

捨て軸の原理を適用した高効率冷間鍛造法の研究

岐阜工業高等専門学校 機械工学科

助教授 加藤浩三

(昭和63年度奨励研究助成 AF-88027)

1. はじめに

冷間鍛造法を、後続の機械加工仕上げを必要としない最終加工法として活用する方法としては、一般には、密閉方式の冷間鍛造が考えられるが、工程の最終段階で充填完了間際になると加工面圧が急激に増加するため、工具型寿命が短くなる。あるいは使用プレスの能力を大きくしなければならぬなどの問題が生じコストの観点からは不利な加工法とされている。しかし、最近になって近藤ら¹⁾²⁾は、分流現象を利用し、面圧の高まりを制御しつつ、材料の型内充填性を向上させる画期的な加工方法を提案し、冷間型鍛造法を最終製品加工可能な加工方法として位置づけた。

分流方式を適用した冷間鍛造方法には、捨て軸方式冷間鍛造法と逃がし穴方式冷間鍛造法とがあり、このうち捨て軸方式の冷間鍛造法では、円柱形状の素材を加工する際、その求心流成分に対する抵抗の増加が比較的少ないために³⁾ 外周部に複雑な形状を有する、例えば、歯車あるいはスプラインの成形には、必ずしも有効な手段とはなっていない。しかし、捨て軸方式冷間鍛造において、ポンチ側の軸形状を工夫することにより、求心流を制御し、ひいては、遠心流が増加するタイミングを制御することが可能になれば、長軸物の造頭加工を単動プレスで行う場合には加工面圧低減、および加工精度向上の観点から、有効な加工手段になり得る。

以上の観点から、本研究では求心流成分を制御する因子として、捨て軸部の自由表面積減少率に着目し、捨て軸形状として円錐穴形状を採用した。これにより、捨て軸方式の鍛造において、素材の型孔内充填が完了する間際の自由表面積を急激に

減少させ、求心流成分に対する抵抗の増加を期待できる。この有用性を検証するため、比較的簡単な実験装置を用いて、捨て軸方式冷間鍛造のシミュレーション試験を行い、加工精度の指標としての材料型内充填性を評価した。

2. 実験方法

2.1 実験装置

図1に示すように、能力10ton.fの圧縮試験機に、ポンチ①、ダイス④およびテストピース③を配置して、冷間鍛造のシミュレーション試験を行った。

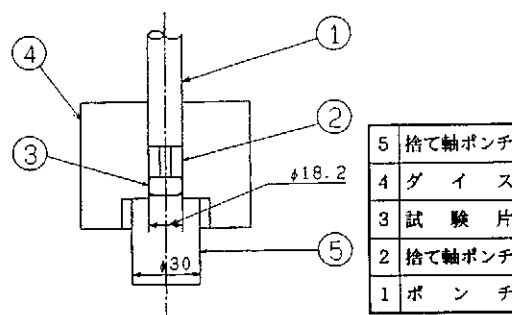


図1 実験装置概要図

捨て軸方式の鍛造は、ポンチ①とテストピース③との間に、捨て軸用ポンチ②を挿入することにより実施した。

2.2 実験条件

供試材は工業用純アルミニウムA-1050でφ14の母材から切り出し、旋削加工によりφ12.40×8.30の円柱形状に加工した。これを、図2に示すφ18.20、高さ4.10の円筒孔内に充填させるべ

く、無潤滑で6.5ton.fまで圧縮し、バルジ形状素材とした。その後、さらに、420℃にて1時間、焼純しを施した。バルジ形状素材の角部は未充填で、図3に示すように形状であり、 $a = 0.72\text{mm}$ 、 $b = 1.78\text{mm}$ である。

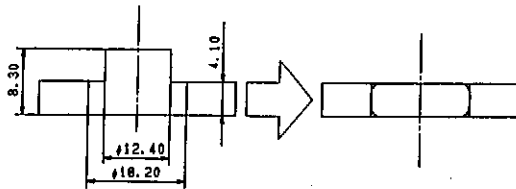


図2 バルジ形状素材成形方法

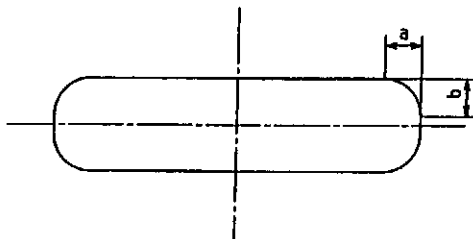


図3 バルジ形状素材

供試材の機械的性質を表1に示す。

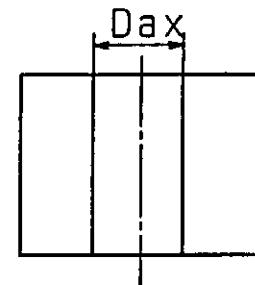
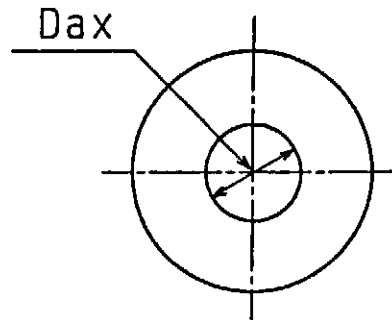
表1 実験条件

