

# 福岡工業大学 機関リポジトリ

## FITREPO

Title	多軸揺動加圧によるすえ込み鍛造加工に関する研究
Author(s)	廣田 健治
Citation	福岡工業大学総合研究機構研究所所報 第2巻 P31-P34
Issue Date	2020-2
URI	<a href="http://hdl.handle.net/11478/1526">http://hdl.handle.net/11478/1526</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher

Fukuoka Institute of Technology

# 多軸揺動加圧によるすえ込み鍛造加工に関する研究

廣田 健治 (工学部知能機械工学科)

## Study on Upset Forging with Rocking Motion by Using Multiple Linear Actuators

Kenji HIROTA (Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering)

### Abstract

In order to reduce forging load, we focused on the reduction of contact area with forging dies and proposed a new method with the flexible rocking motions created by using multiple linear actuators. A cylindrical specimens of annealed pure aluminum was compressed between flat dies up to a half of the initial height, in which a rocking motion was applied to the lower die in the latter half of the compression. The forging load was reduced by up to approximately 45 % compared with the conventional upsetting. The reduction of load increased with increasing the rocking angle and its frequency.

**Keywords :** Forging, Load, Deformation behavior, Rocking motion.

### 1. 緒言

鍛造加工は金型の形状に沿って塊状の金属素材を成形する塑性加工法で、自動車の駆動系部品の量産加工として工業的に広く用いられている。圧縮応力下での加工のため圧下とともに成形荷重が増加する。近年では、車両軽量化の要求から厚板を対象とした板鍛造加工<sup>(1)</sup>の需要が増えており、塊材の鍛造に比べて荷重の増加が顕著となることが問題となっている。

鍛造荷重の低減には、摩擦、変形抵抗、接触面積の低減が考えられ、様々な対策が講じられている。摩擦については潤滑剤や潤滑手法の開発が進められており、近年ではサーボプレスにより振動を与えることで再潤滑が行われる効果が報告されている<sup>(2)</sup>。変形抵抗は加熱状態で加工を行えば低減できるが金型寿命や加工精度が犠牲になる。また、圧下方向の応力低減という点では、ねじりを付加する効果が報告されている<sup>(3)</sup>。接触面積の低減については、Fig. 1(a)に示す回転鍛造がある。円錐状の工具を傾けて被加工材に押し当てながら回転させて加圧を行う工法で、円盤状部品の成形に用いられている<sup>(4)</sup>。しかし、この方法では加圧と回転の動力源が必要となり、加圧用のプレスが大型化してしまう。著者は回転鍛造のような動作を加圧機構のみで実現する多軸揺動加圧法を提案している<sup>(5)</sup>。本研究では、円柱を平板間で圧縮するすえ込み加工を対象に基礎的な加工特性の検討結果を述べる。

### 2. 多軸揺動加圧法の概略

Fig. 1 (b)に多軸揺動加圧法の概略を示す。加圧工具を複数の直動アクチュエータで支持し、各アクチュエータの動作

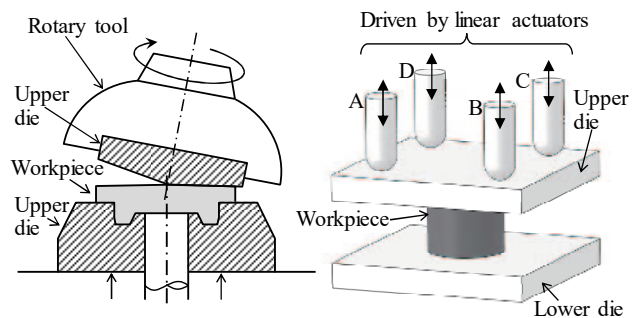
のタイミングをずらすことで加圧盤に任意の傾斜を与える。この傾斜を周期的に繰り返せば加圧機構のみで揺動動作が実現できる。これに加え、すべての加圧軸に並進動作を加えれば揺動を与えながら被加工材の加圧が可能となる。既存工法である回転鍛造に対する本加工法の優位性を以下に示す。

