

多軸揺動加圧法の開発と鍛造加工への応用

福岡工業大学 工学部・知能機械工学科 廣田 健治

1. はじめに

鍛造加工では圧下が進むにつれて荷重がする。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。

荷重増加の主な原因として①接触面積の増加、②変形抵抗の増加、③摩擦の増加が挙げられ、様々な対策が講じられている。①については円錐状の工具を用いる回転鍛造が工業的に用いられている¹⁾。②については加熱をすれば加工硬化の影響を低減できる。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²⁾。③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方法が試みられている³⁾。

2. 目的

ブロックを単軸圧縮する際の平均加工面圧の算出式において、摩擦項は断面アスペクト比の逆数

と摩擦係数の積に比例する⁴⁾。すなわち、同じ摩擦状態あっても断面アスペクト比が小さいほど加工面圧は高くなる。板鍛造加工で荷重の増加が顕著となる一因もここにあり、接触面積の低減はその有用な解決策といえる。前述の回転鍛造は、図1(a)に示すように傾斜回転を与えながら逐次的に加圧を行う工法であるが、回転と加圧の機構を備えた特殊なプレス機械が必要となる。著者は同様の加工を図1(b)のように加圧動作の連係で実現する手法を提案した。2017年度は2機の直動アクチュエータを用いてA,Cを支点にB,Dにシーソー動作を与えながら加圧を行い、荷重の低減が可能であることを確認している⁵⁾。しかし、支点となる2軸を駆動できないため万能試験機による補助的な加圧が必要であった。本研究では同型のアクチュエータを2機追加してA,C軸も駆動できるようにし装置単体での揺動加圧を実現する。そして、揺動条件による荷重低減効果および形状精度への影響を明らかにすることを目的とする。

3. 実用的な価値、実用化の見込など

本研究で提案する手法は、図1(a)の回転鍛造加工に比べて次の実用上の特徴を有する。

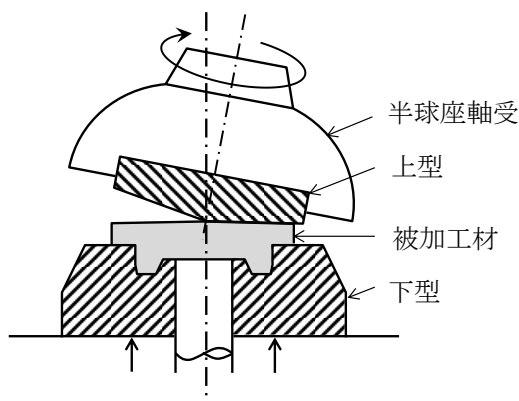
- (1) 直動アクチュエータを並列に配置することで実現できるため装置を小型化できる。
- (2) 通常のプレスとしても使用でき汎用性がある。
- (3) 直動動作の連係により様々な揺動加圧モーションを実現できる。これにより、荷重の低減だけでなく特定方向への展伸など形状制御の可能性も期待できる。
- (4) 加工中に揺動条件を変化させることができ、荷重の変化に応じた効率的な加圧が実現できる。

実用化の見込みについて、高出力の直動アクチュエータは既にプレス機に用いられており、本装置のスケールアップは可能である。モデル実験での結果をもとに、実生産の条件下で懸念される事項を検証が必要となる。

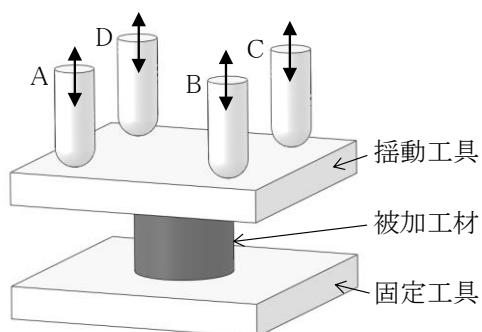
4. 研究内容の詳細

4.1 加圧装置および実験条件

図2に加工装置の外観を示す。図1(b)を倒置した構造となっており、A~Dの加圧軸の直下に定格出力3.2kNの直動アクチュエータが設置されている。揺動盤は加圧軸先端の球頭工具で支持さ