名称	材質	機械的性質	備考
試験片	工業用純アルミニウム (A1050)	F値=28.0 (kgf/mm ²) n値=0.51	φ12.40×8.30 (初期値) 6.5tonfまで負荷 420℃焼純し (1時間)
捨て軸用ポンチ	SKD11		(a) Dax: φ4.0 (b) θ: 45° Hd: 4.83 θ: 60° Hd: 3.46 θ: 90° Hd: 2.00 θ: 120° Hd: 1.15 すべて Dax: φ4
潤滑方法	牛脂		トルエンによる脱脂

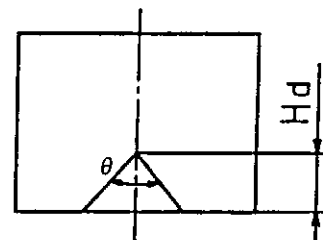
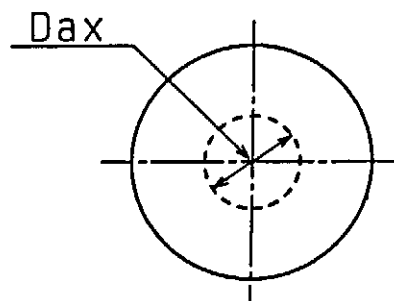
2.3 実験条件

捨て軸ポンチの概要図を図4に示す。

(a)は、求心流を抑制しない通常の捨て軸方式貫通穴ポンチであり、(b)は求心流を抑制するタイプの円錐穴ポンチである。円錐穴ポンチについては、円錐頂角 θ の影響を検討するために、 $\theta = 45^\circ$ 、 60° 、 90° 、および 120° の4条件を準備した。



(a) 貫通穴ポンチ



(b) 円錐穴ポンチ

図4 捨て軸ポンチの概要図

工具と試験片間の潤滑剤としては、牛脂を使用し、各実験の度に試験片、ダイスおよびポンチをトルエンにて脱脂した後、牛脂潤滑を施した。また、同一実験条件で3回の実験を行い、この平均を該当実験条件における実験データとしている。以上の実験条件をもとめて、表1に示す。

2.4 評価方法

①充填率 δ

素材の型内充填程度を評価する方法として、図5に示すように、試験終了後に取り出した試験片の光沢のある領域 H_c を型内に充填した領域であると見なし、また、型鍛造製品の高さに相当する円柱部分の高さを H_b として、充填率 δ を次式に示すように定義した。

$$\delta = H_c / H_b \times 100 (\%)$$

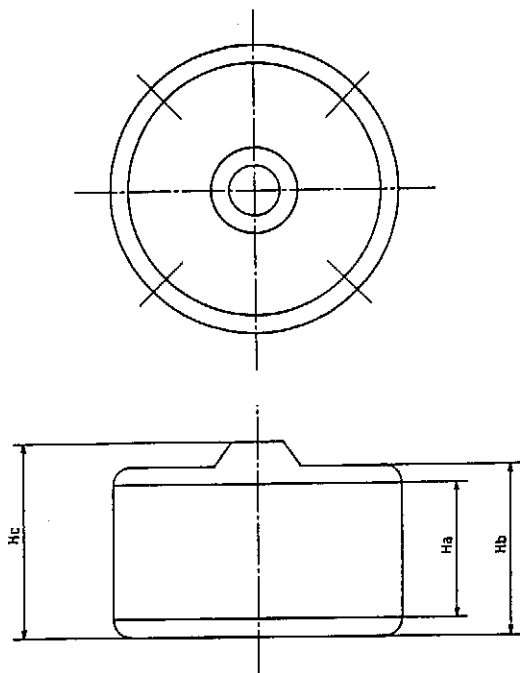


図5 充填程度の評価方法

本実験では、試験片を図5に示すように8等分し代表点として、これら8箇所の H_c と H_b とを万能投影器で測定し、上式を用いて δ を求め、8点の平均値を該当試験片の δ とした。

②捨て軸高さ H_m

求心流成分を定量的に評価する指標として、捨て

軸高さ H_m に注目した。捨て軸を含めた試験後の試験片の全高さを H_c として、捨て軸高さを次式により評価した。

$$H_m = H_c - H_b$$

③捨て軸体積 V

求心流成分を評価する尺度として、捨て軸高さ H_m の他に、捨て軸体積 V を用いた。図6に示すように、材料がポンチ型孔内に完全充填していない場合には、捨て軸部は円錐台になる。

