

歯形断面成形－圧縮の2段階プロセスによる 金属薄板の部分的厚肉化

豊田工業高等専門学校 機械工学科
教授 林 伸 和
(平成16年度 研究開発助成 AF-2004019)

キーワード：板金化，深絞り容器壁，厚肉化

1. 研究の目的と背景

自動車部品の多くは塑性加工製品であるが、燃費向上、ひいては地球環境保全のため軽量化が強く求められている。金属材料で部品を製造する場合、塑性加工法による方法は、加工中にうける塑性ひずみによって組織が微細化し、良好な機械的特性が得られる。さらにその中でも、板材からプレス加工によって製品を作るプロセスは、出発材である金属板自身が、製造時に圧延によって非常に大きなひずみをうけており、したがってそのプレス部品も機械的特性に優れ、軽量化に有利である。

板金化は、製造工程改善にも効果的である。金属板を製造する圧延工程は改良が非常に進んでおり、性能のよい板材が低コストで入手できる。また板材成形は製品の大きさの割に必要な加工力が小さく、製造コスト低減に有効である。

板成形後のプレス部品における各部分の肉厚は、出発素材とそれほど大きな違いはなく、どこもほぼ一様である。しかし、その製品にとって必要な材料厚さは当然場所によって異なっているはずである。通常は、最も強度を必要とされる部分の板厚で出発素材の板厚が決定され、他の部分は過剰品質となっている。もし、必要とされる部分だけ厚肉化できれば、出発素材の板厚を小さくすることができる。

この申請研究では、具体的にはリングギアやプーリーのような部品を想定している¹⁾。図1に示すように、製品は容器形状とし、強度の必要な容器周辺の壁部だけを厚肉化する方法について検討した。

2. 実験方法

2.1 厚肉化プロセスの決定

薄板の厚さを増大させるため板面内に圧縮力を加えても、座屈が生じ、折れ曲がるだけで厚肉化できないこと

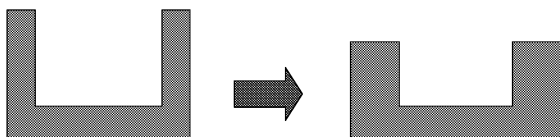


図1 容器壁の部分的厚肉化

が知られている。図2は、本研究の検討において、容器壁の厚肉化を狙って、コンテナとマンドレル間の一定すきま内で容器壁部を囲み、圧縮加工され、しわが発生した例である（加工条件は後述）。加藤らは²⁾板材を波形にすることで強度を向上させ、厚肉化を達成した。本研究でもこのような2段階プロセスを行うことにした。ただし、板材の片面は製品形状が成形できることを実証するため、ここでは容器外面は平面を保つことを加工条件とする。そのため、厚肉化前の板の断面形状を図3とし、素板の両側ともに平面工具で挟むことで座屈なしで厚肉化できると考えた。図において、厚肉化プロセスで紙面に垂直方向が圧縮方向である。

2.2 深絞り容器

実験に使用した材料は板厚1.5mmのA1050H24材で、面内異方性がある。このような材料を深絞りした場合、「耳」と呼ばれる容器高さが方向によって違うものができる。通常このような容器を機械部品として使用する場合、耳は切り落としてスクラップとなる。本研究では、端を切り捨てることなく一様高さの容器作製をねらう。

板厚1.5mm、直径75mmの円形素板をパンチ直径40mm、

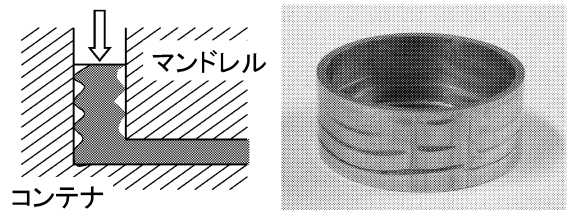


図2 しわが発生した壁部厚肉化容器

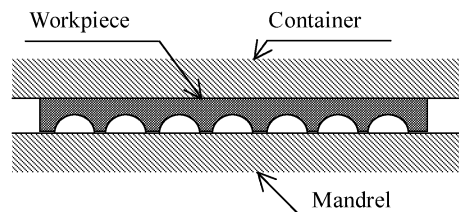


図3 2段階厚肉化プロセスの中間素材形状

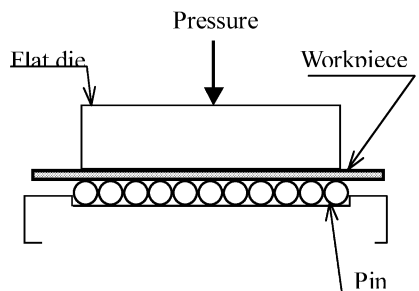


図4 歯形断面形状作製実験
(材種A1050H24, 板厚1.5mmピン直径4mm)

