

プレス用樹脂型でのアルミ絞り加工に関する一考察

藤田純一*

Study on Aluminium Drawing using a Resin Dies Made with a 3D Printer

Junichi FUJITA

現在のプレス製品製造業では、多品種少量生産による小ロット化、3Dプリンタなどが普及し試作が容易になったことによる設計変更回数増加、開発サイクルの更なる短納期化など、設計～製造でのより一層の効率化が求められている。効率化の一手法として、3Dプリンタでプレス加工用の樹脂型を作製することが考えられるが、金属型と樹脂型では材料の強度や耐摩耗性が大きく異なり、今までの成形条件や知見が適用できるかは不明である。そこで、本研究では円筒絞りを例に、樹脂型でも安定したプレス加工ができる諸条件を検討した。

Keyword : 3Dプリンタ, 樹脂型, 簡易型, プレス成形, デジタルABS

1. 緒言

工業用プレス製品製造業（県内 令和2年度出荷額100億円市場）では、消費者ニーズの多様化から多品種少量生産による小ロット化が一段と増加している。また3Dプリンタなどが普及し、試作が容易になったことにより設計～製造の設計変更回数が増加している。更に設計～製造の期間はより一層短縮することが求められており、工程全体の更なる効率化が必要とされている。

製造工程の効率化手法の1つとして、金型の材料にアルミを用いた簡易型を使用する手法は既にあるが、同じ簡易型でも近年普及が進んでいる3Dプリンタで造形した樹脂型を使用する方法が提案され、(有)スワニーや中辻金型工業(株)などからデジタルモールドの名称で実用化されている^{1)~3)}。しかし、表1に示すとおり樹脂型と金属型では型材料の強度が大きく異なるため、しわや歪み、割れが発生する条件の相違が予想され、一般的に知られている金属型による成形条件や知見が適用できるかは不明である。

表1 金属と樹脂の強度の違い

材料	型用金属 (SKD11)	型用樹脂 (ABS)
物性項目		
引張強度計数 (MPa)	1800	60
弾性係数 (GPa)	207	3
曲げ強度係数 (MPa)	3000	75

そこで本研究では、成形性の相違を確認するため、プレス加工では比較的難しいとされる絞り加工に関して実験を行った。

絞り加工は、型や加工条件を適切に設定しないとしわや

歪み・割れが発生しやすい⁴⁾。

中でも円筒絞りは、絞り加工の中では最も基本的な成形で、図1、2に示すとおりポンチ形状が円柱なので、荷重が被加工材に均等に作用し、形状による不安定要因を排除できる。本稿ではこの円筒絞りを対象に、安定してプレス成形ができる条件などを検討し、企業が樹脂型を容易に導入できるように各種試験を実施した。