(a) 回転鍛造



(b) 多軸揺動鍛造

図1 接触面積を低減する加圧法

れ、中心部分は球面軸受を介して昇降可能な状態に保持されている。昨年度は2軸駆動のため軸Aと軸Cを基板に固定し、上工具を万能試験機で駆動して加圧を行っていた。本年度は、上工具の上方にロードセルと天板を設置し、軸Aと軸Cに並進動作、軸Bと軸Dに並進と揺動の動作を与えることで装置単体で揺動加圧および荷重の計測が行えるようにした。

図3に実験条件を示す。被加工材は直径 8mm、高さ 8mm の純アルミニウムの焼きなまし材を使用し、無潤滑で高さ方向に 50% 圧縮する。圧下率 25% までは通常の加圧を行い、25~50% まで揺動圧縮を行う。揺動条件として揺動工具の傾斜角 θ とサイクル数 n の組み合わせを $(\theta, n) = (1^\circ, 10 \text{ 回}), (1^\circ, 20 \text{ 回}), (2^\circ, 5 \text{ 回}), (2^\circ, 10 \text{ 回})$ の 4 通りに変化させた。揺動工程の圧下率は 25% で一定としているため、 n が多いほど単位サイクルあたりの圧下量は小さくなる。例えば、 $n=5$ 回なら揺動工具が左右に 1 回ずつ傾斜する間に高さ方向に 5% 圧下されることになる。

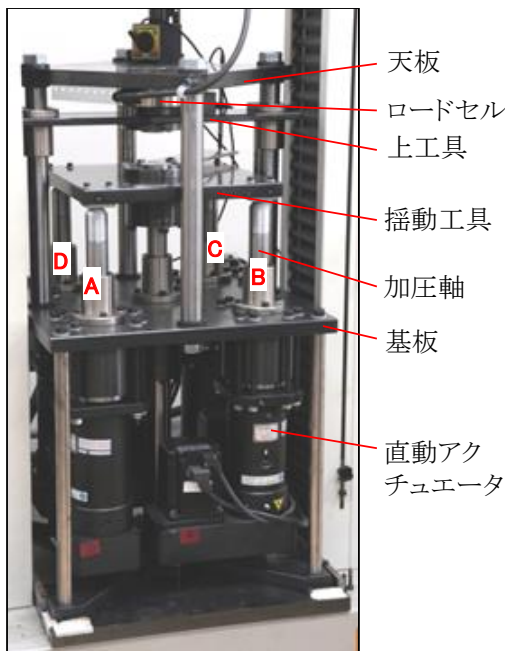


図2 揺動加圧装置

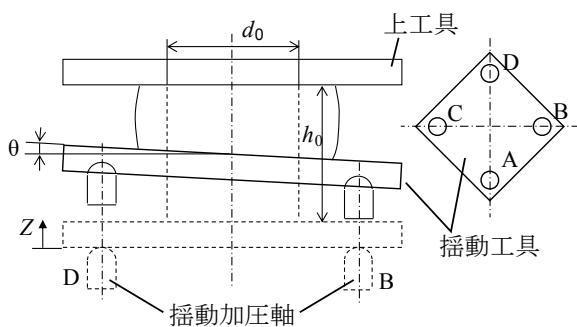


図3 実験条件

4.2 荷重低減効果

図4に揺動の有無による荷重線図の違いを示す。揺動を与えることで 28% 荷重が低減している ($\Delta F/F \approx 0.28$)。揺動加圧は $\theta = 2^\circ$, $n=10$ 回の条件で A が昨年度の装置, B が今年度の装置による結果である。相対的な動作は同じなため同様の結果が得られているが、B の方が揺動時の荷重の振動が規則的に生じている。これは、装置単体で加圧できるように改修したことで装置の剛性が高くなったためと考えられる。以降では、今年度の装置を用いた結果を示す。

図5に揺動条件を変化させた場合の荷重線図を示す。条件によって荷重の低減量に差が生じている。図4の ΔF と F を用いて圧下率 50% 時の荷重低減率 $\Delta F/F$ を求め、揺動角度とサイクル数による変化を比較した。その結果を図6に示す。サイクル数が多いほど、また、同一のサイクル数では揺動角度が大きいほど荷重低減率は高くなった。本実験では、通常の加工に比べて最大で 40% の荷重低減を実現することができた。

