

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656102

研究課題名（和文） サーボプレスモーションと摩擦変化についての小型摩擦センサによる解明と摩擦制御成形

研究課題名（英文） Study on the relation between servo press motion and friction using miniature friction sensors and friction control forming

研究代表者

米山 猛 (YONEYAMA TAKESHI)

金沢大学・機械工学系・教授

研究者番号：30175020

研究成果の概要（和文）：

小型の工具表面摩擦センサを用いて、塑性加工中に材料と工具表面の間にはたらく摩擦応力を検出して、サーボプレスのモーションと摩擦挙動との関係を明らかにし、サーボプレス成形における摩擦制御成形を応用することを目的とした。このために、小型の工具表面摩擦センサの製作を進めた。材料の中心にポンチを押し込む形状の成形品についてのサーボプレスによる鍛造実験を行い、ポンチ表面での摩擦による変形挙動について調べた。さらにポンチ表面での摩擦応力を検出するため、摩擦センサを表面に埋め込むポンチを製作した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study is to elucidate the relation between servo press motion and friction by the measurement of friction between the work and the tool surface using a miniature friction sensor and to apply the results to friction control forming. For this purpose, a miniature friction sensor has been designed and manufactured. For the heat proof of the sensor for the application to the hot forging, heat proof strain gauge and bonding has been challenged. Forging test has been carried out to investigate the deformation around the punch corner. A punch to insert the friction sensors has been manufactured to detect the friction around the punch corner.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：成形加工，摩擦センサ

## 1. 研究開始当初の背景

塑性加工において工具表面の圧力を検出する方法として、1950年代に Siebel らが測圧ピン法を開発し、加工中の界面圧力の解明に役立ってきた。筆者は当初測圧ピンの方式で圧力のみでなく、摩擦応力も検出するセンサを開発したが、その後、2004年に

工具表面に段差やすきまを作らない構造で圧力と摩擦応力を検出する摩擦センサを開発した。これを用いてアルミニウム熱間押出しにおけるコンテナ内摩擦挙動の測定を行い、等温押出し条件の解明に役立てることができた。このセンサの検出部寸法が10mm程度であったが、近年2mmのもの

を開発している。

一方板成形や鍛造を行うプレスは近年サーボプレスが活用されるようになってきた。サーボプレスはサーボモータを用いるため、様々な加工モーションを与えることができる。例えば、深絞り成形において、スライドを間欠的に動かすことによって、しわ押さえ界面への潤滑供給を促進して、深絞り成形能を大きく向上させることが報告されている。また鍛造においても工具の上下動モーションを用い、摩擦を活用して変形性能を向上させた例などが報告されている。今後ますますサーボプレスの活用が期待されている。しかし、サーボプレスによるモーションによって具体的に工具界面での摩擦応力がどのように変化したのかについては、実測されていない。

## 2. 研究の目的

本研究は、筆者らが開発した小型の工具表面摩擦センサ（検出部直径2mm）を用いて、塑性加工中に材料と工具表面の間にはたらく摩擦応力をモニタリングし、サーボプレスのモーションと摩擦挙動との関係を明らかにした上で、サーボプレス成形における摩擦制御を行って、塑性加工変形の向上を図るものである。サーボプレスでは、間欠モーションや上下動、加工速度変化、ダイクッションモーションなど、工具の動きを様々な与えることが可能であり、それによって変形材料と工具表面との摩擦条件を加工中に変化させることが可能である。しかしモーションによって摩擦条件がどう変化するかは未解明であり、本研究では、サーボプレス成形による摩擦変化について摩擦センサを用いて解明するとともに、摩擦を制御する成形モーションを実現する。

## 3. 研究の方法

### (1) 小型摩擦センサの製作

検出部直径が2mmの摩擦センサを製作し、圧力・摩擦検出特性を検定する。摩擦センサの構造を図1に示す。この基本原理は工具表面に薄肉部を作りその下面に2本のビームをつけ、ビームの下端を平板でつないで、この平板のひずみを検出することで圧力と摩擦応力を検出するものである。想定される負荷圧力範囲、摩擦応力範囲に応じて、工具表面の薄肉厚さ、検出平板の厚さなどを設計する。微細放電加工を用いて直径2mmのサイズでこの構造を加工する。スパッタリング手法を用いて平板部にひずみゲージを作成する。この手法によると恒常的に350°Cに耐えるセンサの製作が可能である。さらに配線ブロックを組み合わせるとセンサが出来上がる。