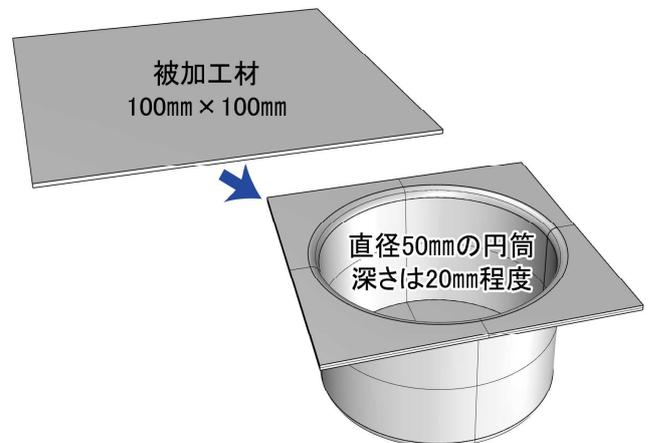


図1 円筒絞り

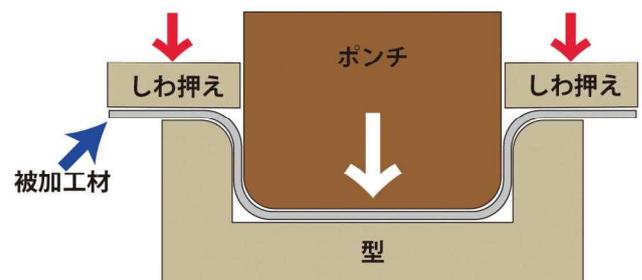


図2 円筒絞りの概念図

*企画支援部

2. 実験装置と実験条件

2. 1 樹脂型

実験装置として、図3に示す樹脂型を作製した。造形に使用した3Dプリンタは、Stratasys社製のインクジェット方式プリンタObjet260 Connex3、樹脂は同プリンタで使用できる樹脂の中で唯一強度と靱性を兼ね備え、既出のデジタルモールドで既の実績があるデジタルABSを用いた。同樹脂の物性を表2に示す。ノッチ付きアイゾット衝撃指数とは、樹脂の機械的衝撃強度で数値が大きいほど耐衝撃性がある⁵⁾。樹脂型の材料としてはこの表の物性程度以上の強度が望ましいと考える。

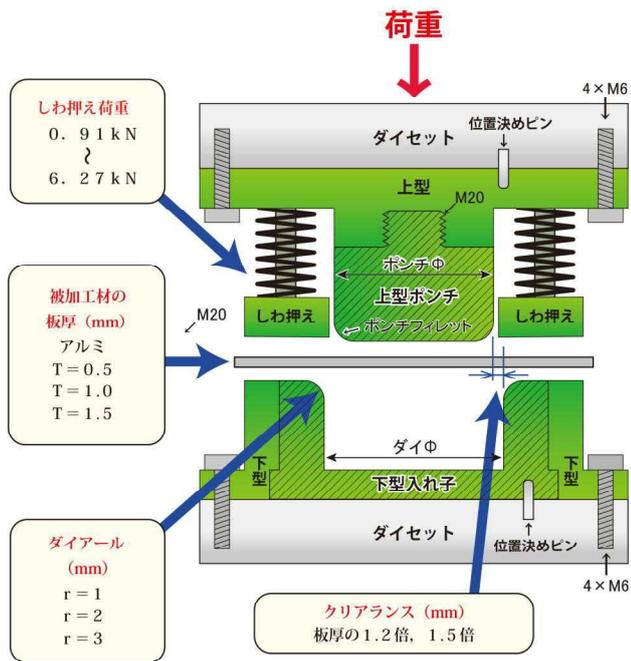


図3 実験概略図と実験条件

表2 デジタルABSの物性

特性	値
引張強度係数	55-60 MPa
引張破断係数	25-40 %
弾性係数	2600-3000 MPa
曲げ強度係数	65-75 MPa
曲げ弾性係数	1700-2200 MPa
ノッチ付きアイゾット衝撃指数	90-115 J/M

樹脂型は、既成の鋼製ダイセット内に設置した。ダイセットは幅160mm×奥行き200mm、厚さは上下とも40mm、上下ストローク長110mm、材質はSS400である。ダイセットと樹脂型の取り付け固定には、φ5公差H5の位置決めピンと、M6ボルト4本で固定した。上型ポンチのストローク長は、今回用いたダイセットの上下ストローク長110mmから樹脂

型の高さを差し引いた20mmとした。通常、アルミ材の初回限界絞り率は0.53~0.60とされている。今回、被加工材は100mm×100mmでポンチ直径が50mmであるため、絞れる深さは30mm以上可能であり、実験用装置のストロークでは足りないが、プレス成形における各種挙動の確認のためにこの深さで実験を行った。

また、実験条件として、しわ押え荷重、被加工材の板厚、ダイアール、クリアランスなど複数の検討要因があるため、実験条件を変化させる部分のみを取り外し可能な分割構造とした。実験概略図と実験条件を図3に示す。

