

複雑形状容器の再絞りに関する研究

熊本大学 工学部 機械工学科 (共通講座応用力学講座)

助教授 丸茂康男

(平成3年度奨励研究助成 AF-91032)

1. 研究の背景

横断面形状が軸対称の再絞り成形に関しては、以前から研究がなされており^{(1),(2)}、工程設計データなどが得られている。また、工程設計エキスパートシステム⁽³⁾や塑性理論に基づいた多段絞り金型の設計法⁽⁴⁾⁻⁽⁷⁾、ニューラルネットワークを応用した工程設計法⁽⁸⁾なども提案されている。横断面が非軸対称の容器の再絞りに関しては、主に、経験則に基づいて工程設計が行なわれているが、四角筒容器の多段深絞り金型設計法なども開発されている⁽⁹⁾。

素板から最終製品にいたる工程設計をする場合、各工程の工具形状特性(ポンチ、ダイスの横断面形状および縦断面形状)、加工素材の変形特性(加工硬化特性、異方性など)が材料変形に及ぼす影響の把握は重要である。本研究では、角筒容器の深絞り加工を対称とし、工具形状、素板形状などを変更し各パラメータや加工中のしわ押さえ力などの加工条件が再絞り成形に及ぼす影響を検討するために試験機

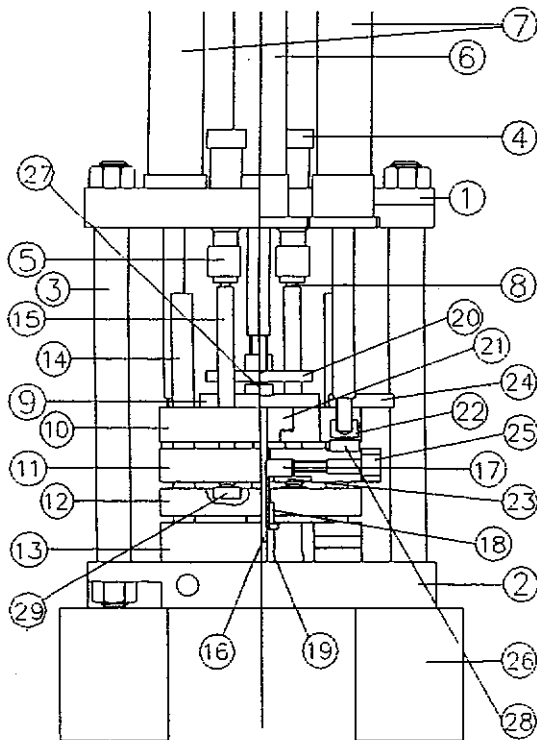
を設計製作し、これと並行して、加工特性の検討を行う。具体的には、工具形状および素板形状が深絞り性、破断形態、変形抵抗力および破断力へ及ぼす影響を検討する。

2. 研究成果

2.1 深絞り試験機

図1に試作した試験機の概略図を示す。ダイセットは4枚のプレート(⑩、⑪、⑫、⑬)および4本のガイドポスト(⑭)で構成され、両ロードシリンダー3本を有するプレス機に組み込まれている。プレート(⑩、⑪、⑬)には工具保持部の弾性変形を利用して工具の高精度相対位置決めが容易にできるよう工夫がなされている。したがって、クリアランス精度の厳しい極薄板の加工にも十分対応できる構造になっている。また、ポンチおよびダイスの交換も容易に行うことができる。

以下に絞り加工中の各部の動作および機能を説明する。



- ① フレームプレート
- ② フレームプレート
- ③ フレームポスト
- ④ 加圧ボルト
- ⑤ 圧電素子ホルダ
- ⑥ 油圧シリンダ (インナー用)
- ⑦ 油圧シリンダ (アウトター用)
- ⑧ 鋼球
- ⑨ 拘束板
- ⑩ ポンチプレート 2
- ⑪ ポンチプレート 1
- ⑫ ブランクホルダプレート
- ⑬ ダイホルダ
- ⑭ ガイドポスト
- ⑮ 負荷ボルト
- ⑯ インナーポンチ
- ⑰ アウターポンチ
- ⑱ ブランクホルダ
- ⑲ ダイ
- ⑳ ロードセル加圧プレート (インナー用)
- ㉑ インナーポンチホルダ
- ㉒ ロードセル加圧プレート (アウトター用)
- ㉓ 拘束板
- ㉔ 変位計用金具 (インナー用)
- ㉕ 変位計用金具 (アウトター用)
- ㉖ フレーム台
- ㉗ ポンチ力検出用ロードセル (インナー用)
- ㉘ ポンチ力検出用ロードセル (アウトター用)
- ㉙ しわ押さえ力検出用ロードセル