(1) 加圧用の動力源を並列に配置することで実現でき、傾斜角を調整する機械的な機構も不要なため、装置を小型化できる。

(2) すべての加圧軸を同期させて駆動すれば通常のプレスとしても使用できるため汎用性がある。

(3) 直動動作の連携により回転鍛造よりも多彩な加圧モーションを実現できる。これにより、荷重の低減だけでなく特定方向への展伸を利用した形状制御の可能性も期待できる。

(4) 加圧の途中で揺動条件を自由に变化させることができるため、荷重や形状の変化に応じた効率的な加圧が実現できる。



(a) Rotary forging (b) Proposal in this study

Fig. 1. Forging process for load reduction.

図1 荷重を低減する鍛造工法

### 3. 実験条件

〈3・1〉 実験装置 Fig. 2 に試作した二軸駆動の揺動加圧装置を示す。2機のサーボプレス用直動アクチュエータ⑨（定格推力 3.2 kN）が対角に配置され、球頭面を有する加圧軸⑦が取り付けられている。固定軸⑥を支点としてアクチュエータに連結された加圧軸⑦に往復動作を与えることで一方のシーソー式の揺動動作を行う。ただし、この状態では加圧が行えないため、今回は装置を万能試験機内に設置して、加圧動作は可動部①を降下させることで与えた。揺動盤⑤には球面軸受を介した支柱を取り付け、この支柱の下部をベース⑧に設置したガイドブッシュに収めることで、揺動盤の水平方向のずれを防止した。加圧工具④は昇降盤③と揺動盤⑤に取り付け、この間に円柱試片を設置して圧下を行う。荷重は万能試験機のロードセル②により、圧下量は③の変位を変位計によりそれぞれ取得し、荷重線図を作成した。

