

新しい応力センサを用いた押し出し工具面の実働応力測定

金沢大学 工学部 機械システム工学科

助教授 米山 猛

(平成4年度研究開発助成 AF-92021)

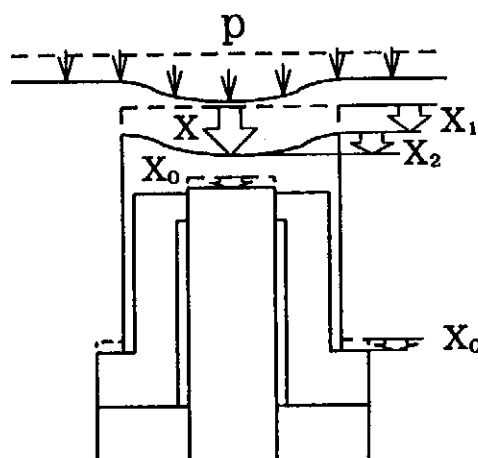
1. 研究の背景

塑性加工の工具面にはたらく圧力や摩擦応力を検出することは、材料と工具との摩擦条件を知り、加工過程を制御するためにも重要なことであるが、実測が困難な問題である。筆者は既に従来の測圧ピン法では圧力と摩擦応力とを同時に検出することが困難である問題点を克服して、一つの検出ピンで圧力と摩擦応力の両者を検出するセンサを開発した⁽¹⁾。しかし検出ピンと工具表面に設けた穴とのすきまに材料が入り込むなどの問題点が残っていた。そこで本研究では工具表面にすきまや段差を作らないで圧力・摩擦応力を検出する新しいセンサの開発を試みた。このセンサを用いて押し出し工具面にはたらく応力の測定を行った。さらにアルミニウム材の熱間押し出しに適用できるように、高温下でも使用できるセンサの開発をめざした。

2. 光ファイバセンサを用いた圧力計の開発

工具表面にすきまや段差を作らずに圧力を検出するセンサの一例として、光ファイバ式変位計を利用して圧力を検出するセンサを開発した⁽²⁾。基本的な構造を図1に示す。工具表面に薄肉部分が残るように裏側から穴をあけ、ファイバプローブの先端をこの薄肉部表面に向き合わせて近傍に固定する。プローブの熱膨張の影響を排除するため、プ

ローブの先端をクランプして固定している。圧力検出の原理は図2に示すとおりである。工具表面に圧力が作用すると薄肉平板部分がたわみ変形する。この変位にクランプブロックの固定部分と工具表面までの工具部分のちぢみが加