図1 深絞り試験機

(1) ダイス (19) 上に置かれたブランクにブランクホルダー (18) を介してしわ押さえ力を負荷する。しわ押さえ力は加圧ボルト (4) 及び圧電ホルダ (5) 内の圧電素子および負荷ボルト (15) により負荷される。

(2) 最初の深絞り、アウターポンチ (17) を取り付けけたポンチプレート1 (11) とインナーポンチ (16) を取り付けけたポンチプレート2 (10) を、左右の油圧シリンダ (7) と中央の油圧シリンダ (6) で、それぞれ駆動することでなされる。この間、しわ押さえ力は制御される。

(3) アウターポンチ (17) が素板を拘束した状態で、インナーポンチ (16) は下降をつづけ、深絞りは終了する。

インナーおよびアウターポンチの変位は、ポンチプレート2 (10) とポンチプレート1 (11) の変位を変位計でそれぞれ検出することで、測定できる。しわ押さえ力は、ブランクホルダープレートに埋め込まれた4個の小型ロードセル (2) によって検出される。インナーポンチ力は小型ロードセル (27) で、アウターポンチ力は2個の小型ロードセル (28) によって、ひびみ増幅器を介して測定される。これらのデータはパーソナルコンピュータに記録される。

図2に試験機の油圧回路を示す。(10)、(12) はアウターポンチ駆動用油圧シリンダ、(11) はインナーポンチ駆動用油圧シリンダである。

2.2 素板材質、素板形状および工具形状の影響

再絞り試験装置の製作と並行して、角筒一段絞りの場合での工具形状および素板形状の影響を検討した。

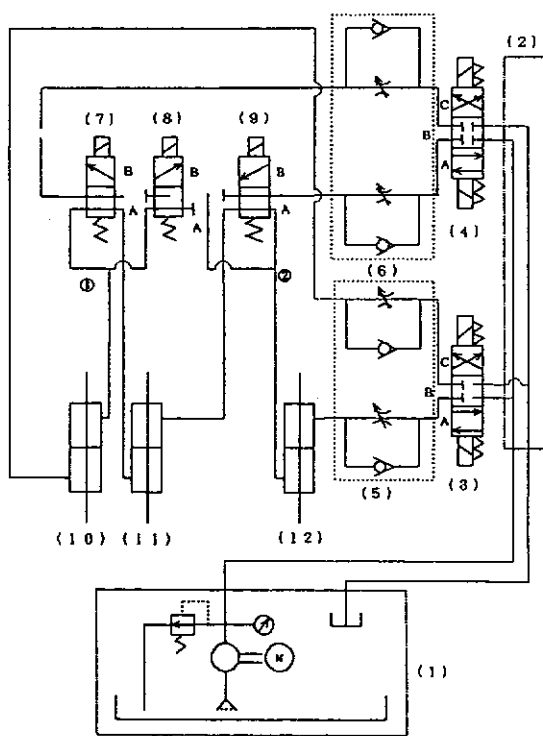


図2 油圧回路

2.2.1 実験条件および方法

図3に工具および素板の形状をそれぞれ示す。ポンチ対辺距離 (l_1) を一定とし、形状効果を調べるためにポンチ角隅部半径を形状比で $r_1/l_1 = 0.05, 0.1, 0.2, 0.5$ と変えた。素板は正方形素板、カップ高さ一様素板およびコーナーカット素板を用いた。素板材質は工業用純アルミニウムの硬質材 (JIS A1050P-H18) である。

図中では、正方形素板とカップ高さ一様素板が破線で示され、コーナーカット素板は実線で示されている。なお、図中のhuni blankの表示はカップ高さ一様素板を表す。カップ高さ一様素板の決定には、すべり線場法を利用し、高さ一様なカップを出発点とし、しだいに行程を逆にさかのぼることによって、カップ高さ一様素板を決定する。コーナーカット素板は、正方形素板からのコーナーカット量をBDの長さcで表し、形状を正方形からカップ高さ一様素板形状へ連続的に変化させるため、素板中心放射線上で $FG/EG = BD/AD$ となるように定めた。コーナーカット素板の角筒絞り比として、正方形素板の場合と同様に工具直辺方向に測った素板寸法 L_0 をポンチ対辺距離 l_1 で割った比 β^0 を用いる。しわ押さえ力はSiebelの式⁽¹⁰⁾の絞り比に β^0 を代入し、その計算値の2倍の値を用いた。