しわ押えは、ポンチに加工荷重が作用した際、被加工材にしわが発生するのを防ぐために用いるが、図4のように、しわ押えの荷重が弱すぎればしわが発生し、強すぎれば割れが発生する。そこで最適な荷重を検討できるようにスプリングを容易に交換できるようにした。スプリングは自然長50mm、縮み代は20mm以上、ばね定数は4.58N/mm~49.0N/mm、初期荷重114N~628N、最大荷重137N~784Nの異形線コイルスプリングを8本用いた。



図4 被加工材のしわ(左), 割れ(右)

2. 2 一体式と取り外し式

今回使用した3Dプリンタの造形精度は、X/Y/Z軸全ての方向で約30μmである。しかしながら実験の利便性向上のため考案した取り外し式について、取り外し式下型(図5右)の場合、内側と外側の造形物に若干の隙間を開ける必要があるが、過去の造形知見から今回0.15mmの隙間を設けた。その隙間で実際に造形した結果、取り外し式の下型の各部品は、挿入や取り外しする際、垂直に出し入れすることではめ込みが可能な状態であり、ぐらつきなどはなかった。内側の造形物と外側の造形物とM6ボルト4本で



図5 下型

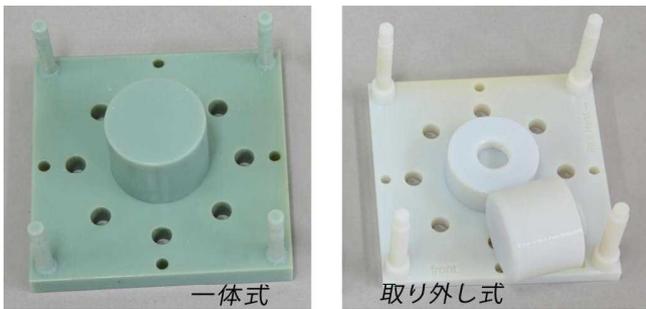


図6 上型

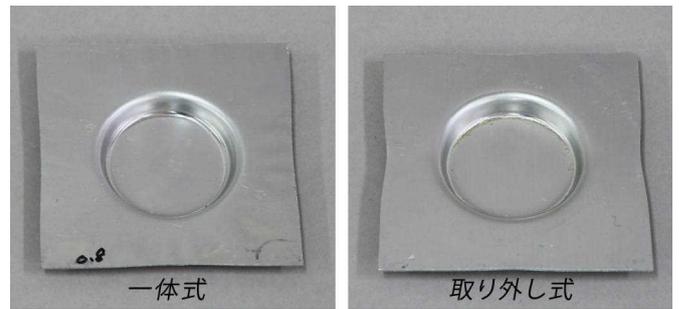


図7 成形品

イセットに固定した。また、上型のポンチは一体造形されたM20の樹脂ボルトで上型に締結固定した。それぞれの写真を図5, 6に示す。なお、樹脂の色合いは異なるが、物性は同じである。

一体式と取り外し式の型について、それぞれの造形精度を三次元測定機にて測定した。測定に使用した装置は(株)ミットヨ製のLEGEX707で各2回ずつ測定した。設計データφ50で造形した下型のダイは、一体型でφ50.153mm, 取り外し式でφ50.315mmであった。また、同じように設計データφ50で造形した上型ポンチは、一体型でφ49.521mm, 取り外し式でφ49.509mmであった。窪み形状のダイは設計データよりも若干大きく造形され、出っ張り形状のポンチは設計データよりも若干小さく造形された。切削加工で作られる金型に比べて、3Dプリンタでの造形物は精度がかなり劣ることを再確認した。

また、一体式と取り外し式の型について、構造上の違いがプレス成形にどのような影響を与えるかを確認するため以下の比較実験を行った。下型のダイはφ51.0, ダイアールをr=3mm, 上型のポンチはφ48.6, ポンチの先端フィレットをr=3mm。この数値であればクリアランスは1.2mmとなり、上型と下型の偏心がないことを確認するために、1.2mmの極細隙間ゲージを挿入した結果、どちらの方式もどの方向からも挿入が不可能であった。