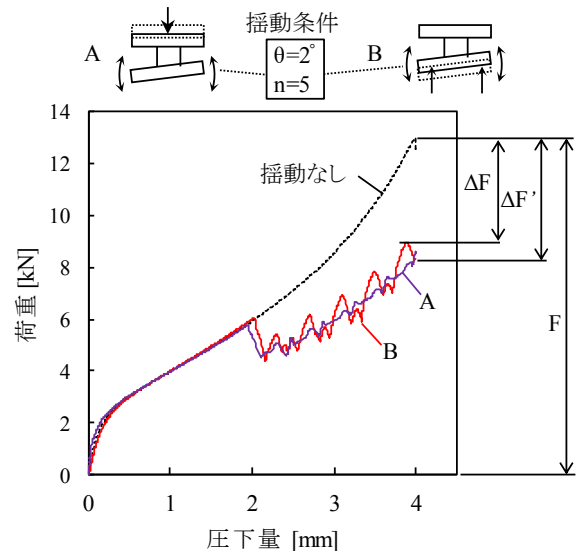


図4 加圧方法による荷重線図の違い

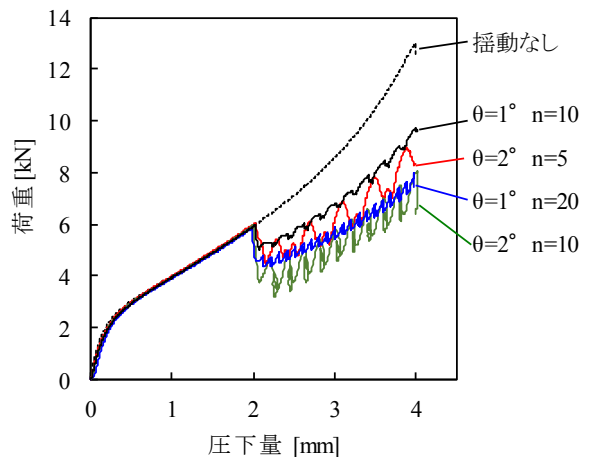


図5 揺動条件による荷重線図の違い

荷重の低減に関して、接触面積との対応を調べた。加工後の試片を観察すると図7(a)のように揺動工具側の左右の端面に傾斜が見られ、PQ部分の長さで横断面の形状から(b)の $A_1 \sim A_3$ の面積を計算した。非接触面積 A' は $A_1 + A_3$ 、総面積 A は $A_1 + A_2 + A_3$ となり、接触面積低減率は A'/A となる。図8に各条件において概算した接触面積低減率と荷重低減率の関係を示す。破線は両者が等しい場合を表す。また、荷重低減率は接触面積と対応させるために工具が平坦な状態に戻ったときの荷重低減量(図4の $\Delta F'$)で計算しているため、図6とは異なっている。プロットは右上がりの傾向を示し、荷重の低減が大きいほど接触面積も低減されているといえる。ただし、プロットは破線より上に位置していることから接触領域での平均加工面圧は上昇していることがうかがえる。