板取りについては、 45° 方向 (r 値最大の方向) が工具対角線と一致するようにした。素板の表裏には潤滑剤として牛脂 (摩擦係数: $\mu \approx 0.115$ ⁽¹¹⁾) を塗布した。

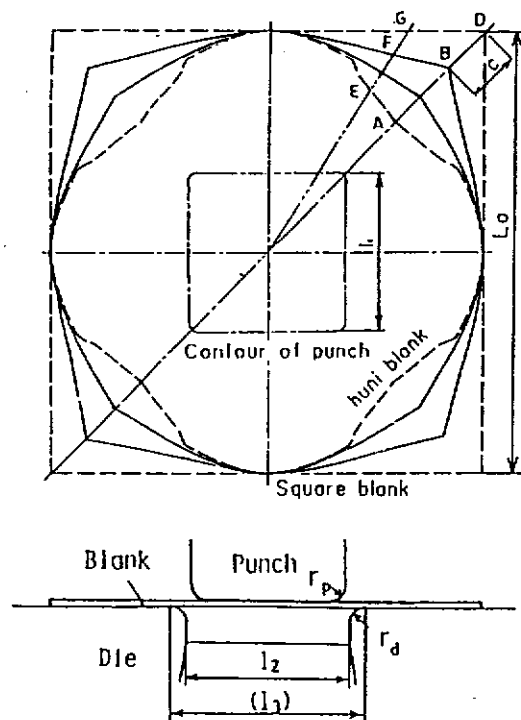


図3 工具および素板の形状

2.2.2 深絞り性

限界絞り比 B^{\square} への工具角隅形状および素板形状の影響を図4に示す。素板形状は正方形素板とカップ高さ一様素板について示した。各プロット点には B^{\square} 直上の絞りにおける破断形式を略号で示す。それぞれの略号は、以下のとおりである。

ポンチ肩部破断(全周形) CF:ポンチ肩部角隅部でのき裂発生とほとんど同時に、ポンチ肩部全周方向にき裂が伝ばする。

ダイス肩部破断(全周形) DF:ダイス肩部においてき裂を生じ、ダイス肩部全周方向に伝ばする破断である。

ポンチ肩部破断(局所形) LF:ポンチ肩部でき裂を生じ、き裂が局在化する破断である。

壁部破断(局所形) WB:き裂は壁部角隅を通過するすべり帯中で生じ、すべり帯に沿って伝ばする。破断き裂は壁部角隅に局在化する。

複合型破断(全周形) LF + DF:破断き裂はポンチ肩部とダイス肩部を通過し、き裂は周方向に伝ばする。

図4で見られる特徴は以下である。

正方形素板では、形状比 r_1/l_1 が0.05、0.1と小さく角隅形状が鋭い場合は限界絞り比 B^{\square} は高い。 B^{\square} 直上の破断形式はDFもしくはLF + DFの全周形破断を示す。形状比 r_1/l_1 が0.2、0.5と大きくなり、形状が軸対称化すると、フランジ部からカップ角隅壁部を通過するすべり帯に沿って壁部破断WBを生じ、限界絞り比が著しく低下する。

カップ高さ一様素板の場合、形状比が小さいほど B^{\square} が高い。また、全ての形状比において正方形素板の場合に比較し B^{\square} は増加している。特に、形状比が0.2の場合において著しい。破断形式は全ての形状比で全周形となっている。コーナー部の余分な材料を除くことで、壁部もしくはダイス肩部に生ずる破断がポンチ頭部の破断へと変わり、局所破断から全周にき裂が伝ばする破断となる。