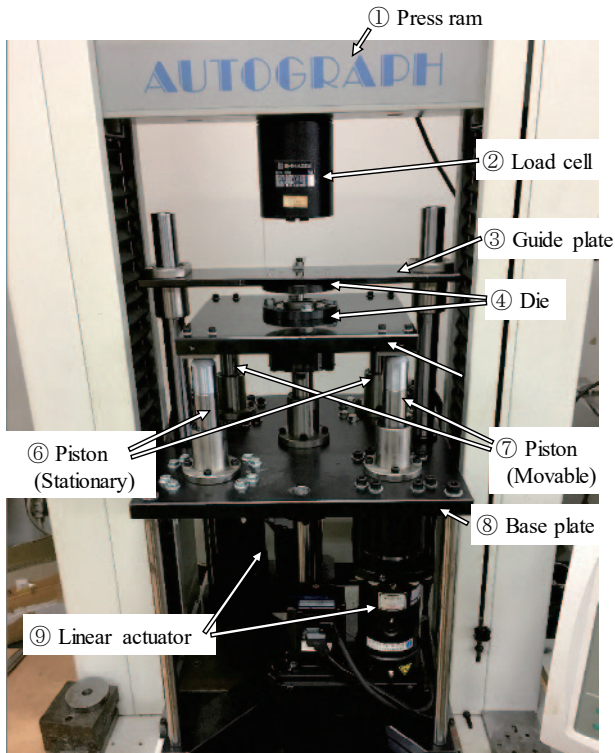


Fig. 2. Apparatus for upsetting with rocking motion.  
図2 揺動を伴うすえ込み加工装置

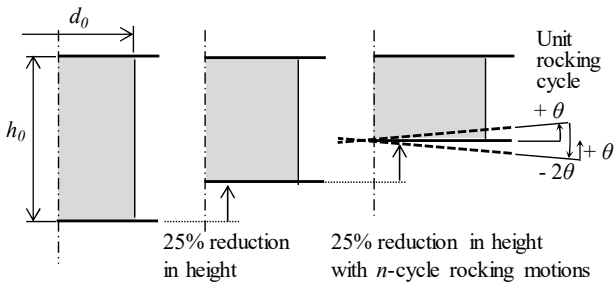


Fig. 3. Procedure of upsetting.  
図3 すえ込み加工の手順

〈3・2〉 実験条件 被加工材には純アルミニウム A1070 の焼きなまし材を用い、直径  $d_0 = 8 \text{ mm}$ 、高さ  $h_0 = 12 \text{ mm}$  に旋削加工して試片とした。なお、材質と寸法はアクチュエータの加圧能力から決定した。Fig. 3 に加圧動作と揺動条件を模式的に示す。高さ方向の総圧下率を  $R = 50 \%$  とし、 $R = 0 \sim 25 \%$  までは通常の加圧とし、荷重の増加が顕著となる  $R = 25 \sim 50 \%$  で揺動を与えた。 $\theta$  は加圧盤の最大傾斜角、 $n$  は  $\pm \theta$  の傾きが生じる動作を 1 サイクルとしたときの揺動サイクル数である。揺動による圧下量は  $25\%$  で一定のため、 $n$  が多いほど 1 サイクル当たりの圧下量は少なくなる。本実験では  $\theta$  を  $2^\circ, 3^\circ$ 、 $n$  を 5 回、10 回と変化させた。

基礎検討として速度による諸影響を排除するために、加圧速度は  $1 \text{ mm/min}$  と低速に設定した。また、傾斜による試片の横滑りが懸念されるため工具の加圧面には同心円状の溝を加工し、試片と工具の間は無潤滑状態とした。

加工後の試片の形状について、側面および端面の形状は帯状レーザーによる二次元プロファイル測定器を用いて測定した。

### 4. 実験結果および考察

〈4・1〉 荷重の変化 Fig. 4 に圧下率に対する荷重線図を示す。通常の加圧に比べ揺動を与えることで荷重が減少していることがわかる。また、揺動時には周期的な荷重のピークが確認でき、その数は揺動サイクル数の 2 倍に対応していた。これは、Fig. 3 のように 1 サイクル中に工具が左右 1 回ずつ上下し、そのタイミングで加圧のピークが生じることで説明できる。荷重の低減量を比較するために、通常の加圧による荷重  $F$  に対する揺動を与えた時の荷重減少量  $\Delta F$  の比を荷重低減率として揺動条件による比較を行った。Fig. 5 にその結果を示す。揺動角度  $\theta$  が大きいほど、揺動サイクル数  $n$  が多いほど、すなわち、単位揺動サイクルあたりの圧下率が小さいほど、荷重低減率が高くなる傾向を示した。また、点線と実線は圧下率による違いである