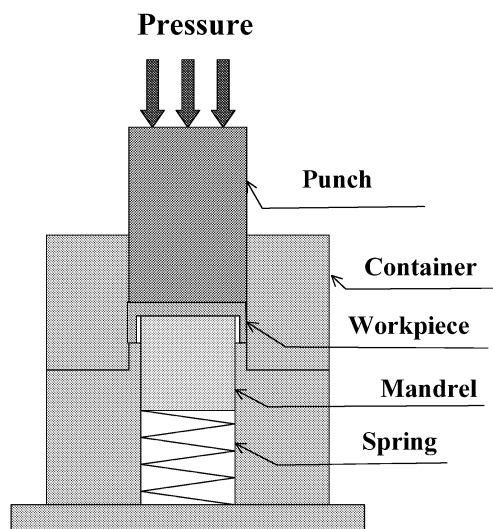


図5 容器壁厚肉化装置
(パンチ径44mm, マンドレル径40mm)

ダイス穴径44mmの深絞り装置により、絞り比1.875で深絞り容器を作製した。

2.3 歯形断面成形予備実験

本研究の第1段階として、図3の断面を持つ材料を作製しなければならない。そこで予備実験として、平板の歯形断面成形実験を行った。ここでは最も単純に、片側から等間隔に並んだ円筒ピンを押し付ける方法とした。図4に示すように、圧延方向を長手方向とし、幅30mmのアルミニウム板に、径4mm、長さ50mmの円筒ピンを並べた工具で圧縮荷重を加えた。

2.4 容器壁厚肉化装置

実験に使用した工具の構成を図5に示す。コンテナに深絞り容器をいれ、壁部のみに圧縮荷重を加え厚肉化する。荷重を加えるとき、容器底を平らに保つようにマンドレルとパンチで容器底を挟むようになっている。パンチ径はφ44mm、マンドレルはφ40mmの円柱工具を使用する。マンドレルを押し上げるばねはばね定数306N/mmのものを使用する。

2.5 容器壁内面への歯形形状成形実験

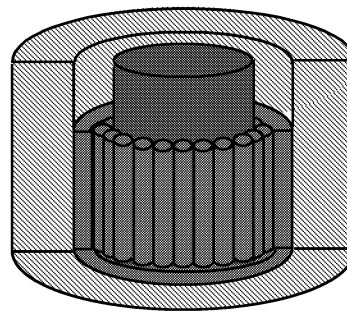
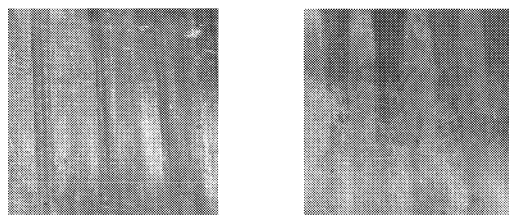


図6 容器壁内面に歯形形状を成形のための工具配置概要



(a)平面ダイス側潤滑 (凹み発生)
(b)平面ダイス側無潤滑 (凹みなし)

図7 素板の平面ダイス側形状に及ぼす潤滑条件の影響 (ピン側：グラファイトグリース潤滑)

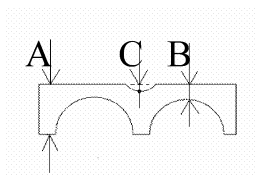
深絞り容器内壁にφ4mm、長さ25mmのピンを28本並べ、その内側に直径36mm、高さ50mmの円筒形状のウレタンゴムを入れる。図5のコンテナとパンチを利用し、図6のように、絞り容器をコンテナに入れ、パンチでゴムを荷重588kNまで圧縮し、ゴムを膨らませることによって容器壁部だけに歯形形状を作った。