2.2.3 加工力最大値 T_{max} 、破断力 T_{cr}

本節では、素板形状を正方形素板からカップ高さ一様素板へと連続的に変更していった場合の T_{max} (成功絞りの場合の加工力最大値)および破断力 T_{cr} の変化に着目する。 $r_1/l_1 = 0.2$ において、正方形素板からカップ高さ一様素板へとコーナーカットしていった場合の T_{max} 、 T_{cr} の変化を、 β^{\square} をパラメータとし、コーナーカット量 c/l_1 に対して示したものが図5である。縦軸上のプロット点は正方形素板に対応する。 T_{max} 、 T_{cr} の値は、素板の公称強さ(ポンチ横輪郭線長と素板板厚の積で求まる公称断面積 $A_0 \times$ 引張強さ S_T)で割って無次元化表示した。これら T_{cr} 、 T_{max} のプロット点および破断の形態から見いだされる特徴を以下に説明する。

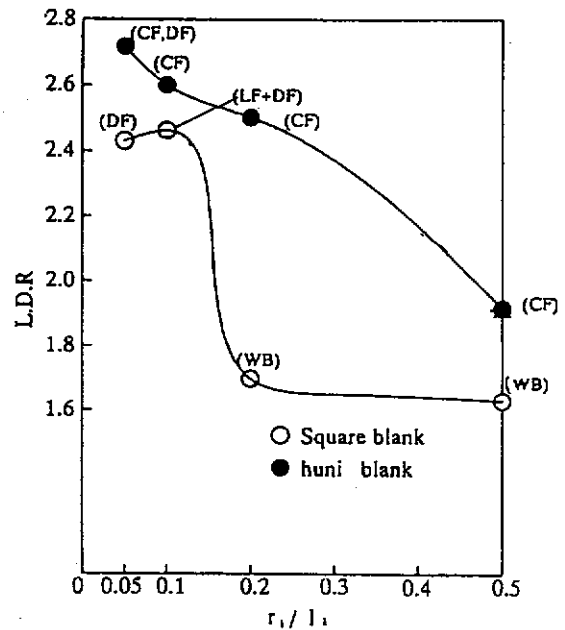


図4 限界絞り比 B^{\square} と形状比 r_1/l_1 との相関

- (1) 縦軸上のプロット点は正方形素板の場合の結果である。素板寸法が大きくなり、限界絞り比 B^{\square} を越えると、局所形の破断を生ずる。素板寸法が大きくなるにつれ破断力も増加する。さらに大きくなるとある破断力以上で全周形の破断を生じ、やがて一定破断力に達する。
- (2) 図中の実線は β^{\square} を同一にし、コーナーカット量 c/l_1 を増していった場合の変化を示す。正方形素板で破断していたのが、あるコーナーカット量以上で成功絞りとなる。コーナーカット量増にともない、 T_{cr} 、 T_{max} は減少する。
- (3) 破線はカップ高さ一様素板の深絞りの結果で、 β^{\square} 増にともない、コーナーカット量 c/l_1 も増し、 T_{max} も増す。やがて全周形の破断を生ずる。
- (4) 各 β^{\square} における絞り成功と不成功の境界を一点鎖線で示す。
- (5) 破断が局所形から全周形に変化するさいの破断力 $T_{cr, trans.}$ の値は素板形状によらずほぼ一定の値となっている。この破断力を境として、き裂伝ばの形式が変化する。図中には点線で示されている。
- (6) β^{\square} を増すと破断力はやがて一定破断力 $T_{cr, const.}$ に達する。この破断力の値は素板形状によらず、ほぼ一定の値となる。図中には二点鎖線で示されている。

図6に $r_1/l_1 = 0.05$ の場合における同様の図を示す。破断は全て全周形となって $T_{cr, trans.}$ は現れない。

図7に $T_{cr, const.}$ と $T_{cr, trans.}$ の差を形状比ごとに示した。形状比が0.05から0.2にかけては、わずかに増加

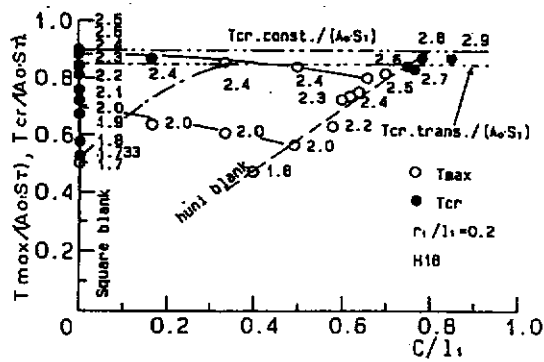


図5 $T_{max}/(A_0 \cdot S_T)$, $T_{cr}/(A_0 \cdot S_T) - C/l_1$ 線図 (H18材, $r_1/l_1 = 0.2$)

