

冷間鍛造における深穴の張力負荷押出し加工の開発

(株)ニチダイ 村井 映介*

自動車の燃費向上を図るため、部品のさらなる軽量化が求められている。トランスミッションの場合、多くの長尺シャフト部品が使用されているため、シャフト部品の軽量化は非常に重要となっている。

長尺シャフト部品などの中空部品の深穴はガンドリルによる切削が一般的であるが、加工時間が長く、また材料歩留まりも低い。そのため、歩留まり向上と生産性向上のためにも冷間鍛造による深穴成形は必要である。しかし、深穴の冷間押出しではパンチ面圧が高くなり、成形の初期で簡単に座屈してしまうため、成形できる穴深さには限界がある。座屈を防止するための対策はあるが、大きな効果は期待できないのが現状である。このように冷間鍛造で中空部品の深穴を成形することは非常に困難である。

*Eisuke Murai : 技術部 開発課 主任
〒610-0201 京都府綴喜郡宇治田原町禪定寺塩谷 14
TEL (0774) 88-6317

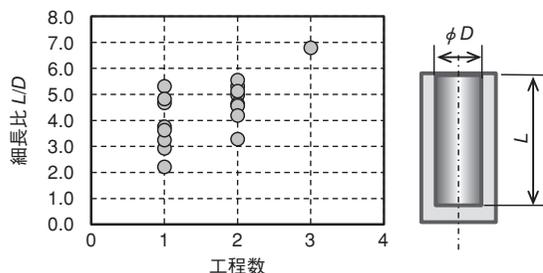


図1 穴の細長比と工程数の関係
(当社受注の中空関係アイテム)

当社ではパンチの座屈を解決する目的で張力負荷による押出し加工法(補助張力押出し)の開発を行っている。本稿では、開発段階で得られた試験結果および実用部品に適用した事例を紹介する¹⁾。

当社の現状

図1は当社で受注した中空部品について示したものであり、穴の細長比(長さ L /直径 D)と工程数の関係にまとめたものである。1工程および2工程での最大の細長比は約5であり、3工程の場合には最大で7まで実施した例があるが、ほとんどが5以下のものである。

冷間鍛造におけるパンチの座屈

冷間鍛造で深穴を成形する方法として最も一般的に使用されているのが後方缶押出しである。鉄鋼材料の後方缶押出しでは図2に示すようにパンチの座屈が発生してしまうため、細長比5以上の成形は困難である。



図2 座屈によって破損したパンチ
[パンチの(長さ/直径)=12.7]

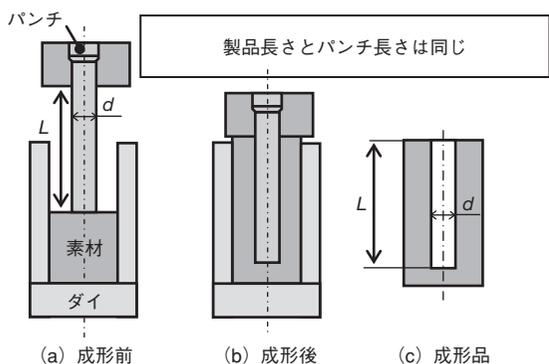


図3 座屈が発生しないときのパンチと成形品の寸法関係

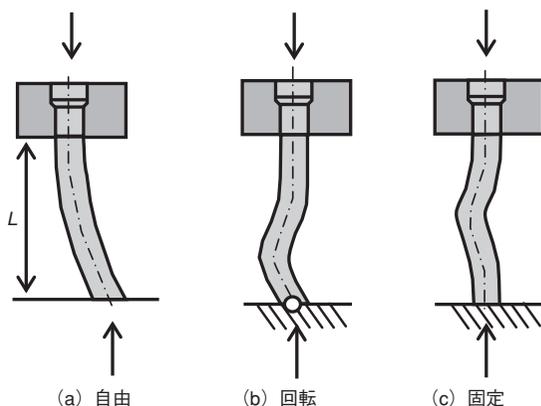


図4 考えられる座屈モード

図3は後方缶押しでの金型と深穴成形品の関係を示したものである。この場合、得られる最大の穴深さはパンチの長さ L に等しい。パンチは長くなると初期に座屈するため、後方缶押しで得られる穴深さは座屈が発生しないパンチ長さとなる。

