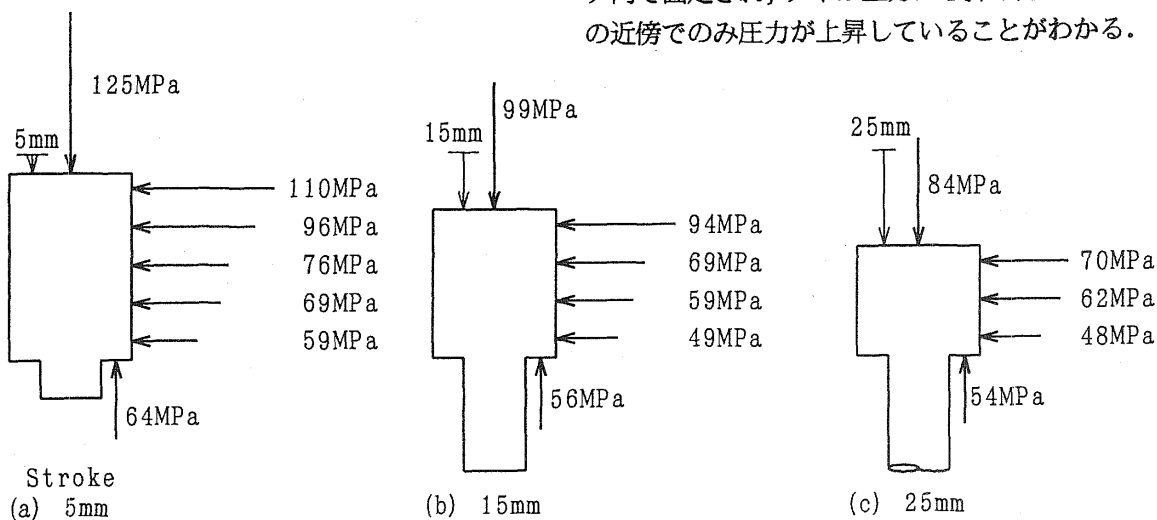


図6 鉛材の前方押出しにおける圧力分布

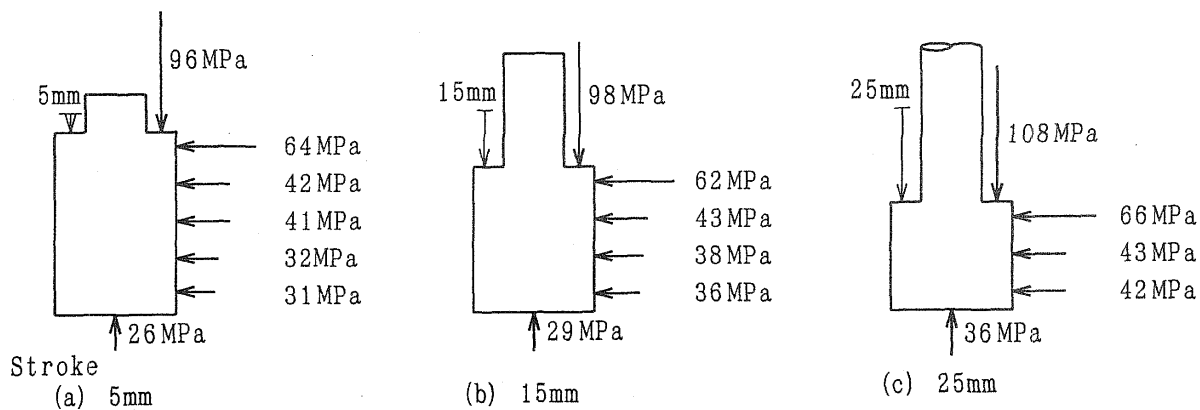


図7 鉛材の後方押出しにおける圧力分布

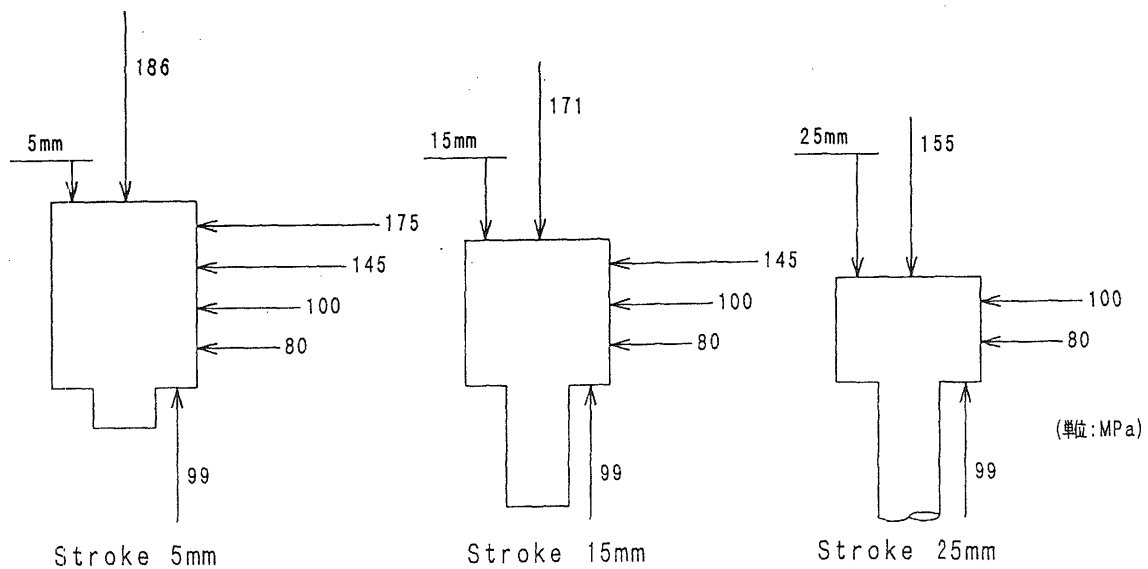


図8 純アルミニウム材の熱間押出しにおける圧力分布

#### 4.2 アルミニウム熱間押出しにおける圧力測定

純アルミニウムA1050を400℃で無潤滑で押出した時の圧力分布を図8に示す。鉛材の冷間押出しの場合と同様、コンテナにはたらく圧力はダイから押板に近づくにつれて大きくなっている。アルミニウム材の熱間押出しは通常無潤滑で行われるため、このようにピレットとコンテナ内面との摩擦によって押出し圧力が増大し、コンテナ内面に作用する圧力分布には勾配が発生する。

またアルミニウムの熱間押出しにおいては、押板とコンテナとのクリアランス部において、コンテナ内面にはたらく圧力が増大する傾向が見られた。この問題について種々の押板による違いを測定することを試みている。

#### 5. 結言

圧力検出部に隙間や段差を作らずに圧力を検出するセンサを開発し、熱間での測定も可能なように改良して、冷間押出し、熱間押出しにおけるコンテナ内面の圧力を測定した。本センサは、検出部に隙間や段差

がないことから、材料が工具表面をすべる場合や潤滑を行った場合にもその条件に与える影響が小さい状態で測定を行うことが可能である。また400℃程度の温度条件でも測定が可能となっており、アルミ材の熱間加工時の圧力測定が可能である。今後本センサの性能をさらに高めるとともに、各種の加工条件における圧力分布を明らかにしていきたいと考えている。

#### 引用文献

- (1) T.Yoneyama, M.Kitagawa. Measurement of the Contacting Stress in Extrusion. Advanced Technology of Plasticity 1993, 553-558.
- (2) 米山, 畑村, 北川, 榊原, 光ファイバセンサを用いた工具面圧力計の開発, 塑性と加工, 35-397(1994), 158-163.
- (3) 米山, 高塚, 北川, 畑村, アルミニウム熱間押出しにおける圧力測定, 塑性と加工, 36-419(1995),1397-1402.