3. 実験結果

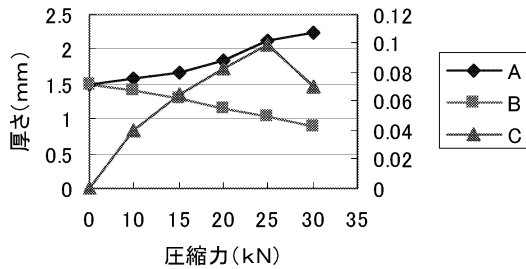
3.1 平板の歯形形状成形予備実験

潤滑条件によって歯形成形の様子が大きく変化することが分かった。図7は、円筒ピン側はグラファイトグリース潤滑とし、平面ダイス側の潤滑の有無によって、試験片の平面ダイス側に凹みが発生した様子を示す。図7(a)の平面ダイス側を潤滑した場合、凹みが発生したが、図7(b)の無潤滑とし摩擦を大きくすると、凹みは発生しなくなった。材料と工具間の焼付き発生を考えると問題が残るが、本研究の目的から歯形断面形状を作製することを優先し、厚肉化実験を進めることにした。

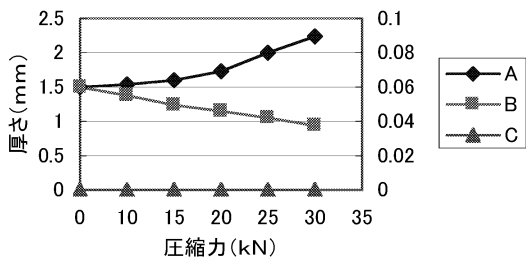
ピン荷重を加えることで作製される歯形形状の寸法を図8に示す。図8(b)から平面ダイス側潤滑の場合、試験片に凹みが発生しているが、図8(c)では凹みが全く発生していないことがわかる。この結果から、図3に示す素板の断面形状は、板材の平面ダイス側を無潤滑とした円筒ピン圧縮加工によって実現できることがわかった。



(a) 各寸法計測部



(b) 平面ダイス潤滑



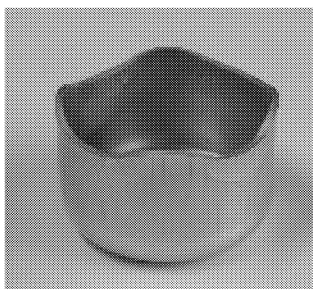
(c) 平面ダイス無潤滑

図8 帯板による歯形成形予備実験結果

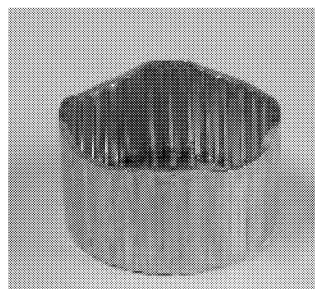
た。

3.2 容器形状の観察

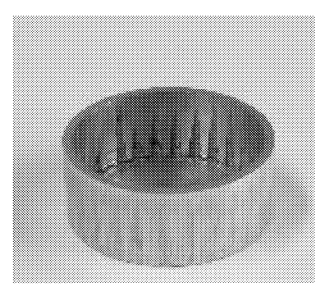
深絞り加工したままの深絞り容器，ウレタンゴム圧縮



(a) 深絞り容器
($t=1.5\text{mm}$, $DR=1.875$)



(b) 容器壁内面歯形成形
された深絞り容器



(c) 厚肉化容器
(厚肉荷重98kN)

図9 2段階プロセスによって厚肉化された絞り容器(A1050H24材, $t=1.5\text{mm}$)

荷重588kNによって容器壁部内面に歯形を作製した容器，およびその歯形成形を行った深絞り容器壁部を98kNの圧縮荷重で厚肉化した深絞り容器の写真を図9に示す。本研究の目標通りに，容器壁外面は平面を保って厚肉化できた。また，もう一つの目的であった耳のある深絞り容器のトリミングなしの厚肉化も達成できている。なお，図2のしわが発生した深絞り容器写真は，本研究提案の2段階プロセスではなく，直接98kNの荷重で厚肉化したものである。