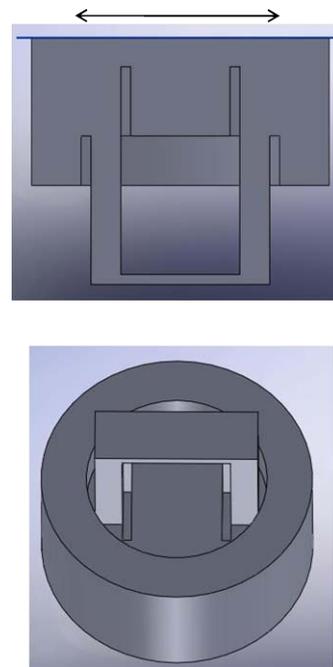


図1 摩擦センサの構造

### (2) 性能検定

摩擦出力の検定装置を製作する。これは検出表面に材料を押し当てて圧力を負荷し、さらに摩擦方向に負荷することで、与えた

摩擦応力とセンサからの出力との関係を求めるものである。

### (3) 鍛造試験

円盤ブロックの中央部にポンチを押し込む形式の鍛造を行い、ポンチコーナ部での摩擦による変形挙動や鍛造荷重について検討する。

### (4) センサを組み込むポンチの設計

摩擦センサを組み込んだポンチの設計を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 摩擦センサの製作

製作した摩擦センサブロックを図2に示す。



図2 センサブロック

熱間鍛造に適用できることを考え、350℃に耐えるセンサを目指して、耐熱性のひずみゲージを検出面に作成した。検出面にはまずガラス皮膜がされており、そこに耐熱性のひずみゲージをスパッタリングでつけ、その後ひずみを検出する細線部分にさらにガラス皮膜をつけた後で、電極膜を蒸着している。ひずみゲージの膜とは別に電極膜をつけた

理由は、ひずみゲージ膜自身は半田付けなどができなかったからである。次に電極膜にリード線を超音波ボンディングする試みを行った。



ひずみゲージ

電極膜

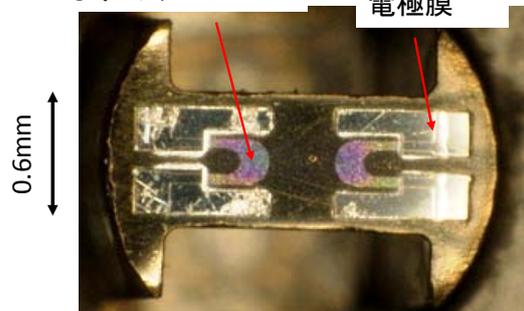


図3 ひずみゲージを蒸着したセンサ

電極膜に直径0.1mmのリード線をボンディングした例を図4に示す。アルミニウム線を超音波ボンディングした例である。



図4 電極膜にアルミ線を超音波ボンディングした例

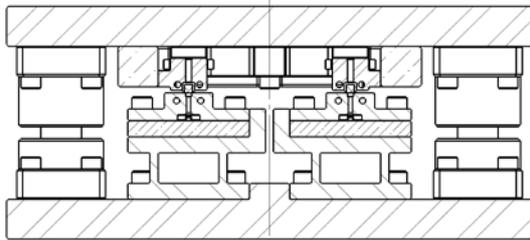
リード線をボンディングした後、図5のように配線保持ブリッジを接着して、センサの配線を終了する予定である。



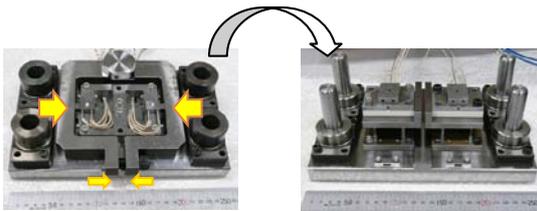
図5 リード線配線後の摩擦センサ

### (2) 摩擦センサの検定

耐熱性の摩擦センサの製作には時間がかかったため、室温で使用できる摩擦センサを市販のひずみゲージを貼り付けることで製作し、図6に示す検定装置を製作して出力検定を行なった。アルミニウムブロックをセンサの検出面上で圧縮し、さらに横方向に荷重をかけて、接触面に摩擦力をかける装置である。摩擦センサの出力例を図7に示す。