$$X - X_0 = (X_1 - X_0) + X_2$$

図2 圧力検出の原理

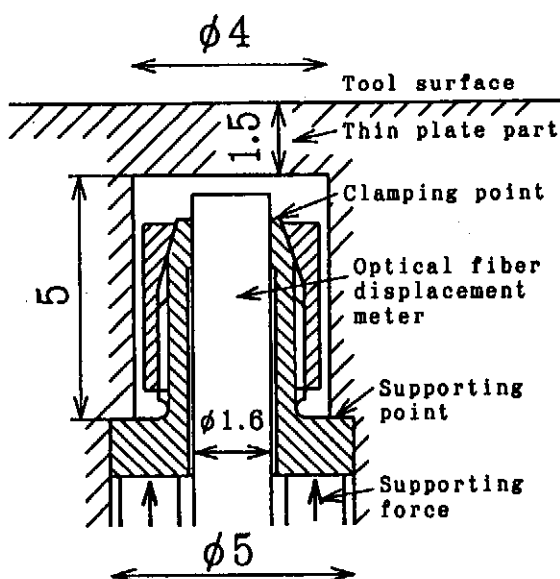


図1 光ファイバセンサを用いた圧力計の構造

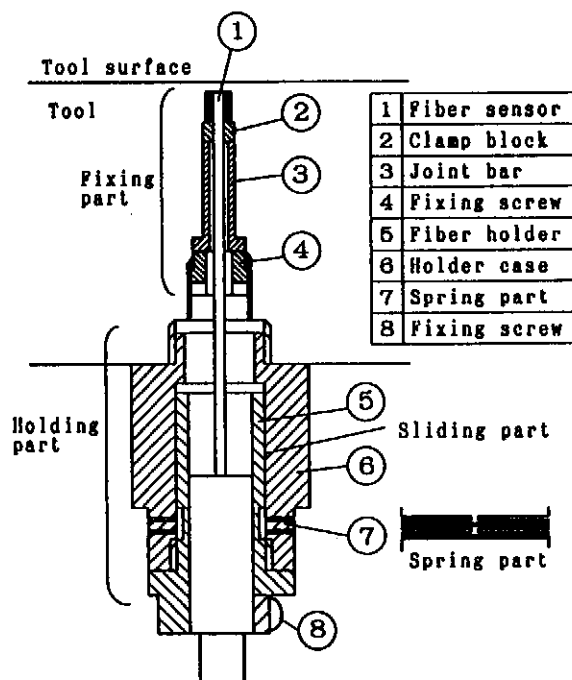


図3 圧力計の全体構造

わった変位がプローブ先端と検出面との距離の変化として検出される。このようにして変位計の出力から圧力を検出することができる。

光ファイバセンサプローブの支持部を含めたセンサ部分の全体の構造を図3に示す。プローブの熱膨張を逃がしながら支持するために、スプリング構造部分を持ったホルダーで支えている。

3. 二重円筒形圧力計の開発

工具表面にすきまや段差をつくらずに圧力を検出するセンサのもう一つの例として、図4のような工具表面を共通の軸端に持つ二重円筒形構造の圧力計を開発した。圧力検出の原理は図5のようで、工具表面に圧力が作用すると、内軸に圧縮応力が、外軸に引張応力が発生するので、これらの表面にひずみゲージをはりつけて検出するものである。このセンサを内径20mmの円筒コンテナ内に製作した。

4. 押し出しコンテナ面にはたらく圧力分布

光ファイバ式圧力センサを用いて図6のように、押し出しコンテナ内面にはたらく圧力の測定を行う装置を製作した。コンテナの内径は32mmである。室温で鉛材のビレットを用いて、直接押し出し、間接押し出し、せん孔押し出しなどを行い、コンテナ内面にはたらく圧力分布を求めた⁽³⁾。無潤滑条件、押し出し比4で直接押し出しを行った場合の圧力分布を図7に示す。コンテナ面とビレットとの摩擦のために、ダイスからの距離がはなれるほど圧力が大きくなるのがわかる。潤滑を行った場合との比較、間接押し出しの場合の圧力分布との比較などを行った。

ひずみゲージ式センサの場合も同様の装置を製作し、押

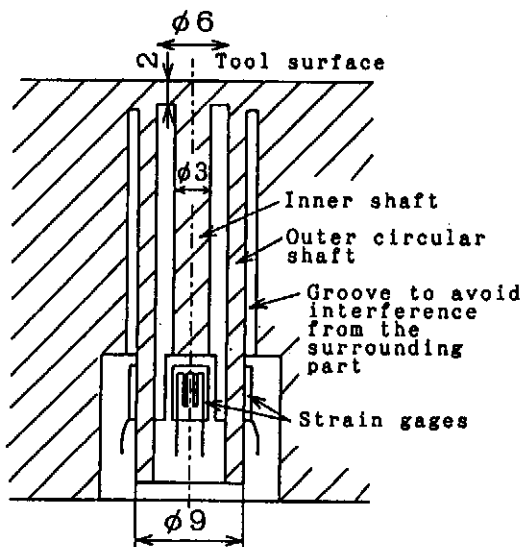


図4 二重円筒形圧力計

出しコンテナ内面にはたらく圧力分布の測定を行った。圧力分布の形は光ファイバ式圧力計で測定した場合と同じであったが、コンテナ内径が小さいため、圧力分布の勾配が大きくなった。これはビレットとコンテナとの接触面が相対的に大きいほど摩擦の影響を受けることを示している。