次に、実際に板厚0.8mmのA1050アルミ材を絞り成形して比較した。成形品を図7に示す。加工に使用した装置は(株)島津製作所製の精密万能強度試験機AG-10TEであり、最大荷重は100kNである。加工油は絞り加工用の潤滑剤を被加工材の両面に薄く塗布し、しわ押え荷重を段階的に上げていき2.01kNを最適な荷重とした。比較実験では、一体式と取り外し式で共通のベースを用いたため型の厚さが増し、ポンチストロークは共に10mmとなった。

成形品の実測値は、どちらの方式でも、絞りの外側半径は56.5mm, 内側半径は43.5mm程度、成形品のしわや割れ、歪みなども大きな差は見られなかった。図8に示す加工荷重の曲線を比較しても、最大でも約7%の差で両者に大きな違いは見られず、実験は取り外し式で行うこととした。

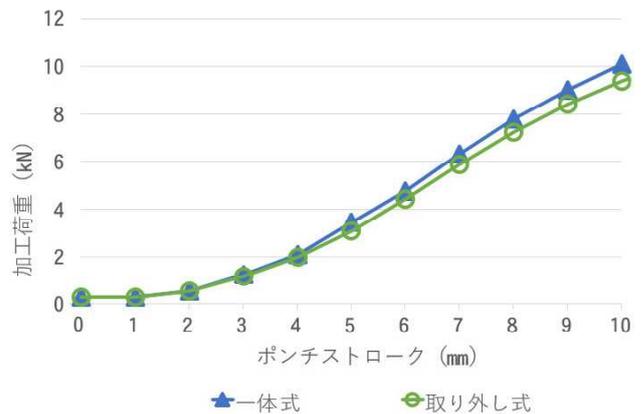


図8 一体式と取り外し式の加工荷重曲線

3. 実験方法

絞り加工を行う際、検討しなければならない要因は多数あるが、今回は樹脂型の有用性を探る観点から下型のダイアールの影響、下型と上型のクリアランスの影響に絞って実験を行った(図9)。使用した被加工材は、前述のとおりアルミA1050を用いたが、同材はアルミの純度が高く加工性には優れるが強度が低い。そこでプレス成形時の割れをできるだけ抑制するため板厚は1.0mmを用いた。実験ではまず、しわ押え荷重を段階的に上げていき、しわが入らず割れも発生しない最適なしわ抑え荷重を探した。

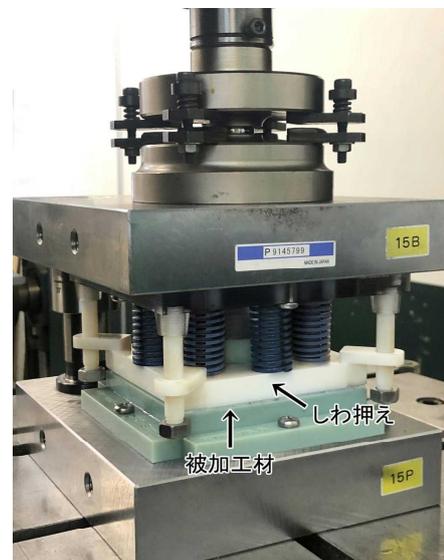


図9 プレス実験の様子

3.1 ダイアールを変化させた場合

プレス下型のダイアールを $r=1$, $r=2$, $r=3$ と変化させ、しわ押え荷重を段階的に上げていき2.70kNを最適な押え荷重とした場合の、下型のダイ ϕ とポンチ ϕ のクリアランスが板厚の1.5倍の実験結果を図10に示す。

ダイアール $r=2$, $r=3$ では深さ11mmまで成形できたが、 $r=1$ では深さ9.6mmでダイアール部分で割れが発生した。 $r=1$ の割れの状態を図11に、荷重の変化を図12に示す。また $r=1$ ではダイの r 部分が急で抵抗が強く、同じしわ押え荷重でもしわが発生したのが確認できる。 $r=1$ に関しては、