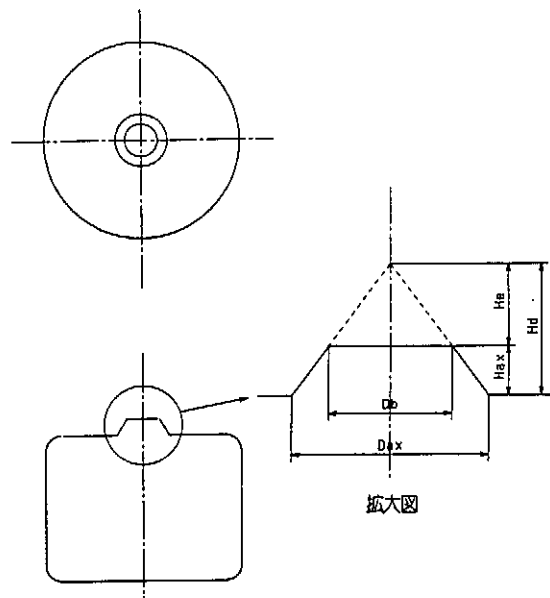


図6 円錐穴部体積の評価方法

試験片が円錐穴部に完全に充填したときの高さを H_c とし、以下の式を用いて V を計算した。

$$H_c = H_b - H_m$$

$$D_b = D_m \times H_c / H_b$$

$$V = \{(D_m^2 \cdot \pi \cdot H_c) / 4 - (D_b^2 \cdot \pi \cdot H_c) / 4\} / 3$$

3. 実験結果および考察

3.1 面圧 P と求心流成分との関係

図7は、加工工程に伴う求心流成分の推移を検討するため、 P と H_m との関係をポンチ形状をパラメータとして示したものである。

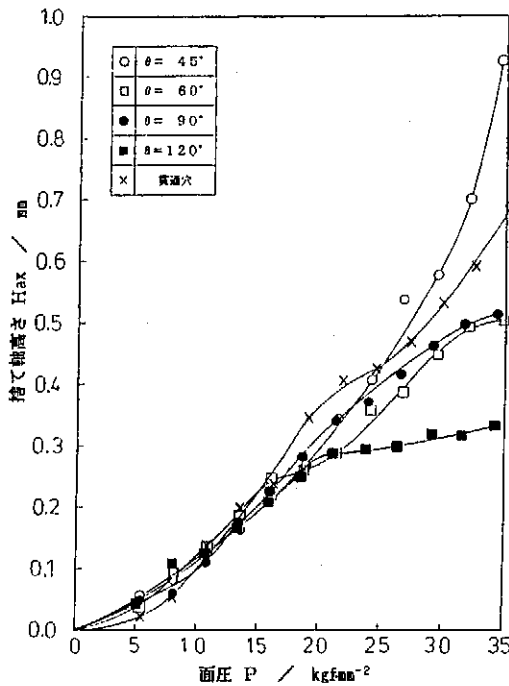


図7 面圧Pと捨て軸高さ H_{ax} の関係

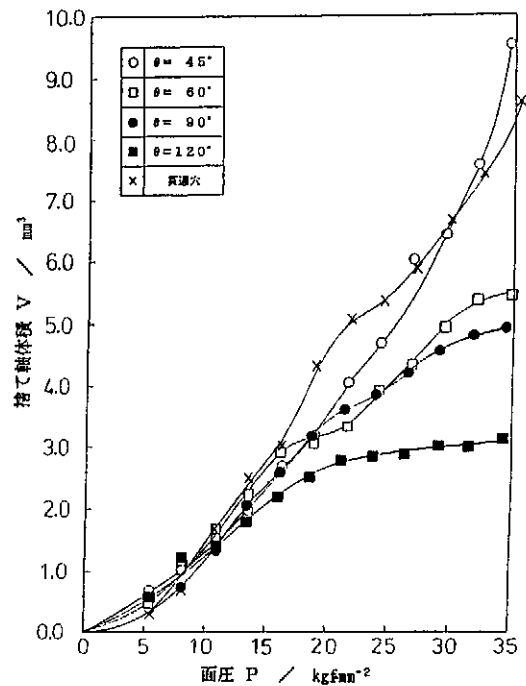


図8 面圧Pと捨て軸体積Vの関係

面圧 $15\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以下では、ポンチ条件による差異はほとんどない。また、面圧 $15\text{kgf}/\text{mm}^2$ 以上の範囲で、 H_{ax} のレベルを比較すると、 $\theta = 45^\circ$ の場合が最も高く、 θ が大きいくほど、 H_{ax} は低いレベルになっている。したがって、捨て軸高さが求心流成分の大きさを表わしていることに留意すると、素材が型内に充填完了する間際には、 θ が大きいくほど H_{ax} は低く、求心流成分抑制効果の大きいことが示唆される。

