

極薄板の深絞り法の開発 (ゴムリングとポンチを併用した深絞り法)

高倉章雄*

1. まえがき

最近、省資源・省エネルギーおよび各種工業製品や電子部品の小型・軽量化に対する要求が厳しくなり、これに伴って板材プレス加工においては極薄板の成形技術の開発が強く望まれている。しかし、極薄板は、剛性や座屈抵抗が小さく、また破断強度も著しく小さいためにしわの発生や破断などの成形不良を起こしやすくプレス成形が困難である。

剛体工具を用いた深絞り加工においては、素板の板厚が薄くなるにつれて、限界絞り比が低下する。特に、板厚が0.2mm以下のいわゆる極薄板は、この傾向が顕著であり、アルミニウム板の場合、板厚1mmの限界絞り比は2.0程度であるが、板厚0.1mmでは1.5程度まで低下する¹⁾。極薄板の深絞り加工における主な問題点は、ポンチ肩部での破断とフランジ部やダイス肩部でのしわが生じやすいことである。したがって、極薄板の深絞り性を向上させるためには、これらの問題点を改善できる新しい深絞り法を開発することが必要である^{2), 3)}。

Maslennikov⁴⁾や福田ら⁵⁾は、図1に示すように、コンテナ内にゴムリング、素板およびダイスを重ねて圧縮し、圧縮されたゴムリングが半径方向内側へ変位する際に素板とゴムリングの接触面に作用する摩擦力を絞り変形に

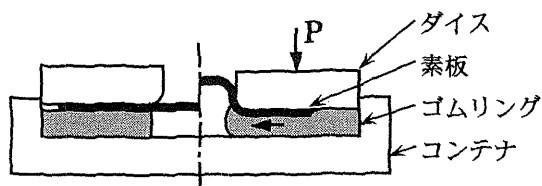


図1 ポンチなし深絞り法の概略

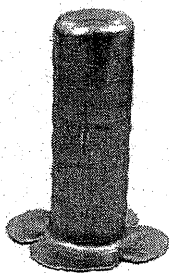


図2 ポンチなし深絞り法の製品例
(アルミニウム板, $t=1.0\text{mm}$)

利用したいわゆるポンチなし深絞り法を提案している。ゴムリングの圧縮量を大きくするとゴムリングがダイス穴内に充填するため、1回の圧縮における絞り変形量(絞り高さ)はさほど大きくはない。しかしながら、ゴムリングを除荷すると素板は絞り変形を受けた状態のまま、ゴムリングのみが元の形状に戻る。したがって、ゴムリングの圧縮と除荷の操作を繰り返していけば、素板は順次絞り変形を受けることになり、図2に示すような極めて深い容器を成形できる⁵⁾。

この加工法では、ポンチを使用しないのでポンチ肩破断の危険は全くなく、またゴムリングの高圧力により、フランジ部やダイス肩部でのしわの発生を防ぐことができる。このため、この加工法は、極薄板の深絞り加工に有効であると考えられるが、この加工法を極薄板に適用すると、ゴム圧力が作用しない製品底や側壁部に形状不良が生じるなどの問題が生じる。また、絞り変形は、フランジ部の素板とゴムリング間に作用する摩擦力のみによって行われるため、加工効率はさほどよくない。

本研究では、このゴムリングを使用した深絞り法の利点を利用し、製品底や側壁部の形状不良の防止および絞り変形の促進のために剛体ポンチとゴムリングを併用した深絞り法を考案した^{6)~10)}。そして、この深絞り法をアルミニウム極薄板に適用し、加工の可能性と問題点について検討した。

2. 実験方法

実験には、市販のアルミニウム板(板厚 $t_0=0.1, 0.2, 0.3\text{mm}$)を使用した。なお、これらの素板は、実験前に 360°C 、90分間焼なました。ゴムリングとしては、ウレタンゴムを使用した。