軸方向の圧縮応力が σ_b 、パンチのヤングが E のとき、座屈が発生しないパンチの長さ/直径 (L_{cr}/d) はオイラーの座屈条件式より次式のように得られる。

$$\frac{L_{cr}}{d} = C \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{E}{\sigma_b}} \quad (1)$$

式(1)の係数 C は座屈モード (図4) によって得られる。押しに使用されるパンチの場合、パンチの一端は完全に固定され、もう一端は成形条件によって変化する。

図4(a)の場合、パンチの先端は自由端であり、 $C=0.25$ となる。図4(b)はパンチの横の動きが制限され回転端となり、 $C=0.7$ となる。図4(c)は固定端であり、 $C=4$ である。このようにパンチの座屈限界はパンチ先端の条件によって大きく変化する。通常の後方押し用のパンチは図4(a)で、座屈なし成形できるパンチ長さは非常に短い。

図5は直径 $\phi 7.1$ の粉末ハイス製パンチ (ヤング率: 230 MPa) を使用した場合の座屈応力をオイラーの式で計算した結果である。図5は穴深さ (細長比) とパンチ面圧の関係を示したもので、パンチの先端が自由端の場合 [図4(a)] の座屈応力は破線、回転端の場合は太線、固定端の場合は細線によって得られる。

断面減少率 50% の中炭素鋼を後方押しで成形した場合のパンチの面圧は約 2,500 MPa であり、破線

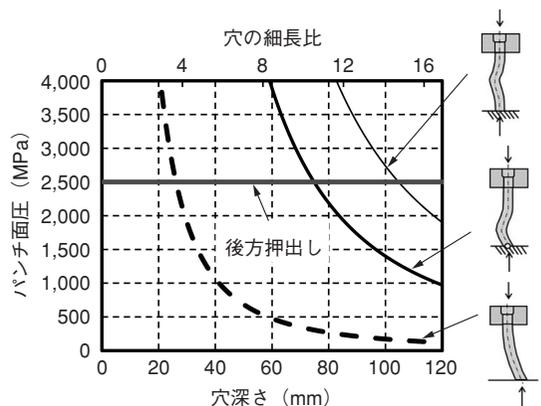


図5 パンチ面圧と座屈なしで成形できる長さ ($\phi 7.1$) の関係

と比較すると成形できるパンチ長さは約 30 mm、細長比は 4 程度である。押しで 8 以上の細長比を得るには、パンチ先端が回転端か固定端となるような成形条件にする必要である。

パンチの座屈を防止する方法

1. パンチの偏心

パンチの先端が図4(a)のような自由端の場合、座屈は押し初期で簡単に発生する。パンチの座屈限界を伸ばすためには図4(b)、(c)のようにする必要があり。また、パンチの限界の長さ/直径を伸ばすためにもパンチ先端を回転端か固定端にする必要がある。図6は座屈を防止する方法を示したものである。図6(a)は成形前の素材にパンチ先端のガイドとなるへそをあらかじめ入れる方法であり、図6(b)はスリーブ