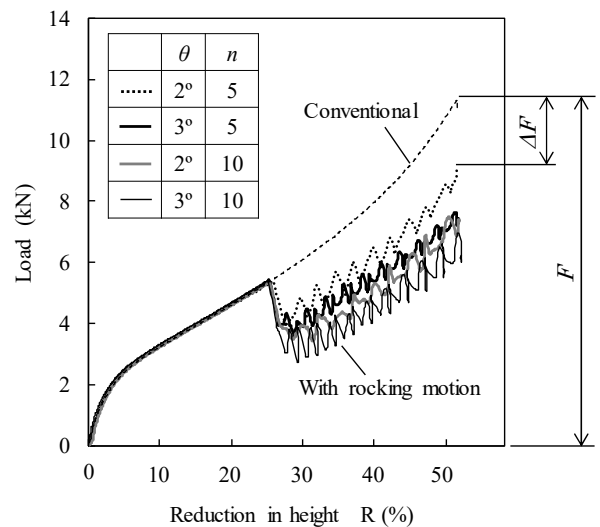


Fig. 4. Load-stroke diagram.  
図4 荷重—変位線図

が、圧下率が高いほど荷重低減率も増加する傾向にあることがわかる。

揺動工具側の試片端面には揺動による傾斜が残留していた。荷重低減率が最大および最小となった2条件に対して、形状測定結果から Fig. 6 のように傾斜部と平坦部の面積を近似計算し、加工終了時における接触面積の減少率  $\Delta A / A$  を計算した。 $\Delta A / A$  を荷重低減率と比較した結果を Fig. 6 (b) に示す。荷重低減率が大きいと両者はほぼ同じであるが、荷重低減率が小さくなると面積低減率の方が大きくなった。これは、面積は大きく減っているのに荷重はあまり減っていないことを表し、平均加工面圧が高くなっていることが示唆される。

〈4・2〉 試片側面の形状 加工後の試片について、揺動方向の最大径  $d_x$  とその直交方向の最大径  $d_y$  をマイクロメータで測定し、 $d_x / d_y$  を楕円率として算出した。Fig. 7 に揺動条件による比較を示す。揺動を与えない場合の結果は縦

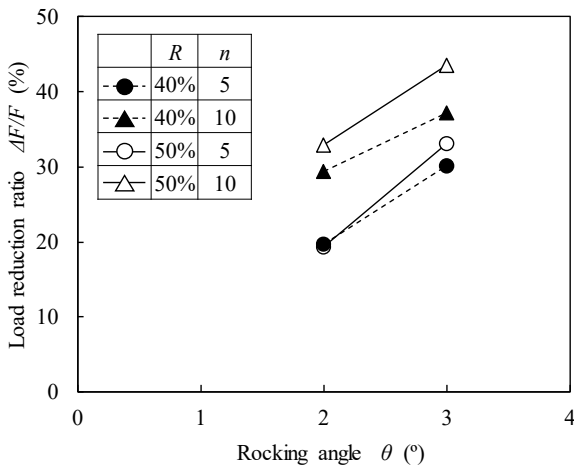


Fig. 5. Variation of load reduction ratio with rocking angle.

図5 揺動角度に対する荷重低減率の変化

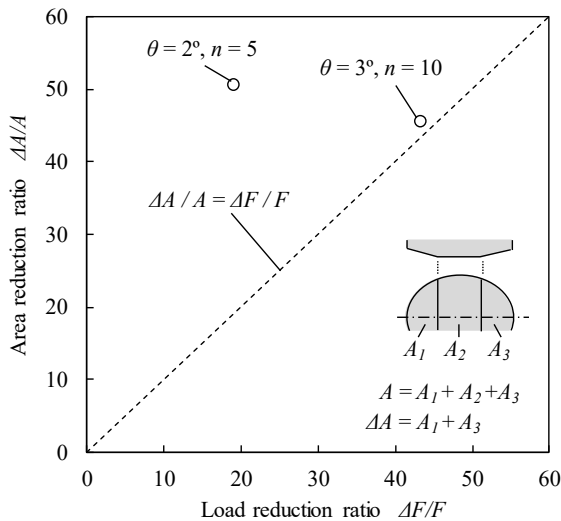


Fig. 6. Correlation between load reduction ratio and area reduction ratio.

図6 荷重低減率と面積低減率の相関

軸上に示すようにほぼ1となる。揺動を与えた場合、揺動角度が増加するほど、また、揺動サイクル数が多いほど楕円化が微増しており、最大で1.2となった。楕円化の傾向は Fig. 5 と対応しており、荷重低減率が大きい条件ほど楕円化が進んでいる。楕円化は軸対称性で見れば短所となるが、特定方向への展伸という用途を考えれば利用価値が見いだせる。