実験装置の概略を図3に示す。この加工法では、ダイスを加圧すると同時にポンチを上昇させる。この時、ポンチに作用させるポンチ力が大きすぎるとポンチが先行してしまうためにポンチ肩破断が生じる。そこで、各素板について剛体工具による深絞り加工の破断荷重を求め、この破断荷重の90%の値をポンチ力として採用し、ゴムリングの圧縮中に常に付加した(表1)。なお、ゴムリング除荷時には、ポンチ力を0にした。

この方法によれば、フランジ部やダイス肩部には、高いゴム圧力が作用するので、しわの発生を防ぐことができ、また、ポンチの牽引力により製品の頭部や側壁部に引張力

が付加されるので、製品底の形状不良や側壁しわの発生を防ぐとともに、絞り変形が促進される。

絞りの初期段階では、図3に示すように、ゴムリングとポンチの隙間が小さいため、ゴムリングの圧縮率を大きくすることはできない。そこで、ポンチ頭部の直径の大きい部分がダイス内に入るとまでは、ゴムリングの内端がポンチに接触しない程度の小さい圧縮率で絞りを繰り返した。このようにすれば、ポンチは傘状になっているのでゴムリングとポンチの隙間が大きくなり、ゴムリングの圧縮率を大きくすることができる。本実験では、この初期段階の圧縮率を10%とし、これを3回繰り返した。

素板とゴムリングの接触面は無潤滑とした。一方、ダイスと素板間にはポリフロン乾性ワックスを、またコンテナとゴムリング間にはポリエチレン薄膜を潤滑剤として使用した。

3. 絞り高さに対するゴムリング諸元の影響

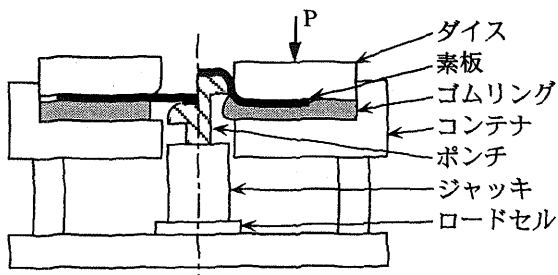
3.1 ゴムリング内径の影響

図4に、ゴムリング内径 d_2 を3種類に変化させて絞りを行った場合の絞り高さ h とゴムリング内径の関係を示す。絞り高さ h は、ゴムリングの圧縮率を10%とし、圧縮を4回繰り返した場合のものであり、ダイス内径 d_1 との比 h/d_1 で表してある。

図から、いずれの板厚においても $d_2/d_1 \approx 1.1$ の場合に

表1 ポンチに付加した荷重

素板板厚 t mm	0.1	0.2	0.3
ポンチ荷重 kN	1.2	2.4	3.6



	外径 mm	内径 mm	肩半径 mm	厚さ mm	JIS硬度
ダイス	120	40.4	1, 2, 3	—	—
ポンチ	39.4 39.6 40.0	—	2	—	—
ゴムリング	120	40.4 45.0 50.0	—	3, 5 7, 10	90 95 98

図3 実験装置の概略および工具寸法

絞り高さが極大値を示しており、適切なゴムリング内径 d_2 が存在することがわかる。

また、素板の板厚が薄く ($t_0=0.1$ mm), ゴムリング内径が大きい場合には、ダイス肩付近に図5に示すようなしわが発生した。これは、素板が絞り変形を開始する時点において、ゴムリング内端がダイス肩部に達せず、この部分にゴム圧力が作用しないためである。一方、ゴムリング内径が小さい場合には、ゴムリングの内端がポンチに接触し、ゴムリングがポンチを押し上げるためにポンチ肩破断が生じた。

3.2 ゴムリング硬度の影響

図6, 7にゴムリングの硬度を変化させた場合の絞り高さ h と圧縮率の関係を示す。図の横軸は、圧縮率を10%として3回絞りを行った後の4回目の絞りにおける圧縮率である。

ゴムリングの硬度が大きいものほど圧縮荷重が増大し、素板とゴムリング間に作用する摩擦力は大きくなる。したがって、硬度が大きいものほど絞り変形に有効であると考えられるが、図示のように、いずれの板厚においても絞り高さは、硬度の小さいものほど大きくなった。