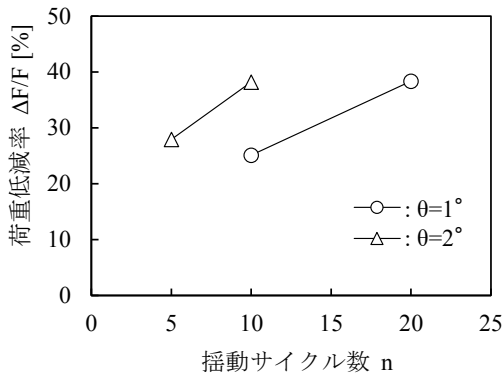


図6 揺動条件による荷重低減率の違い

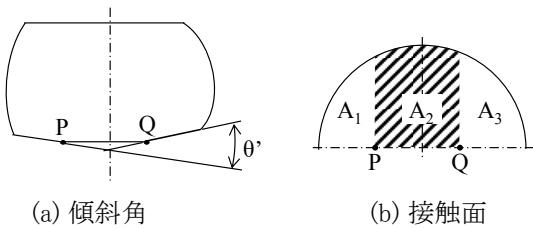


図7 試片端面の傾斜と工具接触面

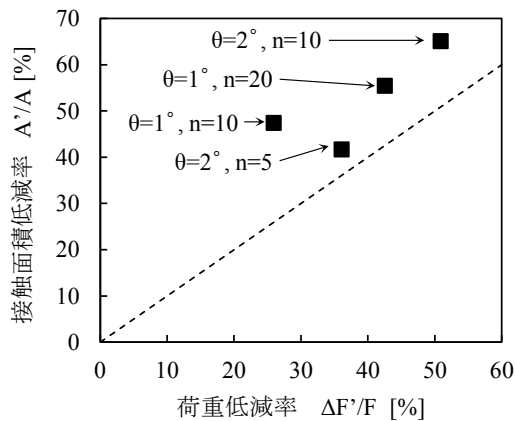


図8 工具接触面と荷重低減率の関係

4.3 形状精度

二次元レーザー変位計を用いて揺動方向の側面形状 Y と、その直交方向の側面形状 X をそれぞれ測定した。図9にその結果を示す。形状の中心を原点とし、 X, Y のそれぞれの負となる側の形状を折り返して重ねて記載している。

縦断面については中央部が膨らむ樽形状となっているが、上下対称ではなく揺動工具側である下面側が上面側よりもやや広い。また、揺動方向の輪郭 Y が直交方向の輪郭 X よりも外側にあることから、横断面は揺動方向に楕円化している。なお、通常の圧縮では上下、左右とも対称の形状が得られ、このような非対称性は見られない。

揺動条件で比較すると、揺動角度 θ が大きい方が輪郭 X と輪郭 Y の隔たりが広く、横断面がより楕円化していると言える。一方、同一角度では揺動サイクル数による差はあまり見られない。

前述のように加工後の試片端面には図7(a)のように左右に傾斜が生じる。この傾斜の合計角度 θ' を測定し、工具に与えた往復の傾斜角 2θ と比較した結果を図10に示す。点線は θ' と 2θ が等しい条件である。

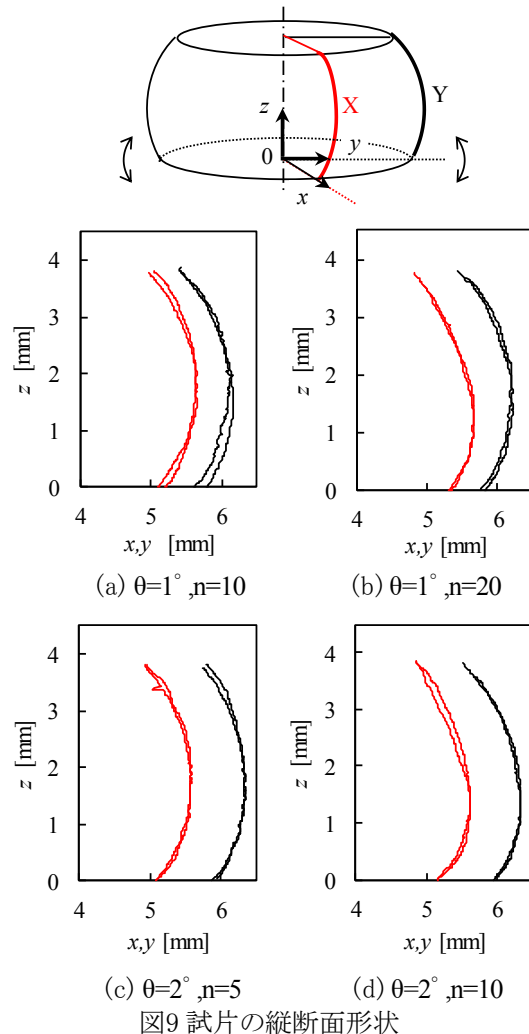


図9 試片の縦断面形状

プロットは右上がりの傾向にあり、工具に与える傾斜が大きいほど試片端面に残留する傾斜も大きくなっている。また、同一角度で見ればサイクル数が多いほど残留傾斜角は大きい。プロットはすべて点線よりも下側にあり、工具に与えた角度よりも試片に残る傾斜角は小さくなっている。これは、傾斜状態で離型した後も圧下が行われることで、離型時に形成された面の傾きが変化したためと考えられる。本工法では揺動時の傾斜の痕が加工面に残ることが課題であるが、この結果から工具に傾斜を与えても端面を平坦に近づけられる可能性が期待できる。