次に、揺動方向が  $x$  方向となるように座標系を設定して側面形状を測定した。最大径の半分の位置が原点となるように  $x < 0, y < 0$  の形状 II, IV を折り返して重ねた結果の1つを Fig. 8 に示す。無潤滑のため中央部がやや膨らむ樽形状となっているが、楕円化により  $x$  方向と  $y$  方向の輪郭位置に差が生じ、膨らみが最大となる位置は下面側に近い位置にある。このような側面形状の特徴について、Fig. 8 の点  $P_U, P_x, P_L$  の  $x$  座標を2倍して、揺動方向の各位置での径  $d_U, d_x, d_L$  を求めた。Fig. 9 に  $n = 10$  回の時の揺動角度に対する測定結果を示す。グラフ中の破線は円柱形状を維持して圧下された場合の理論値を示している。揺動を与えない通常の加圧では上下の端面の径はほぼ等しくなるが、揺動を与えると揺動工具側の径が大きくなる傾向を示した。 $n = 5$  回の場合も同様の結果となったが、 $n = 10$  回に比べると  $d_U$

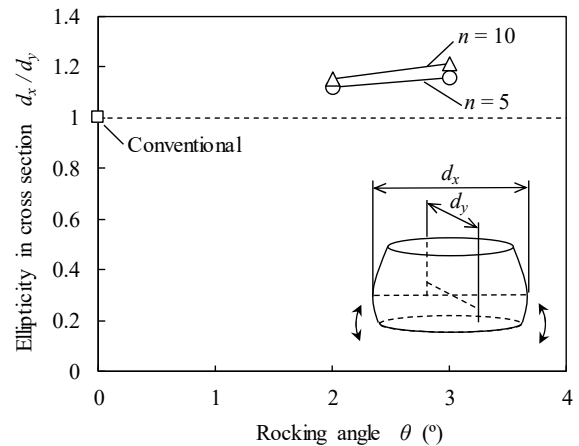


Fig. 7. Variation of ellipticity in cross section.

図7 横断面の楕円率の変化

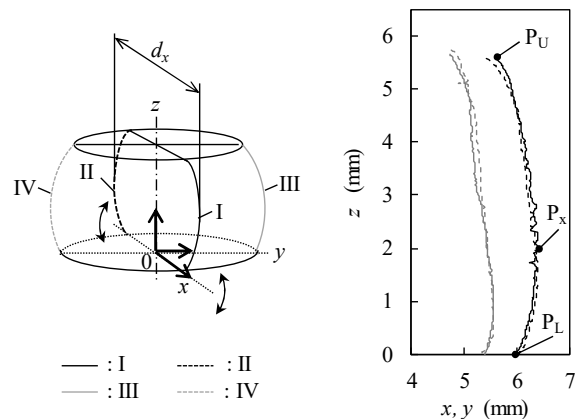


Fig. 8. Geometry of side face. ( $\theta = 3^\circ, n = 10$ )

図8 側面の形状

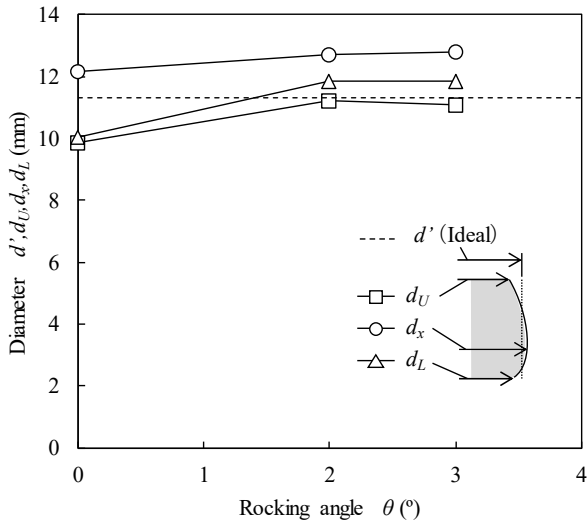


Fig. 9. Dependence of rocking angle on diameter deviation in the axial direction. ( $n=10$ )