この原因としては、ゴムリングの変形挙動が考えられる。すなわち、図8に示すように硬度が小さい場合には、ゴムリングはダイス肩に沿って変形するが、硬度が大きい場合にはダイス肩に十分なじまない。このため、硬度が大きい

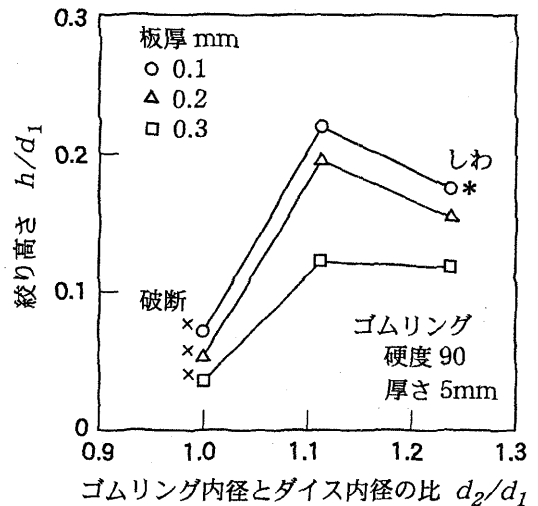


図4 絞り高さに対するゴムリング内径の影響

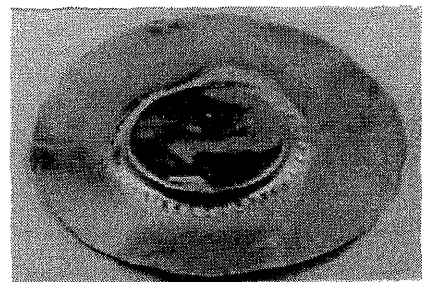


図5 フランジしわの例 ($t=0.1$ mm)

場合には、ダイス肩部での摩擦力が作用せず、これが絞り高さを低下させたものと考えられる。

なお、板厚が0.1mmの場合には、ゴムリング硬度が小さくなると、ダイス肩からフランジ部にかけて半径方向の割れを生じた(図9)。これは、ゴムリングの除荷時に圧縮時とは逆方向の摩擦力が素板に作用するためであると考えられる。したがって、極薄板の場合には、ゴムリング硬度を大きくするか、または圧縮率を小さくして深絞りを繰り返すことが必要である。

3.3 ゴムリング厚さの影響

図10, 11にゴムリングの厚さを変化させた場合の絞り高さとの関係を示す。図の横軸は、4回目の絞りにおける圧縮率である。図から、ゴムリングの厚さが大きいほうが、絞り変形に有効であることがわかる。板厚が0.1mmの場合には、圧縮率が大きくなると図9に示したフランジ割れが生じた。このフランジ割れは、ゴムリング厚さが大きいものほど小さい圧縮率において発生した。