(a) 検定装置断面



(b) 上面

(c) 下面

図6 出力検定装置

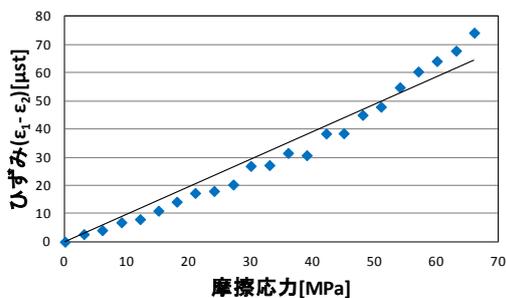


図7 摩擦センサの出力結果の例

### (3) 鍛造実験

鍛造における摩擦の影響を調べるため、図8のような断面形状に成形する軸対象の鍛造を行なった。

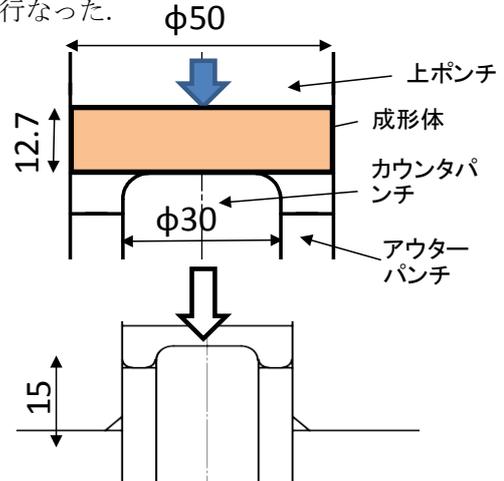


図8 軸対象鍛造

成形材料はA5052で直径49mm厚さ12.7mmの円盤をコンテナ内に挿入し、6300kNサーボプレスを用いて鍛造した。

鍛造後の成形品断面形状（エッチングしたものを図9に示す。これはアウトーパーンチの位置を固定して鍛造したもので、最大荷重を1200kNで終了させたものである。カウンタパンチのコーナ部における摩擦によって材料流動が遅れるため、下端面内側コーナ部に材料が充填しないことがわかる。

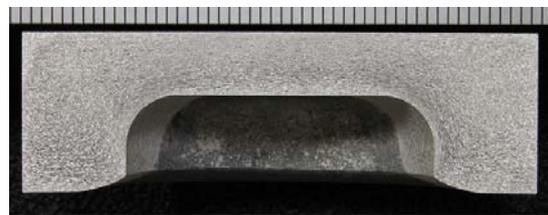


図9 成形品の断面写真

### (4) センサを組み込むパンチの設計

鍛造実験の結果を踏まえて、カウンタパンチコーナ部に摩擦センサを配置することを決め、センサを組み込むパンチを図10のよ

うに設計した. 製作したパンチを図 11 に示す. このパンチを用いた鍛造金型を用いて, 実験を行う予定である.

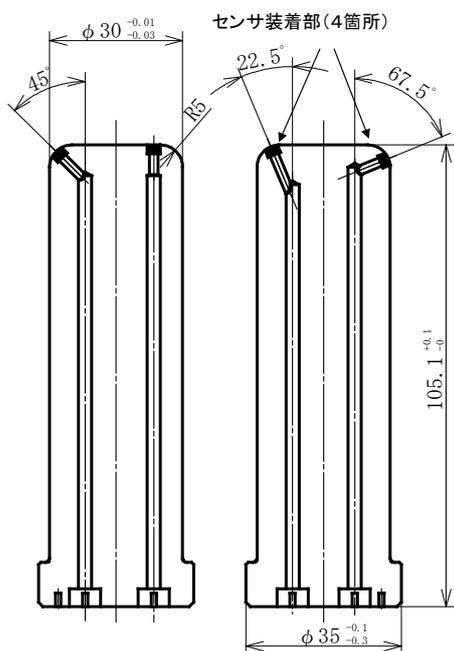


図 10 摩擦センサを組み込むカウンタパンチ



図 11 製作したカウンタパンチ (センサ挿入前)

#### (5) まとめ

鍛造における摩擦制御成形をめざして研究を進めたが, 摩擦センサの製作に時間を要し, 研究期間内に達成できたのは, 摩擦センサを組み込んだ鍛造装置を製作するところまでであったが, この装置を用いて鍛造実験を行い, 鍛造における摩擦現象を明らかにす

るとともに, サーボプレスを用いた摩擦制御成形を試みる予定である.

#### 5. 主な発表論文等

本研究は, 摩擦センサを用いた鍛造実験までには至らなかったため, まだ論文投稿には至っていない. サーボプレスを用いた背圧鍛造については, 2013 年の塑性加工春季講演会で発表する予定である. 今後実験を行なってその結果をまとめ, 発表, 論文投稿していく予定である.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

米山 猛

金沢大学・理工研究域機械工学系・教授

研究者番号: 30175020

本研究を推進するに当たり, コマツ産機(株) 開発部 河本基一郎氏の協力を得た. 金沢大学自然科学研究科大学院生の牛島大輔, 金沢大学理工学域機械工学類 4 年の牧野公治の協力も得た.