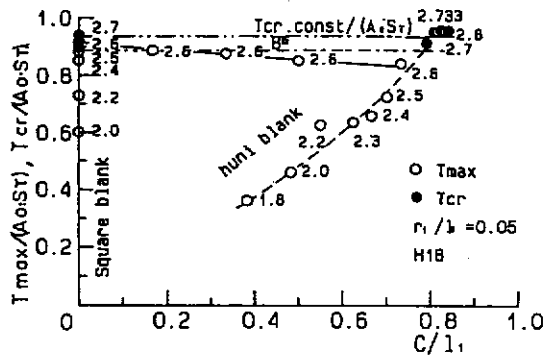


図6 $T_{max}/(A_0 \cdot S_T)$, $T_{cr}/(A_0 \cdot S_T) - C/l_1$ 線図 (H18材, $r_1/l_1 = 0.05$)

し、やがて減少し形状比0.5で零となる。

図8には $T_{cr.const.}$ と正方形素板の場合の限界絞り B^{\square} 直上の絞り比における T_{cr} の差を示す。 $T_{cr.const.}$ は深絞り性改善の目標値であり、 T_{cr} との差は改善の余地を示す尺度となる。これが大きい場合は改善の余地が大きいことになる。形状比 $r_1/l_1 = 0.05, 0.1$ においては、改善の余地は小さいが、形状比 $r_1/l_1 = 0.2, 0.5$ では改善の余地がかなり大きいことがわかる。これらの形状比においては、潤滑や素板形状を変更することで、深絞り性を向上させることができる。

3. 今後の課題

- (1) 工程段数や再絞り比の予測および決定法の検討をおこなう。
- (2) 加工条件が成形性におよぼす影響をさらに詳しく検討する。
- (3) 極薄板に対しては軸対称形状および複雑形状とも十分な検討が行われていないので、極薄板を含めて成形性を幅広く検討する。

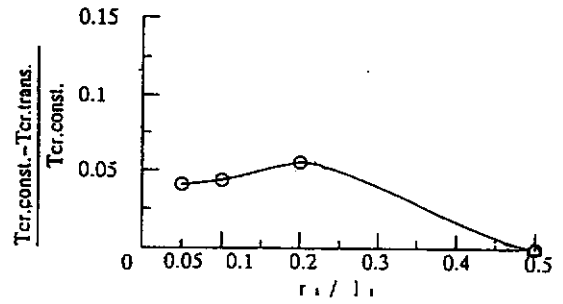


図7 $(T_{cr.const.} - T_{cr.trans.})/T_{cr.const.}$ と形状比 r_1/l_1 との相関

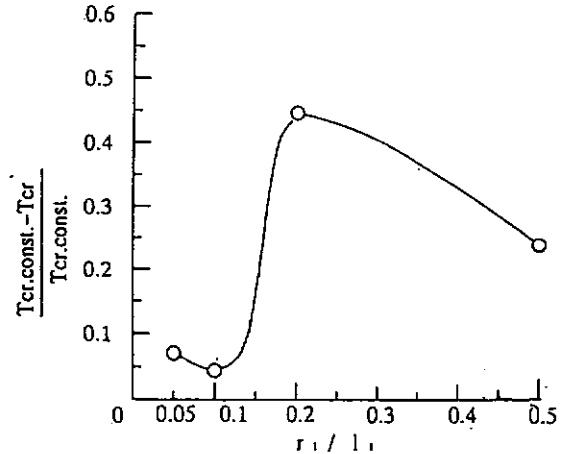


図8 $(T_{cr.const.} - T_{cr})/T_{cr.const.}$ と形状比 r_1/l_1 との相関

4. まとめ

工具の高精度相対位置決めが容易で、しわ押さえ力制御可能な再絞り試験機を設計製作するとともに、工具および素板形状の深絞り特性への影響を用いて検討した。

謝辞

本研究は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団の奨励研究助成の援助のもとになされたものであり、財団に対し心より厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 吉井：塑性と加工、5-37 (1964), 75.
- 2) 福田・ほか2名：日本機械学会論文集、39-323 (1973), 2281.
- 3) G. Eshel et al., J. Mech. Work. Technol., 14-1 (1986), 1.
- 4) 井関・ほか2名：日本機械学会論文集、C編、52-480 (1986), 2257.
- 5) 井関・ほか2名：日本機械学会論文集、C編、54-505 (1988) 2249.