しわ押え荷重は更に増大させる必要がある。

次に、クリアランスが板厚の1.2倍の実験結果を図13に示す。クリアランス1.5と同じで、ダイアール $r=2$, $r=3$ では深さ11mmまで成形できたが、 $r=1$ では図14のとおり深さ9.5mmでダイアール部分で割れが発生した。荷重の変化を図15に示す。クリアランス1.5と同様に $r=1$ では、ダイの r 部分が急で曲げ抵抗が強く、同じしわ押え荷重でも、しわの発生を確認できる。

ダイアール $r=3$, クリアランス=1.2での成形品の表裏の状態を図16に示す。しわや割れなどなく成形できた。

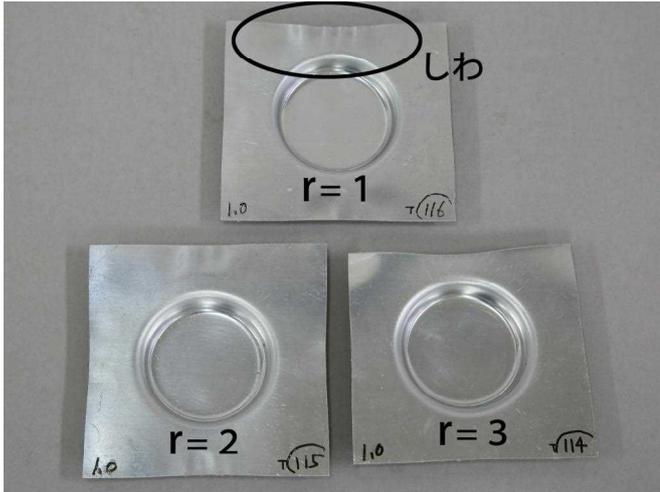


図10 ダイアールを変化させた場合(クリアランス1.5)

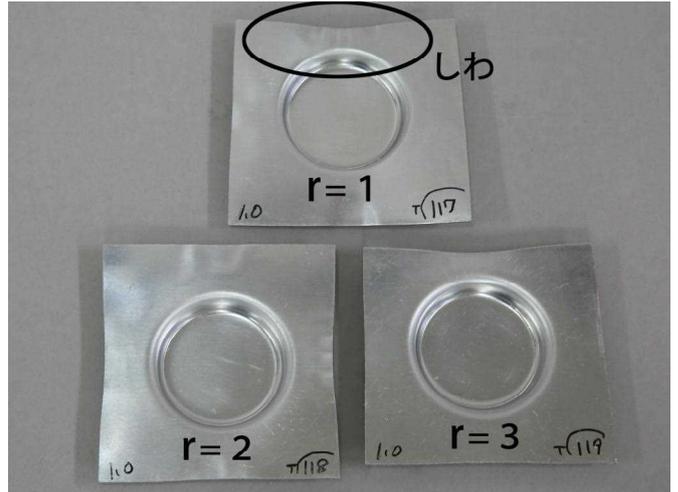


図13 ダイアールを変化させた場合(クリアランス1.2)