5. 摩擦センサ開発の試み

工具表面に作用する応力は圧力のみではなく、摩擦応力があり、この摩擦応力によって圧力分布が変わり、材料の変形も影響を受ける。そこでぜひとも摩擦応力の検出ができるセンサを開発したい。しかし摩擦応力の大きさは大きくても圧力の10分の1程度であり、それによる変形を取り

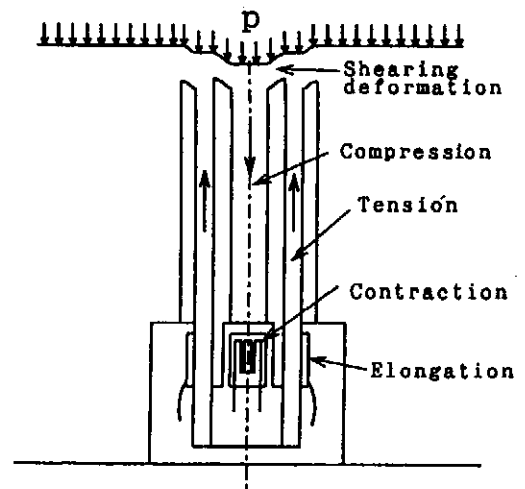


図5 圧力検出の原理

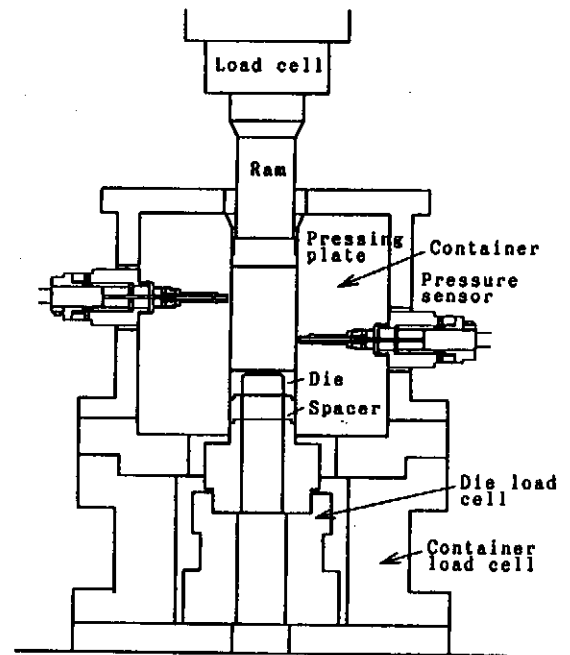


図6 押し出し実験装置

出すのは容易ではない。

圧力のみでなく、摩擦応力も検出するためのセンサを試作し、その性能を検討した。光ファイバセンサを用いた方式では、図8のような構造を考え、摩擦応力によって中心棒が傾くであろうと予測して、2本の光ファイバを用いて、この変位を検出することを試みた。しかし摩擦応力の検定装置を製作して、試験を行ったが、十分な出力は得られず、想定していたような変形が起こっていないと考えるにいたった。またひずみゲージ方式の場合も似たような構造のものを製作したが、やはり十分な出力が得られなかった。

そこで、摩擦応力によって生ずるであろうと想定した変形と構造に問題があると考え、工具表面に摩擦応力がはたらいた際の変形を検出できる構造について、有限要素法を用いて再検討を行った。図9のように平面ひずみ構造で、中

心板と両側の板とが工具表面を板端として共有した構造をつくると、摩擦応力をかけた際に中心板と両サイドの板とが反対方向に傾き、これらを反対の端でつなぐと両者が曲げ変形を起こすことを見いだした。この変形をひずみゲージで検出できるであろうと考えている。このひずみの大きさは、圧力が作用した際のひずみの大きさのレベルの10分の1程度なので、測定精度が問題になると予測される。現在この考え方で押出しコンテナ内面の摩擦応力を検出するためのセンサを設計し、製作を行っているところである。