4. 考察

4.1 容器内面の歯形成形条件

図10は，予備実験の図8と同様な目的で，容器高さ15mmにおけるゴム荷重と歯形成形の高さの関係を調べたものである。ゴム荷重がおおよそ500kN以上であれば，コンテナとマンドレル間のすきま寸法である2mmまで盛り上がる事がわかる。

4.2 厚肉工程におけるパンチ荷重とパンチストロークの関係

しわ発生は座屈現象であり，座屈が生じるときと比較し，座屈が生じないとき成形荷重が増大するものと予想される。図11は，図2で示したような深絞り加工したままの容器壁部を厚肉化するとき，歯形成形し2段階プロセスによって厚肉化したときのパンチ荷重とパンチストロークの関係を示す。歯形成形荷重が大きいくほど，厚肉化時のパンチ荷重が増大し，パンチ荷重は約2倍に達している。このパンチ荷重増大の理由として，上述の座屈しにくくなった効果に加えて，加工硬化の影響も考えられる。すなわち，歯形成形のため変形を受けたため，加工硬化し，その結果パンチ荷重が増大したものと判断される。しかし本研究で使用した出発素材はH材（半硬質材）であり，加工硬化の影響は比較的小さいものと判断している。

4.3 容器壁の高さ方向の充填度の変化

図9(c)からわかるように，容器壁は高さ方向に厚肉化の程度が異なる。すなわち，どうしても深絞り容器底

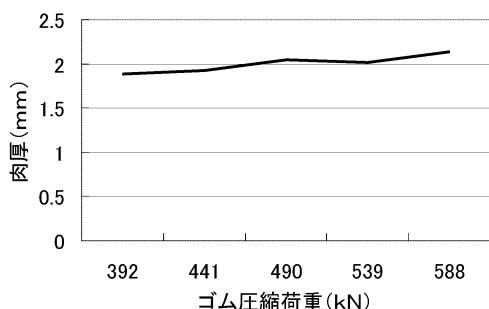


図10 ゴム荷重と歯形形成高さとの関係

に近い壁の厚肉化が遅れる。この理由は、深絞り加工によって作製された容器は、底に近い壁部厚さが小さいことによる。最終的に壁部すべてが所望の一定厚さになれば問題とはならないが、もし工程の途中で容器壁厚さの高さ方向分布を小さくすることができれば、より望ましいと考えている。今後の課題としたい。

5. 結論

厚肉加工中外面は平らな円筒面を保つこと、および耳のある深絞り容器壁をトリミングすることなく厚肉化することを加工条件として、中間形状として歯形断面を持たせた2段階プロセスを提案して実験を行った。その結果、以下の成果が得られた。

1) 歯形断面の成形は、素板を円筒ピン工具（円筒ピンを密着して並べたもの）と平面ダイス間に挟み、圧縮を加えることで作製できた。そのとき、平面ダイス側は無潤滑とすることが必要であった。

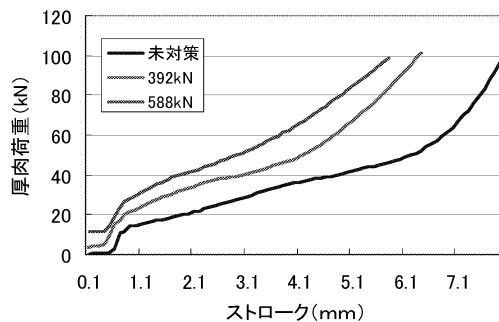


図11 厚肉化時のパンチ荷重とパンチストロークの関係

2) 歯形断面を持つ深絞り容器を中間形状とする2段階厚肉化プロセスによって、耳をトリミングすることなく厚肉化することができた。

謝辞

本研究を進めるにあたり、(財)天田金属加工機械技術振興財団の平成16年度研究開発助成(AF-2004019)を賜った。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1)前田昭宏・荒木邦彦, 金属製歯形部品の成形技術, 塑性と加工, 39-445 (1998), 106-110.
- 2)加藤浩三・近藤一義・林伸和, 深絞り容器壁部の板厚増加を伴う型鍛造, 機論, 65-634, C(1999), 2555-2560.