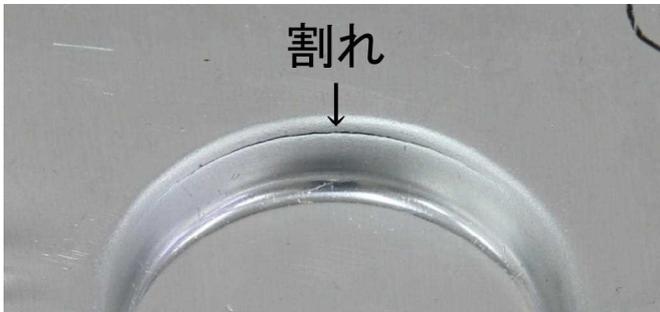


図11 上記ダイアール $r=1$ での割れ

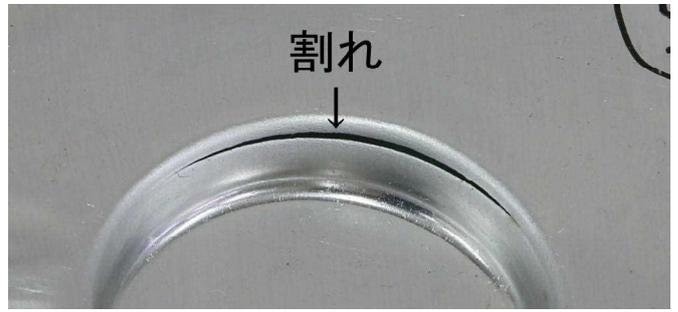


図14 上記ダイアール $r=1$ での割れ

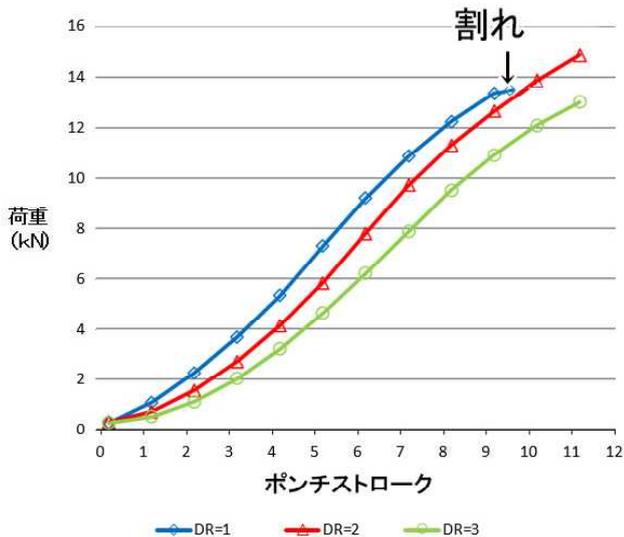


図12 ダイアールを変化させた場合 (クリアランス=1.5)

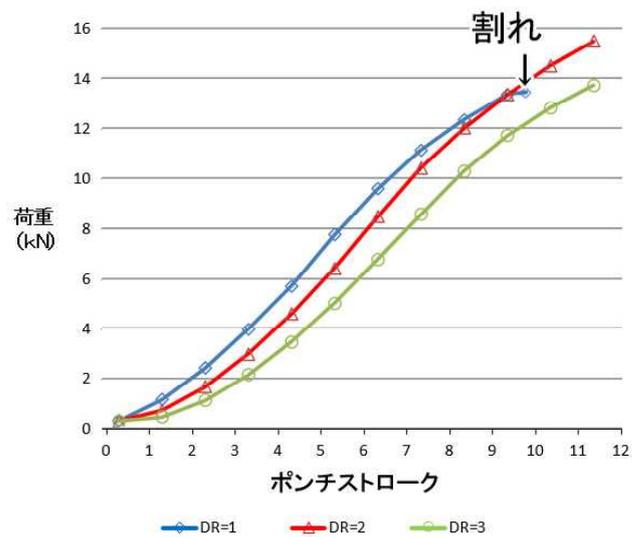


図15 ダイアールを変化させた場合 (クリアランス=1.2)