6. 熱間押出しの圧力測定

アルミニウムの熱間押出しは450℃～500℃で行われる。このような高温状態で圧力を測定するためにはセンサがこのような高温に耐えられなければならない。ひずみゲージ

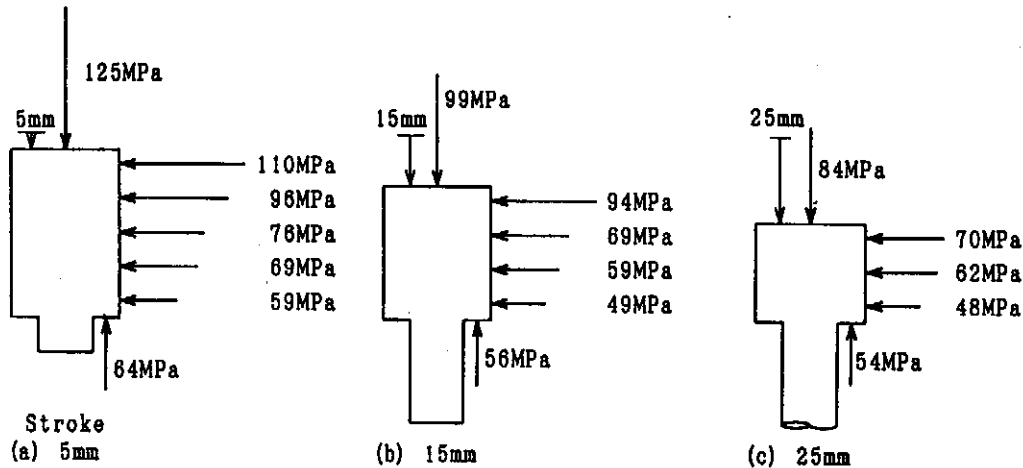


図7 押出しコンテナ内面にはたらく圧力分布

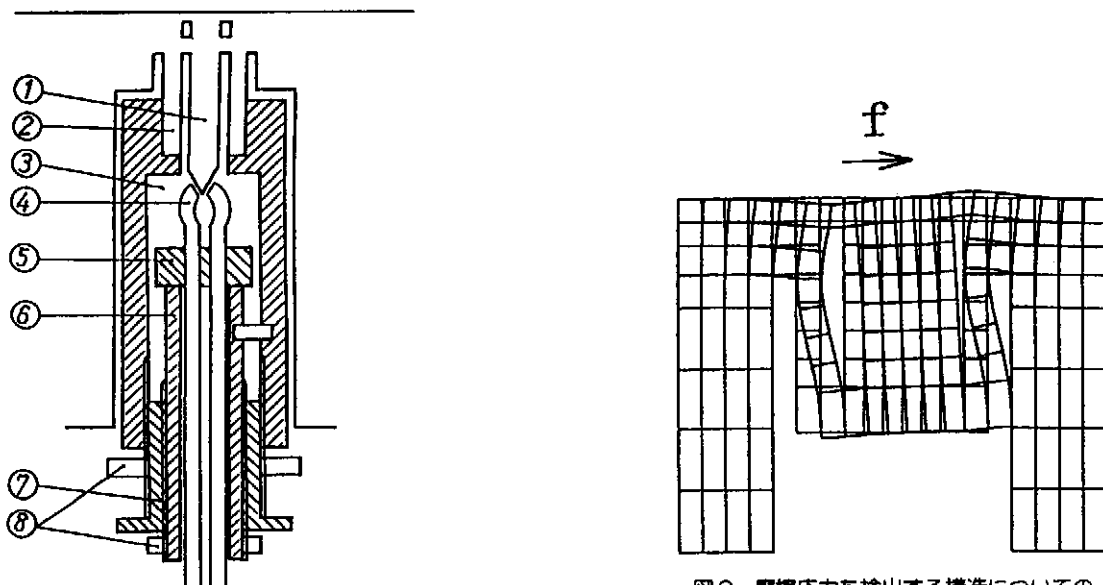


図8 光ファイバセンサを用いた摩擦応力検出の試み

図9 摩擦応力を検出する構造についての有限要素法による検討

ではこのような高温に耐えられるものはゲージの寸法が大きく、圧力計に適用するには困難がある。光ファイバ式センサはこのような高温に耐えられるであろうと期待して採用した。できるだけ耐熱温度を上げるようセンサのメーカー(㈱サンテクノ)に求め、400℃の耐熱温度を持つ光ファイバプローブを製作していただいた。さらに図1のセンサの構造において、光の反射面が高温下で酸化して反射率が低下すると予想されたため、この面にニッケルメッキを施した。

このセンサを用いて、A1050材の熱間押し出しにおいてコンテナ内面にはたらく圧力を測定した⁽⁴⁾。その結果を図10に示す。光の反射面の酸化を防ぐメッキを施したのであるが、測定中に反射面にスケールが付着して、反射率が低下する問題が生じたため、実験前後で、出力レベルが異なっており、実験中の出力レベルを特定できないため、実験前後の換算率で求めた値を並記してある。