

極薄板の深絞り法の開発

(ウレタンリングとポンチを併用した深絞り加工)

京都工芸繊維大学 工学部 機械システム工学科

助手 高倉章雄

(平成6年度研究開発助成 AF-94025)

1. 研究の背景と目的

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。剛体工具を用いた深絞り加工では、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の場合にはこの傾向が顕著である¹⁾。極薄板は、破断限界が著しく小さく、またしわが発生しやすいため、特にポンチ肩部の破断と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、ゴムリング上に素板を重ねて圧縮し、ゴムリングが中心方向に移動する際に発生する摩擦力を利用したいわゆるポンチなし深絞り法を提案している。この加工法では、ポンチ肩部の素板に引張力が作用しないため破断の危険はなく、またゴムリングの高圧力により、フランジ部やダイス肩でのしわの発生を防ぐことができるので、極薄板の深絞り加工に有効であると考えられる。しかしながら、この加工法での絞り変形は、主にフランジ部の素板とゴムリング間に作用する摩擦力によって行われるため、加工効率がさほどよくない。また、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ある。

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、絞り変形の促進および形状不良の防止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), 7)}。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

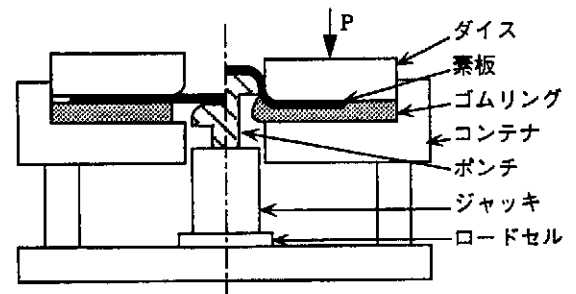
実験には、市販のアルミニウム板(板厚 $t_0=0.1, 0.2, 0.3\text{mm}$)を使用した。なお、これらの素板は、実験前に360℃、90分間焼なました。

実験装置の概略を図1に示す。まず、コンテナ内に

ゴムリング(ウレタンエラストマ)、素板およびダイスを重ねて置く。ダイスを加圧すれば、コンテナによって外周を拘束されているゴムリングは半径方向内側へ変位し、素板とゴムリングの接触面に作用する摩擦力が素板に絞り変形を与える。このとき、ダイスの加圧と同時にポンチを上昇させれば、ポンチの牽引力が絞り変形を促進させる。1回のゴムリングの圧縮における絞り変形量はさほど大きくはないが、ゴムリングの圧縮を繰り返せば、素板は順次絞られていくことになる。

この方法によれば、フランジ部およびダイス肩部には、高いゴム圧力が作用するため、しわの発生を防止することができる。また、ポンチの併用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ことができる。

絞りの初期段階では、図1に示すように、ゴムリン



	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	----	2	----	----
	39.6				
	40.0				
ゴム リング	120	40.4	----	3, 5	90
		45.0		7, 10	95
		50.0			98

図1 実験装置の概略および工具寸法

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

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進入するまでは、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。

また、ポンチに作用させる牽引力が大きすぎると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%の値をポンチ荷重として付加した(表1)。なお、ゴムリング除荷時には、ポンチ荷重を0にした。

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2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。

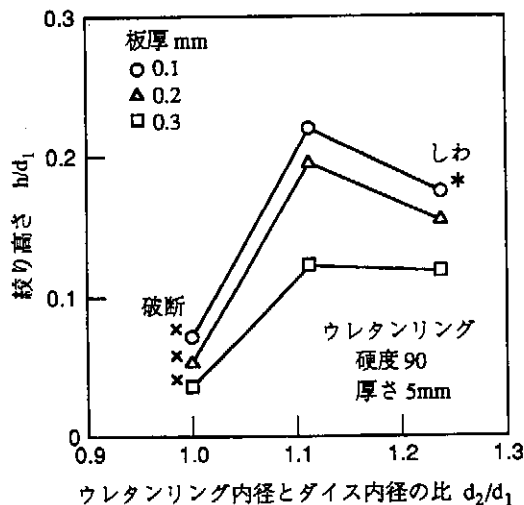


図2 絞り高さに対するゴムリング内径の影響

また、素板の板厚が薄く($t_0=0.1$)、ゴムリング内径が大きい場合には、ダイス肩付近に図3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側壁部に破断が生じた。

3.2 ゴムリング硬度の影響

図4,5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

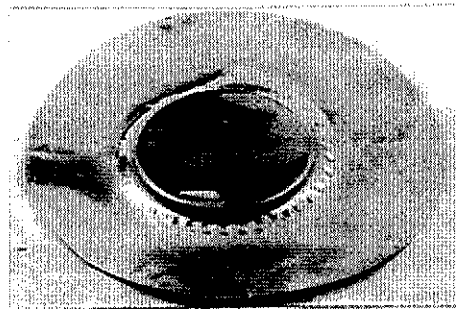


図3 フランジしわの例($t=0.1\text{mm}$)