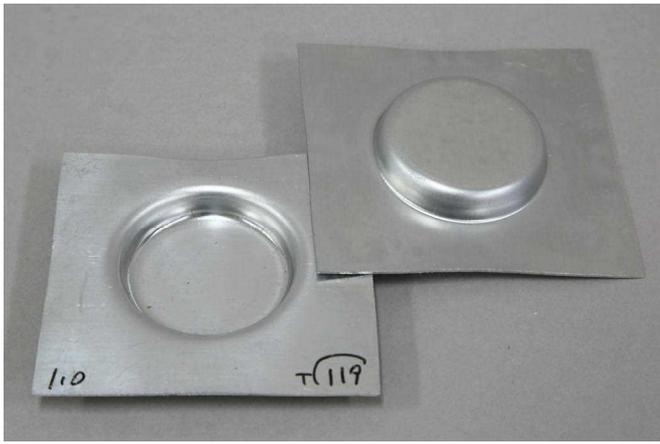


図16 ダイアール3, クリアランス=1.2の成形品

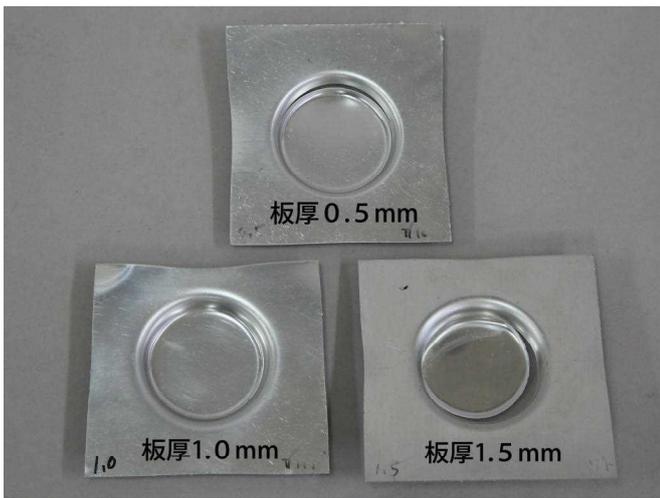


図17 被加工材の板厚違いの成形結果

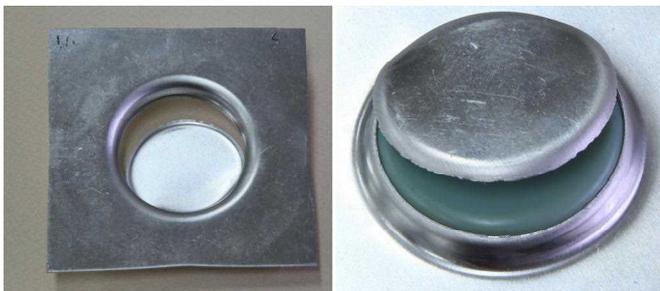


図18 1.5mm板の割れ (左: 全体, 右: 裏側の拡大)

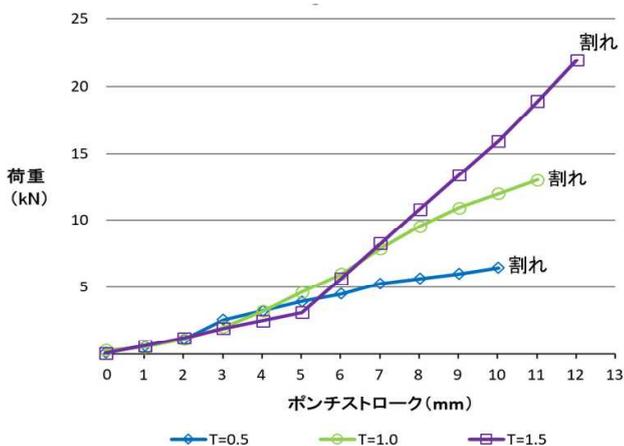


図19 被加工材の板厚を変化させた場合

3. 2 被加工材の板厚を変化させた場合

次にアルミA1050の板厚を変化させて実験を行った。比較した板厚は0.5mm, 1.0mm, 1.5mmである。加工油などの条件については前項と同じで、しわ押え荷重については各板厚ごとに検討した。良好な成形ができる可能性が高いダイアールとポンチラジウスは $r=3$ mm, クリアランスは1.5倍で実験を行った。