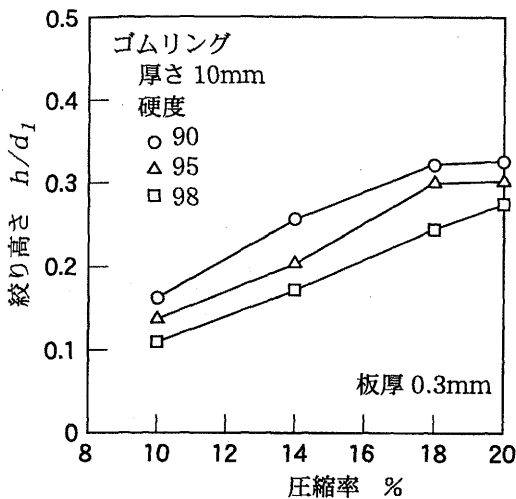


図6 絞り高さに対するゴム硬度の影響

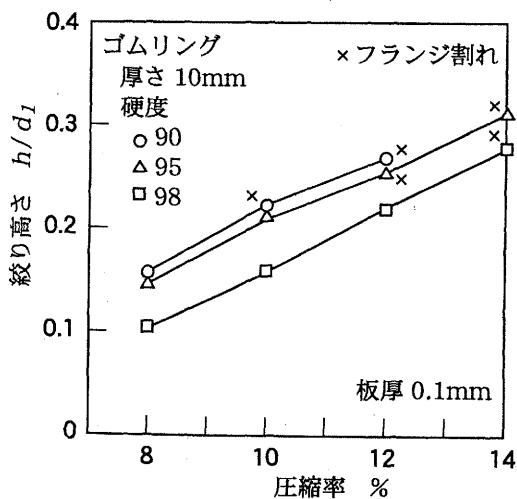


図7 絞り高さに対するゴム硬度の影響

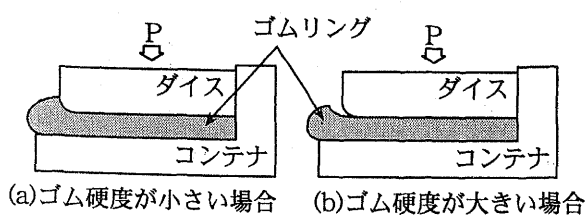


図8 ゴムリングの変形挙動

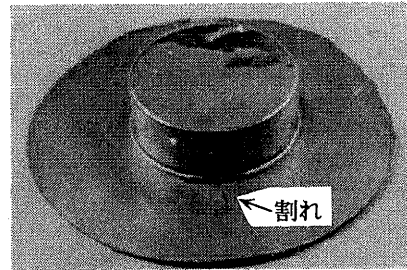


図9 フランジ割れの例 (t=0.1mm)

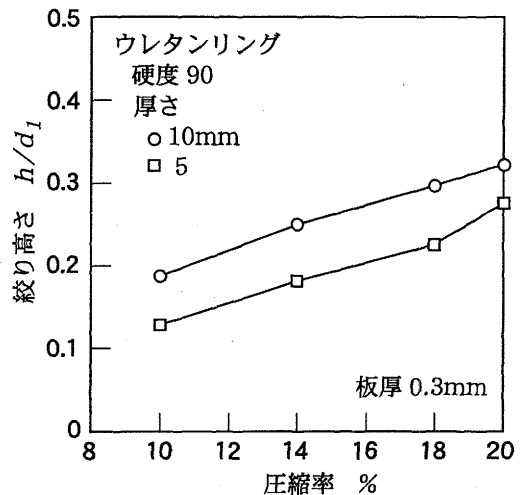


図10 絞り高さに対するゴムリング厚さの影響

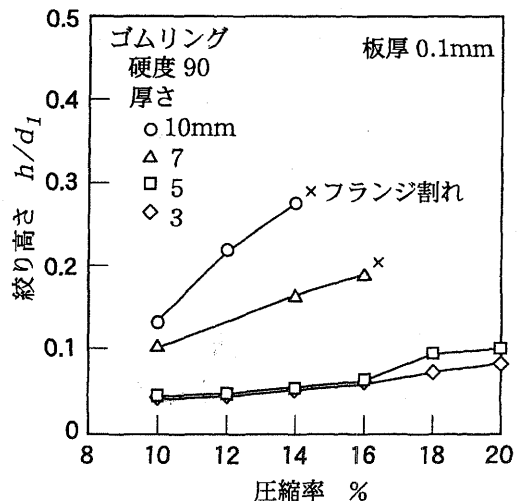


図11 絞り高さに対するゴムリング厚さの影響

4. 絞り高さと絞り回数の関係

以上までにおいて得られた結果を参考にして、連続深絞り加工を行った。連続深絞りに用いた加工条件を表2に示す。

図12に、絞り高さと絞り回数の関係を示す。いずれの板厚においても、絞り高さは、絞り回数の増加に伴って増大していくことがわかる。しかし、板厚が薄い0.1mmの場合には、絞り比 $\beta=2.97$ において、図13に示すような破断がフランジ部で生じた。