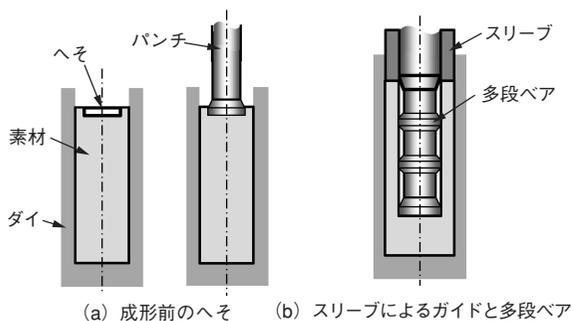


図6 パンチ座屈の防止方法

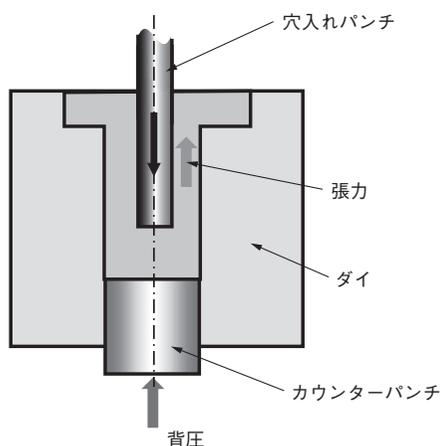


図7 補助張力押し出し

によりパンチをガイドする方法である。小さいクリアランスであれば初期の座屈を防止することができる。また、パンチが素材の押し出された部分によってガイドできるように多段ベアを設ける方法もある。

2. 補助張力押し出し

図6(a)あるいは同図(b)によってパンチの初期の座屈を防止することはできる。押し出しが進むとスリーブによるパンチのガイドができなため、図5(b)のように多段ベアを設けるが、押し出し中のパンチの座屈を完全に防止することはできない。そのため、パンチの面圧を低減させることが必要である。

篠崎と工藤²⁾は図7のように補助張力を与えることによって押し出し圧力を低減する方法を提案している。この方法はフランジつきのピレットをダイの端に引っかけることによって押し出された部分に張力を発生させ、パンチ圧力を後方押し出しより低くする。

3. 補助張力押し出しと後方押し出しのパンチ面圧比較

図8に示すように後方押し出しのパンチの断面積を

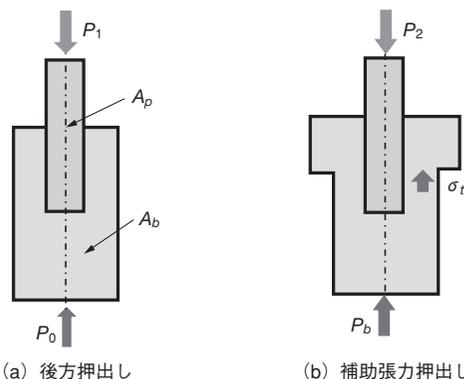


図8 後方押し出しと補助張力押し出しの応力状態

A_p 、試験片の断面積を A_b 、パンチに作用する面圧を P_1 、カウンターパンチに作用する面圧を P_0 、押し出し比を $R=A_b/(A_b-A_p)$ として、摩擦力を無視した場合、 P_1 は力のつり合いにより次式によって得られる。

$$P_1=RP_0/(R-1) \quad (2)$$

補助張力におけるパンチに作用する面圧を P_2 、押し出し部に負荷された引張応力 σ_t とすると、 P_2 は力のつり合いにより次式によって得られる。

$$RP_b + \sigma_t = (R-1) P_2, \\ P_2 = (RP_b + \sigma_t)/(R-1) \quad (3)$$

補助張力押し出しでカウンターパンチに作用する面圧を P_b とすると、 σ_t と P_0 との間に次式の関係が成立する。

$$P_b + \sigma_t = P_0 \quad (4)$$

式(3)と式(4)から後方押し出しと補助張力押し出しのパンチ面圧の関係は次式によって得られる。

$$P_2 = \{RP_0 - (R-1) \sigma_t\}/(R-1) \\ = P_1 - \sigma_t \quad (5)$$

補助張力のパンチ面圧が後方押し出しより張力 σ_t だけ低減する。

試 験

1. 試験条件

補助張力押し出しについて試験を行う際は当社保有の3軸油圧プレス HED-800 を使用した。上側のメイン軸でスリーブを動かし、サブ軸でパンチを動かした。パンチの速度は 20 mm/s で行った。試験片は焼なましした SCM415 を使用し、潤滑剤には二硫化モリブデンを使用した。試験片の変形抵抗は 750 MPa、形