しわ押え荷重は、板厚0.5mmの時3.39kN, 板厚1.0mmの時2.70kN, 板厚1.5mmの時2.70kNであった。

実験の結果、図17~19に示すとおり板厚1.5mm以外ではプレス深さ11mm前後で、板厚1.5mmでは12mmで割れが発生した。割れた箇所は、板厚0.5mmではポンチ先端部の12時方向、板厚1.0mmではダイのr部分で4時方向、板厚1.5mmではポンチ先端部の11時方向であり、割れの箇所や方向の類似性は見い出せなかった。

限界絞り率から考察すると、この絞り深さで割れが発生するのは不自然であり、原因としては以下の2点が考えられる。1つは、A1050アルミ自体が純粋なアルミで軟質材としての性質が強く、アルミの曲げ箇所は延性を持つことから伸縮し、絞りに対する強度を保つことが難しかったからと考えられた⁶⁾。2つ目は、樹脂型の表面は金型に比べて明らかに摩擦が大きく、その摩擦抵抗が割れの発生に起因していると考えられた。

以上の実験結果から、単純に金属型を樹脂型に置き換えただけでは、アルミの初回限界絞り率0.53~0.60とされる金属型と同等なプレス成形は行えず、特に割れが多発し、正常な成形品を得ることは難しかった。今回実験で検討を行った以外で影響を及ぼした可能性がある要因として、潤滑油の種類やダイのr部分への油の溜め方、樹脂型表面の摩擦の影響、同じアルミ材でも絞り成形が容易なA5052の使用など、更なる検討が必要なが分かった。

4. 結 言

3Dプリンタで造形したプレス用樹脂型を用いて、A1050アルミ材の円筒絞り成形を検討した結果は以下のとおりである。

- (1) 一体式樹脂型と取り外し式樹脂型を比較した結果、取り外し式の部品同士の隙間を0.15mmとしてもプレス成形には影響がないことが分かった。
- (2) 最適なしわ押え荷重は、絞り加工用の潤滑剤を被加工材の両面に薄く塗布した場合、板厚0.5mmの時3.39kN, 板厚1.0mmの時2.70kN, 板厚1.5mmの時2.70kNであった。
- (3) 下型のダイアールを $r=1\sim 3$ mmで変化させた際、板厚が1.0mmでクリアランス1.5倍の時、ダイアール $r=1$ mmではプレス深さ9.6mmで肩部分に割れが発生したが、それ以上のrでは割れは発生しなかった。

- (4) 下型のダイアールを $r=1\sim 3\text{mm}$ で変化させた際、板厚が 1.0mm でクリアランス 1.2 倍の時、ダイアール $r=1\text{mm}$ ではプレス深さ 9.5mm で肩部分に割れが発生したが、それ以上の r では割れは発生しなかった。
- (5) 被加工材の板厚を 0.5mm , 1.0mm , 1.5mm と変化させた時、板厚 1.5mm 以外ではプレス深さ 11mm 前後で割れが発生し、板厚 1.5mm では 13mm で割れが発生した。割れた箇所はダイの r 部分とポンチ先端部のどちらかで、割れた箇所や方向にも類似性は見いだせなかった。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、樹脂型によるプレス成形関連技術デジタルモールドの特許を取得されている有限会社スワニーならびに中辻金型工業株式会社の事例開発を参考にさせていただきました。またストラタシスの国内代理店であります株式会社アルテックにも様々なご協力いただき感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) デジタルモールド：特許第6540940号，特許第6145537号，特許第6509038号
- 2) 橋爪良博，吉澤文：素形材，**62**(6), 26-32(2021)
- 3) 中辻隆：素形材，**62**(6), 8-12(2021)
- 4) 溶接板金加工ドットコム (株) 岩本鉄工所
<https://yousetsubankinkakou.com/information/アルミの加工はなぜ難しいのですか?/> (閲覧日 2022-7-21)
- 5) 日本工業規格：JIS K 7110 (1999)
- 6) 絞り加工ドットコム (株) 加藤製作所
<https://shiborikatoeigy.com/about/01.html>
(閲覧日 2022-7-21)



本研究は財団法人JK Aの
「機械工業振興補助事業」
により整備した機器を活用
して実施しました。