図9 軸方向の直径のばらつきに及ぼす揺動角度の影響

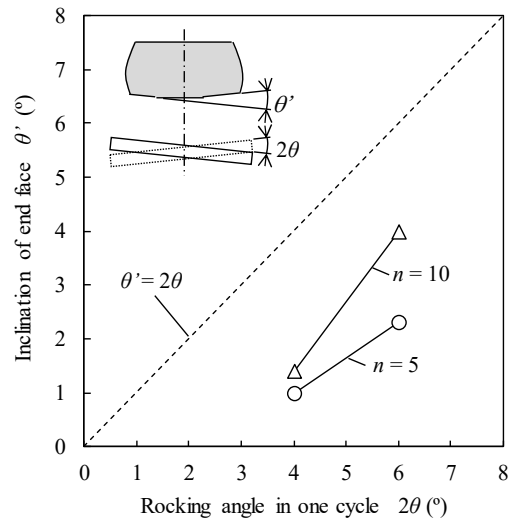


Fig. 10. Relation between rocking angle and flatness of the specimen.

図10 揺動角度と試片の平面度の関係

と  $d_L$  の差は小さくなった。

**〈4.3〉 試片端面に残留する傾斜** 揺動工具側の端面の形状を Fig. 8 の  $x$  軸に沿って測定し、端面に残留する傾斜角  $\theta'$  を求めた。Fig. 10 に  $\theta'$  を工具に与えた往復の傾斜角  $2\theta$  と比較した結果を示す。破線は  $\theta' = 2\theta$  となる状態を表しているが、測定値はいずれも破線より下方にあり、端面に残留する傾斜は工具に与えた傾斜よりも小さくなることがわかった。また、揺動角度が小さく、サイクル数が少ないほどその傾向が顕著となっている。これは、工具が傾いた状態から水平に戻るまでに圧下が進み、その間に面の傾きが変化したためと考えられる。また、この結果より工具に傾斜を与えても端面を一定のレベルまで平坦化できる可能性が期待できる。

**〈4.4〉 謝辞および今後の展望** 本研究は本学エレクトロニクス研究所の平成30年度研究費により実施したものである。ここに謝意を表す。

今回は二軸駆動のため万能試験機により加圧を行ったが、揺動による装置全体の揺れが認められた。したがって、今回の結果にはその影響が含まれている。原因は加圧部が装置外にあるためと考えられる。現在、Fig. 2 © の固定軸の箇所にもアクチュエータを追加して四軸駆動とし、装置単体で揺動加圧が行えるように改修を終えており、揺れを低減できることを確認している。今後、揺動条件の見直しとともに本論文の結果の検証を行う。

## 5. 結言

二軸駆動の揺動装置と万能試験機を用いて、純アルミニウムの円柱試片を高さ方向に50%圧縮する実験を行った結果、以下のことが明らかになった。

(1) 揺動を与えることで接触面積が減少し荷重を低減することが可能であった。その効果は、揺動角度、サイクル数、圧下率が大きくなるほど大きくなった。

(2) 加工後の試片は揺動方向に楕円化することがわかった。また、揺動工具と接する側の端面は固定工具側よりも径がやや大きくなる傾向が認められた。

(3) 揺動工具側の試片端面には揺動動作による傾斜が残留した。その角度は工具に与えた角度よりも小さくなることがわかった。

(2019年10月9日受付)

## 文 献

- (1) 鈴木敬：「板鍛造部品の動向」, 塑性と加工, Vol.51, No.594 pp.633-637 (2010)
- (2) 前野知美, 小坂田宏造, 森謙一郎：「荷重振動による板鍛造における摩擦低減」, Vol.50, No.585 pp.951-955 (2009)
- (3) R. Matsumoto, J. Kou and H. Utsunomiya : "Reduction in axial forging load by low-frequency torsional oscillation in cold upsetting", Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol.93, Issue 1-4 pp.933-943 (2017)
- (4) 平井幸男, 久保勝司：「回転鍛造法の適用事例と最近の動向」, 塑性と加工, Vol.30, No.345 pp.1361-1366 (1989)
- (5) 廣田健治：「プレス加工装置」, 特願 2018-47775 (2018年3月15日)