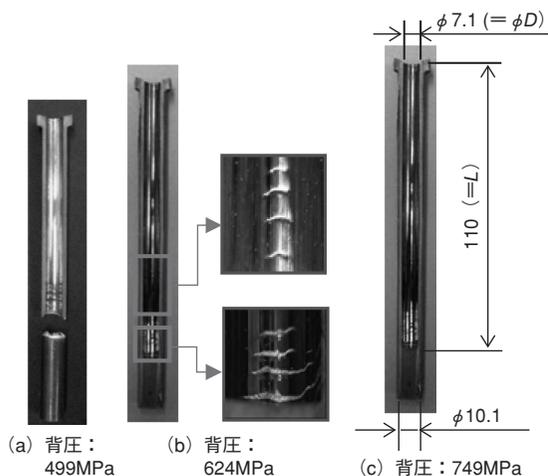


図9 補助張力押し出しのサンプル (背圧)

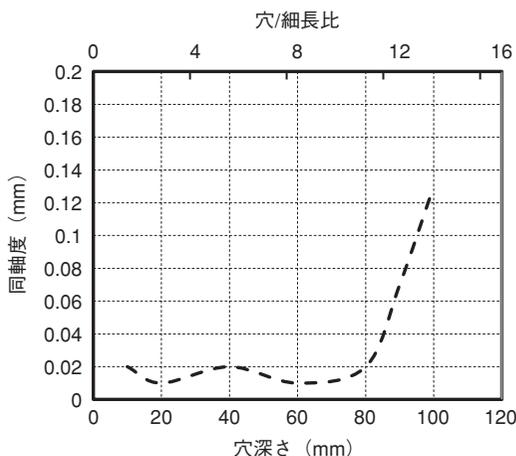


図10 補助張力押し出しの同軸度

状は直径φ10×70、フランジはφ15で厚みが4mmである。

2. 実験結果

試験は断面減少率50%で行った。図9は異なる背圧で試験を行った結果である。背圧が低い場合(449MPa)、細長比12で側壁が破断した。624MPaでは細長比14で、図9(b)のように側壁に割れが発生した。749MPaでは細長比15でも内面の割れは発生しなかった。これらの結果からわかるように、カウンターパンチによる背圧はこの工法の重要なポイントである。

補助張力によって細長比15までの成形が可能であることは示したが、細長比11を超えると同軸度が低下する傾向が見られた。図10は図9(c)の同軸度を示している。穴深さ80mm(細長比約11)で0.01~0.02の同軸度である。

3. 製品例

図11は補助張力押し出しによって成形した実際の製品例である。1工程でフランジを据込みによって成形し、2工程で補助張力押し出しにより穴入れ、3工程でスプラインの成形を行っている。



図11 補助張力押し出しの実用サンプル

あり、これらの課題は解決しなければならない。

☆

中空成形についての当社の現状と課題を示し、補助張力押し出しを用いた深穴成形についての開発を紹介した。背圧を負荷しながら補助張力押し出しを用いれば、穴の細長比4~11の深穴の成形が可能であることを示した。課題を解決するために現在も開発に取り組んでいる。

課 題

補助張力押し出しで深穴成形時の荷重を低減できることが明らかになり、穴の精度向上につながった。しかし、深穴成形では表面積拡大率が高いため、潤滑切れを起こしやすく、焼付きなどが発生しやすい状態となる。このほかにも量産化に向けてはいくつかの課題が

参 考 文 献

- 1) 村井映介: 深穴の押し出し加工(張力荷重押し出し加工)の技術動向と進展、プレス技術、Vol.52、No.7(2014)、pp.36-38
- 2) 篠崎吉太郎、工藤英明: 補助張力付き後方せん孔押し出し法、塑性と加工、Vol.14、No.151(1973)、pp.629-636