図11に荷重低減率と端面の残留傾斜角の関係を示す。本加工では、荷重低減率が大きく端面の傾斜角が小さいものが望ましいが、この結果では逆の傾向となっている。今回行った条件範囲では $\theta = 1^\circ$, $n = 20$ 回が最良だといえる。

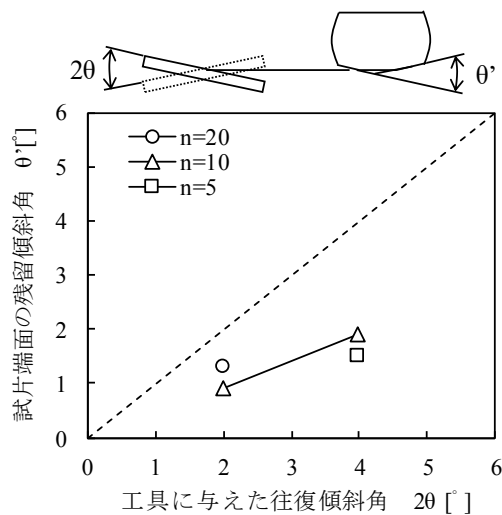


図10 試片端面に残留する傾斜角

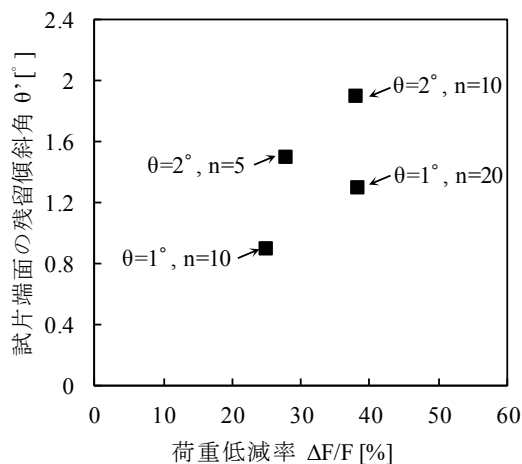


図11 荷重低減率と端面の平坦度

5. まとめ(結言)

4つの軸で加圧工具を支持し、4軸を並進させながら2軸にシーソー式の揺動動作を与えた。この方法で純アルミニウム製の円柱を高さ方向に50%圧下する実験を行い、以下の知見が得られた。

- (1) 通常の加圧に比べ、揺動を与えることで最大で40%の荷重低減が可能であった。
- (2) 揺動角度が大きいほど、揺動サイクル数が多いほど荷重低減率は大きくなった。
- (3) 荷重低減率と接触面積の低減率には正相関が認められた。ただし、荷重低減率より接触面積低減率の方が大きくなり、平均加工面圧は上昇していることが示唆された。
- (4) 縦断面は揺動工具側が固定工具側よりもやや広がる樽形状となり、横断面は揺動方向に楕円化した。この傾向は揺動角度が大きいほど顕著となり、揺動サイクル数による差はあまり見られなかった。
- (5) 揺動工具側の端面に残留する傾斜角は、工具に与える往復傾斜角よりも小さくなった。また、それは揺動角度が小さいほど、揺動サイクル数が少ないほど小さくなった。

6. 参考文献等

- 1) 久保勝司, 平井幸男: 塑性と加工, 24-271 (1983), 786-791.
- 2) R. Matsumoto, J. Kou, H. Utsunomiya: Int. J. Advanced Manufacturing Technology, 93-1-4 (2017), 933-943.
- 3) 前野智美, 小坂田宏造, 森謙一郎: 塑性と加工, 50-585(2009), 951-955.
- 4) 鈴木弘: 塑性加工(改訂版), (1980), 71-75, 裳華房
- 5) 小川昂, 広田健治: 第69回塑性加工連合講演会論文集, (2018), 275-276.