鉛材を室温で行った実験の結果に比べ、アルミニウム材の熱間押し出しでは、摩擦による圧力上昇がより大きいことがうかがわれる。今後はセンサの出力特性が実験中に変化するのを防ぐため、センサ内部を無酸素状態にして組んだ後シールする構造に改良し、実験を行う予定である。

7. 結 言

工具表面にすきまや段差をつくらずに圧力を検出する2種類のセンサを開発した。これらのセンサにより、押し出しコンテナ内面にはたらく圧力分布の測定を行い、その特徴を明かにした。摩擦応力を検出するセンサについてはまだ開発途上にある。圧力センサを高温下で適用できるようにさらに改善をはかる予定である。

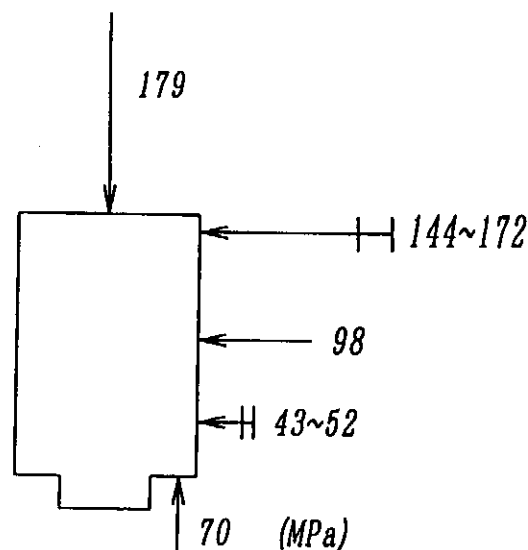


図10 アルミニウム熱間押し出しにおけるコンテナ面圧力分布

謝 辞

本研究を進めるに当たり、助成を賜った天田金属加工機械技術振興財団に厚く御礼を申し上げる。複雑なセンサの構造の製作にあたっては日鈴精機工業株式会社および金沢大学工作センターにお世話になった。

参考文献

- (1) 米山猛・畑村洋太郎：日本機械学会論文集 (C) 52-481 (1986), 2551.
- (2) 米山猛・畑村洋太郎・北川正義、榊原孝二：塑性と加工 35-397 (1994), 158.
- (3) Takeshi Yoneyama, Masayoshi Kitagawa : Proc. 4th ICTP (1993), 553.
- (4) 米山猛・高塚和彦：日本塑性加工学会第3回北陸支部講演会講演論文集 (1994), 47.