図8は、図7と同様の目的で、 H_{ax} の代わりにVで整理したものであるが、結果として、図7と同様の傾向が認められた。

3.2 面圧Pと充填率 δ との関係

図9はPと δ との関係を、ポンチ条件をパラメータとして示したものである。

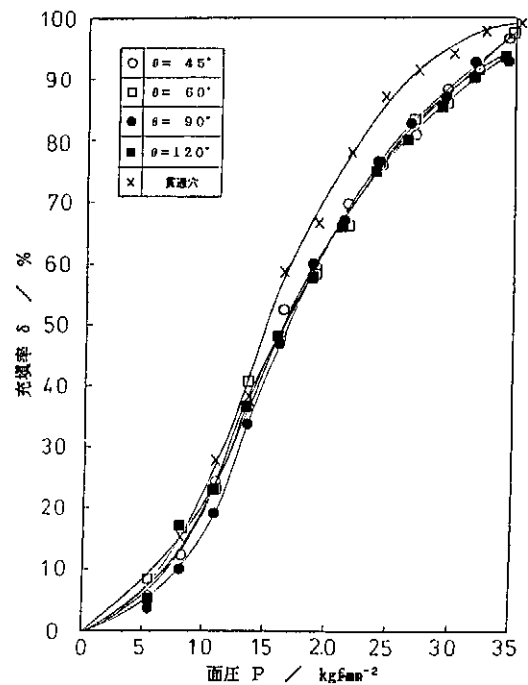


図9 面圧Pと充填率 δ の関係

Pレベル15kgf/mm²以上の範囲で、ポンチの θ 条件による δ の差はほとんど無く、また、貫通穴ポンチの δ が最も良好であり、前節の求心流成分の考察から得られた予想とは一致しない結果になった。

本研究では、求心流成分を制御する因子として捨て軸部自由表面積に着目し、求心流を制御する具体的方法として円錐穴ポンチを導入した。円錐頂角 θ が大きいほど、工程に伴う、捨て軸部の自由表面積減少率が大きく、求心流成分抑制能力も大きいであろうと予想したが、これ以外の求心流抑制因子が存在することが示唆された。

3.3 試験片断面の塑性流動観察

求心流抑制因子として、捨て軸部の自由表面積減少率以外の影響因子を検討するため、試験片を樹脂に埋め込み、その断面を腐食し、塑性流動を観察した。その結果、 θ が小さいほど、捨て軸入り口角部において、材料流れの方向の変化が激しく、この部分での変形抵抗の大きいことが予想された。貫通穴ポンチでは、捨て軸入り口角部の角度が90°と最も鋭い角度であるため、この部分での変形抵抗が最も大きいと考えられる。

以上のことから、求心流制御因子としては、捨て軸部の自由表面積減少率以外に、捨て軸部入り口角部での変形抵抗が存在することがわかった。 θ が小さい場合には、捨て軸部の自由表面積の減少割合が緩やかであり、求心流抑制能力は比較的小さいが、一方で、捨て軸入り口部の変形抵抗は大きいため、これによる求心流抑制能力は大きい。すなわち、 θ の変化に伴う、これら両因子が求心流成分に及ぼす影響は、逆の傾向である。したがって、 θ が δ に及ぼす影響は、これら両因子が複

合的に作用して、当初の予想に反するものになったと考えられる。

4. おわりに

捨て軸方式冷間鍛造において、素材の型孔内充填完了間際で求心流成分に対する抵抗が少ないため、軸状素材外周部の素材を型孔内に完全充填させるためには、大きな加工力を必要とし不利である。そこで、充填完了間際の捨て軸部の自由表面積を急激に減少させ、求心流に対する抵抗を増加させる手段として、円錐形状の捨て軸を有するパンチの有用性を検討した。その結果、円錐穴パンチの場合、充填率は改善されず、従来タイプの貫通穴パンチの充填率が最も良好であった。試験片の分割断面の材料流れ観察の結果、この理由は、貫通穴パンチでは、捨て軸入り口角部での変形抵抗が最も大きいためであることが示唆され、求心流成分抑制の新たな因子として、捨て軸入り口角部での変形抵抗の存在が明らかになった。

参考文献

- 1) 近藤一義：塑性と加工、27-271 (1983).801.
- 2) 大賀喬一、近藤一義、実成俊政：機論 C.48-427 (1982).425.
- 3) 大賀喬一、近藤一義、実成俊政：機論 C.48-427 (1982).435.
- 4) 大賀喬一、近藤一義、実成俊政：機論 C.48-427 (1982).447.

発表論文

- 加藤浩三：岐阜工業高等専門学校紀要.25.(1990).5~10