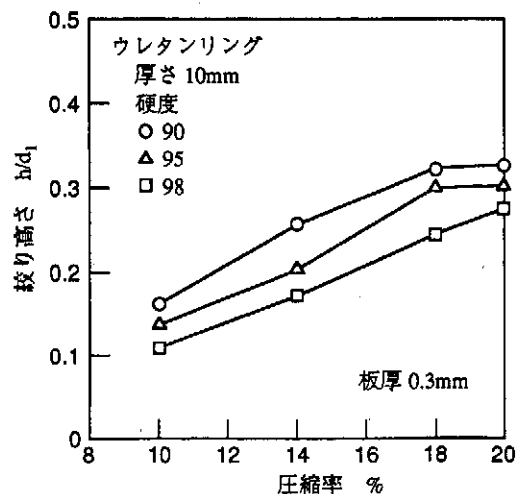


図4 絞り高さに対するゴム硬度の影響

れる。すなわち、図6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7)。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8,9にゴムリングの厚さを変化させた場合の絞り高さと圧縮率の関係を示す。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7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。

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。

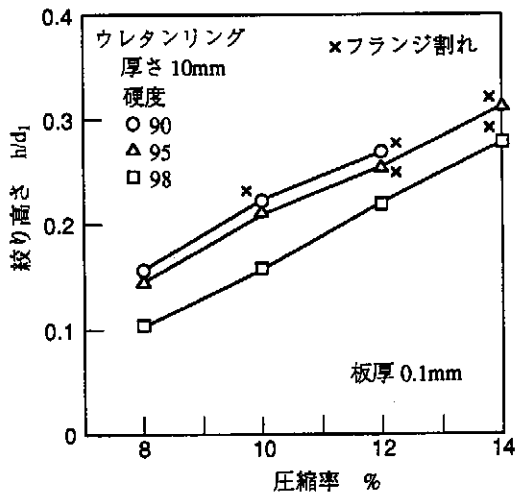


図5 絞り高さに対するゴム硬度の影響

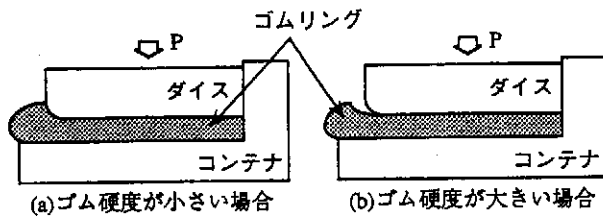


図6 ゴムリングの変形挙動

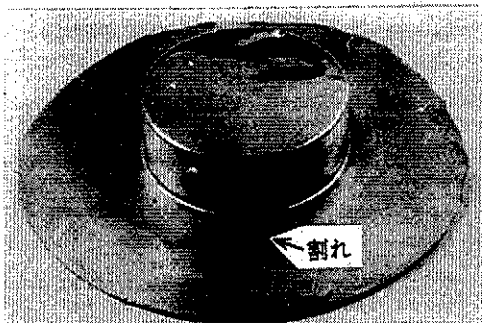


図7 フランジ割れの例 (t=0.1mm)

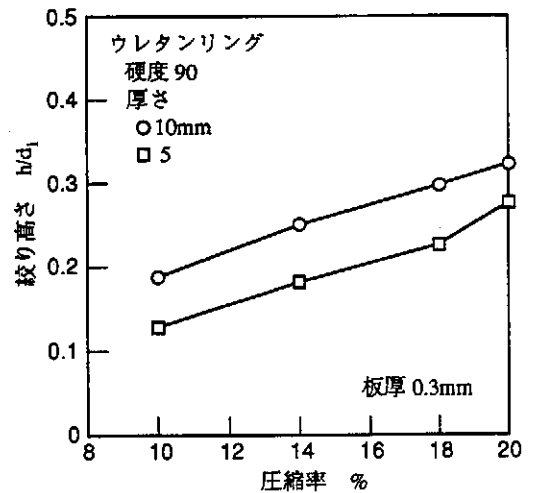


図8 絞り高さに対するゴムリング厚さの影響

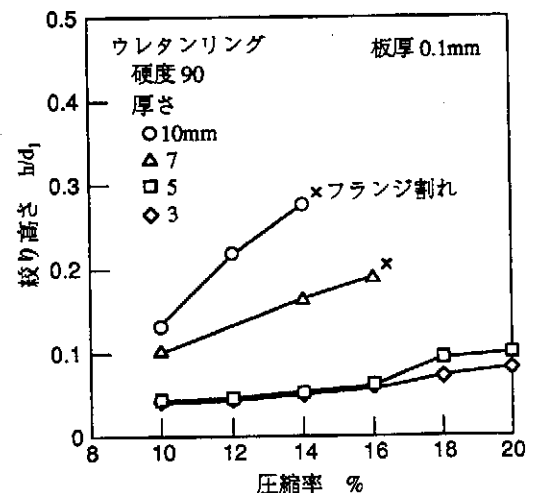


図9 絞り高さに対するゴムリング厚さの影響

図10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11に示すような破断がフランジ部で生じた。

これは、図12に示すように、フランジ部においてゴムリングと素板の半径方向速度分布が異なり、ゴムリングと素板の速度が等しくなる中立点を境にして摩擦の向きが逆になるためである。すなわち、中立点より内側ではゴムリング速度が素板速度より大きい、外側ではこの関係が逆になるため中立点には引張力が作用する。板厚が薄い場合にはこの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することが必要である⁵⁾。