図14は、フランジ部におけるゴムリングと素板の半径方向速度分布の一例を示したものである。図に示すように、ゴムリングと素板の速度が等しくなる中立点が存在し、この中立点を境にしてゴムリングと素板の接触面に作用する摩擦の向きが逆転する。すなわち、中立点より内側ではゴ

表2 連続絞りに用いた加工条件

素板 板厚 mm	ゴムリング			
	JIS硬度	厚さ mm	内径 mm	圧縮率 %
0.1	98	10	45	12
0.2	90	10	45	20
0.3	90	10	45	20

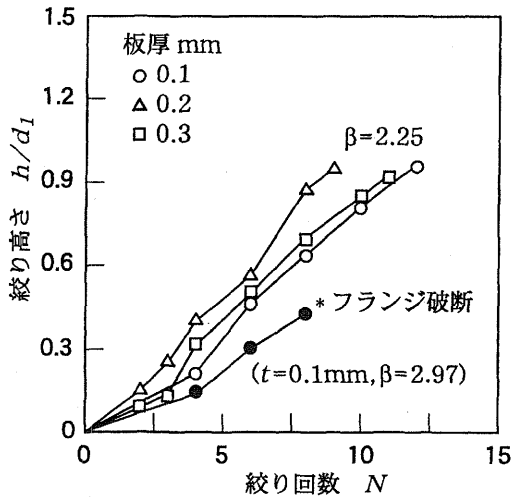


図12 絞り高さと絞り回数の関係

ムリング速度が素板速度より大きいので摩擦力は絞り変形に有効な方向に作用するが、外側ではこの速度関係が逆になるために摩擦力は絞り変形を妨げる方向に作用する。このため、中立点には引張力が作用することになる。板厚が薄い場合には、この中立点に作用する引張力が素板の破断強度に達し、フランジ部破断が発生したものと考えられる。

このフランジ部での破断を防止するためには、中立点より外側の部分に潤滑剤を塗布して摩擦力を低下させるか、または、素板径に対して大きい直径のゴムリングを使用し、中立点より内側の領域を大きくすることが必要である⁵⁾。

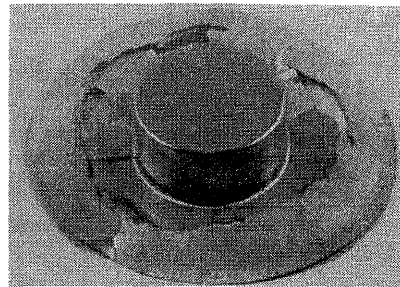


図13 フランジ部破断の例 (t=0.1mm)

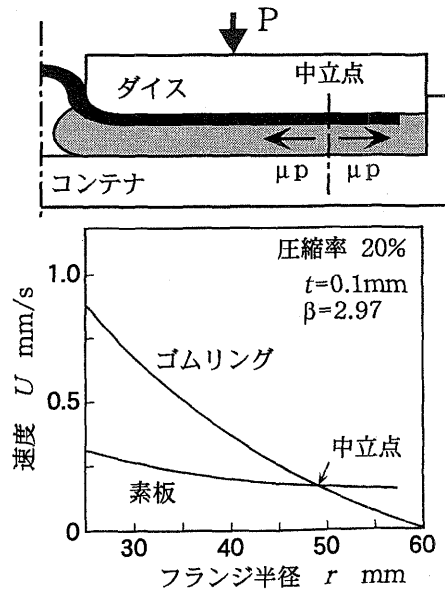


図14 フランジ部におけるゴムリングおよび素板の半径方向速度分布

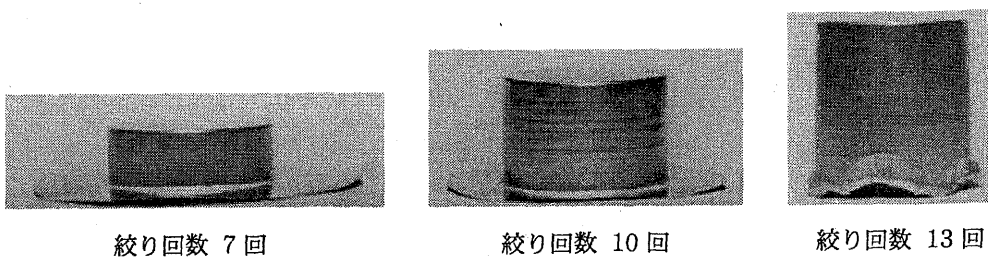


図15 連続深絞り加工の進行状況 (t=0.1mm, $\beta=2.25$)