図13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14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。

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

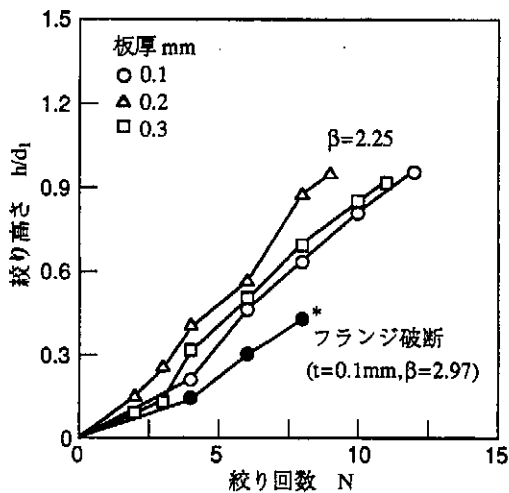


図10 絞り高さ と絞り回数 の関係

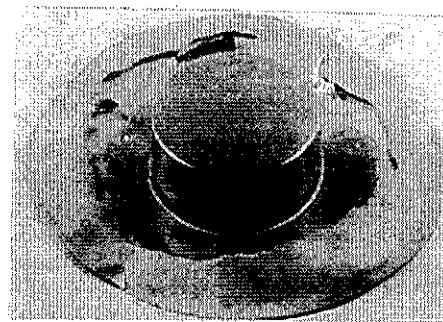


図11 フランジ部破断の例 (t=0.1mm)

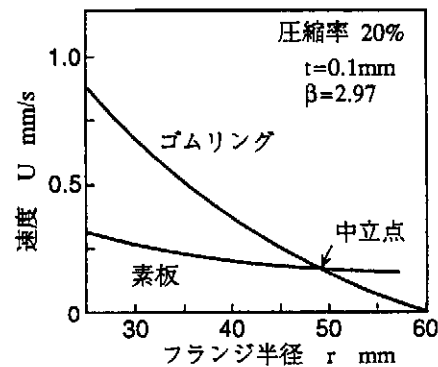


図12 フランジ部におけるゴムリングおよび素板の半径方向速度分布

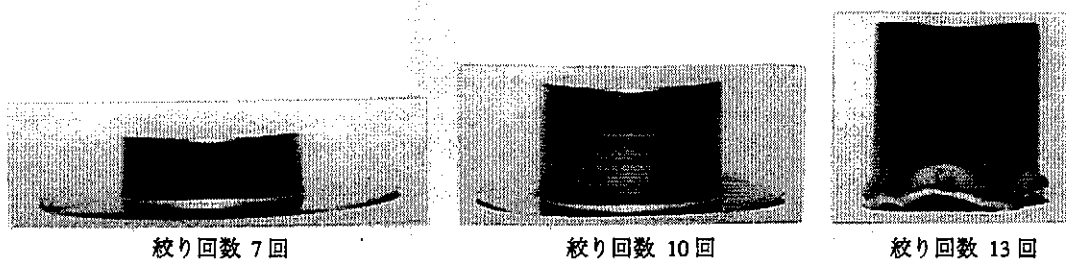


図13 連続深絞り加工の進行状況 (t=0.1mm, beta=2.25)

5. まとめ

ウレタン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側壁破断が生じる。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満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。

終りに、本研究は(財)天田金属加工機械技術振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.

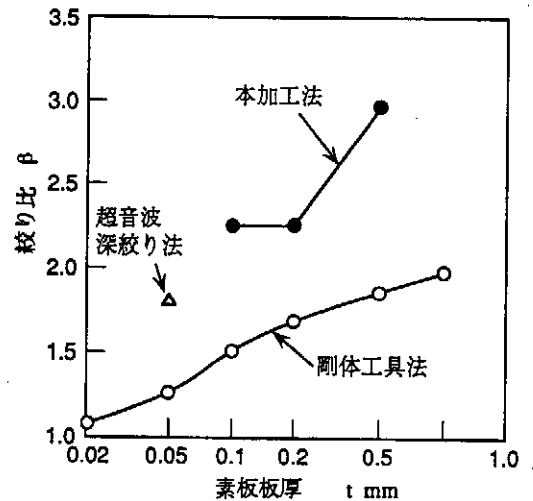


図14 限界絞り比の比較