図15に、板厚0.1mm、絞り比 $\beta=2.25$ の素板を連続深絞り加工した場合の絞りの進行状況を示す、本加工法では、剛体工具による深絞り法では成形が困難な板厚が0.1mmの場合においても、良好に絞り加工が進行していくことがわかる。図16に、本加工法で得られた絞り比と剛体工具による限界絞り比¹⁾の比較を示す。剛体工具による深絞りに比べて絞り比が大幅に向上していることがわかる。

5. まとめ

ゴムリングとポンチを併用した深絞り法により、アルミニウム極薄板の深絞り加工を行い、加工の可能性と問題点について検討した。特に、絞り高さとしわの発生に対するゴムリングの影響について調べた。得られた結果を要約すると次のようである。

1) ゴムリングの内径が大きすぎる場合には、ダイス肩部にゴム圧力が作用しないためこの部分にしわが発生する。また、小さすぎる場合には、ゴムリング内端がポンチに接触してポンチを押し上げるためにポンチ肩破断が生じる。したがって、ゴムリング内径には、適切な大きさの内径が存在する。

2) ゴムリング硬さが小さいほど、ダイス肩部にゴムが充填し、このダイス肩部に作用する摩擦力も絞り変形に寄与するため絞り高さが大きくなる。また、ゴムリング厚さが大きいほど絞り高さが大きくなる。

3) 板厚が薄い場合には、破断強度が小さいためダイス肩部やフランジ部での破断が生じやすい。これを防止するためには、硬いゴムリングを使用するか、または圧縮率を小さくする必要がある。

4) 絞り比は、剛体工具による深絞りに比べて大幅に向上した。極薄板に対して、本深絞り法の有効性が確かめられた。

最後に、本研究の一部は(財)天田金属加工機械技術振

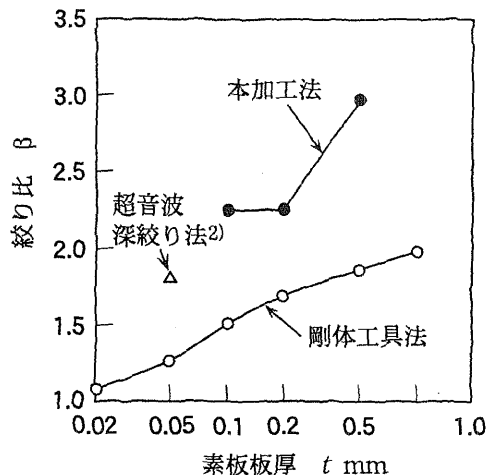


図16 限界絞り比の比較

興財団の助成によってなされたことを付記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 長坂ら, 塑性と加工, 11-108 (1970), 38.
- 2) Y.Okazaki ら, Proc. 3rd ICTP, (1990), 1333.
- 3) 丸茂ら, 第42 塑加連講論, (1991), 763.
- 4) N.A.Maslennikov, Metalworking Prod., 16(1957-8), 1417.
- 5) たとえば, 福田ら, 機論, 40-311(1974), 363.
- 6) 高倉ら, 第43 塑加連講論, (1992), 137.
- 7) K.Yamaguchi ら, J. Mech. Working Technol. 2 (1979), 357.
- 8) 高倉ら, 平5 塑加春講論, (1993), 589.
- 9) 高倉ら, 平8 塑加春講論, (1996), 248.
- 10) 高倉ら, 第47 塑加連講論, (1996), 341.