

# 金属箔の深絞り性向上に関する研究

熊本大学 工学部 知能生産システム工学科

助教授 丸茂康男

(平成 8 年度奨励研究助成 AF-96036)

キーワード：深絞り，ニッケル箔，重ね板

## 1. 研究の目的と背景

電子機器や精密機器などの分野を中心として，部品の小型化および軽量化が進み，極薄板材料や箔材料を用いた極薄肉部品の塑性加工が重要となっており，これまでに，様々な研究がなされている<sup>1)~9)</sup>。

極薄板を深絞り加工する場合，抑制困難なしわの発生と著しい破断限界の低下を同時に克服しなければならない。これらの問題を解決する深絞り法として，工具の超音波振動を利用する方法<sup>(5)</sup>，ゴムリングを用いる方法<sup>(6)</sup>，水中放電成形を利用する方法<sup>(8)</sup>，圧電素子を用いる方法<sup>(9)</sup>などが提案されている。本研究では，ニッケル箔の深絞りをアルミニウム薄板，ナイロン 66 薄板及びポリエチレン薄板を重ね板に用いて行い，深絞り性に及ぼす重ね板の効果を調べた。

## 2. 実験条件および方法

実験に用いた深絞り試験機の概略を図 1 に示す。ポンチ③はロードセル②を介してダイセット①の上部プレートに取り付けられ油圧で上下に移動する。素板はダイス⑧としわ押さえ工具⑨で拘束され，ポンチ③で加工される。しわ押さえ力はしわ押さえユニット⑥で負荷される。しわ押さえ力は Siebel の式<sup>(10)</sup>で計算した値の 2 倍の値を用いた。実験に用いた平頭円筒ポンチの直径は 8mm，ダイスとポンチ間のクリアランスは深絞り素板板厚の 1.2 倍とした。深絞りには板厚 50 $\mu$ m のニッケル箔 (0.2% 耐力：600MPa，全伸び：5%) を用いた。ニッケル箔の引張試験には，幅

10mm，長さ 300mm の短冊状のニッケル箔試験片を用いた。ゲージ長さは 50mm とした。試験片つかみ部の影響を小さくするために，図 2 に示すローラータかみ具を用いた。短冊状試験片はローラーに巻き付けられて引張られる。標点間の伸びはパーソナルコンピュータに接続された CCD カメラで連続計測される。深絞り試験では，ニッケル箔に薄板を重ねて深絞り

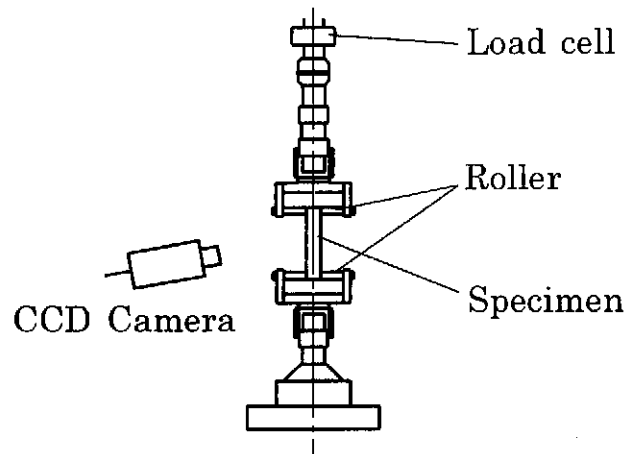


図 2 金属箔の引張り試験

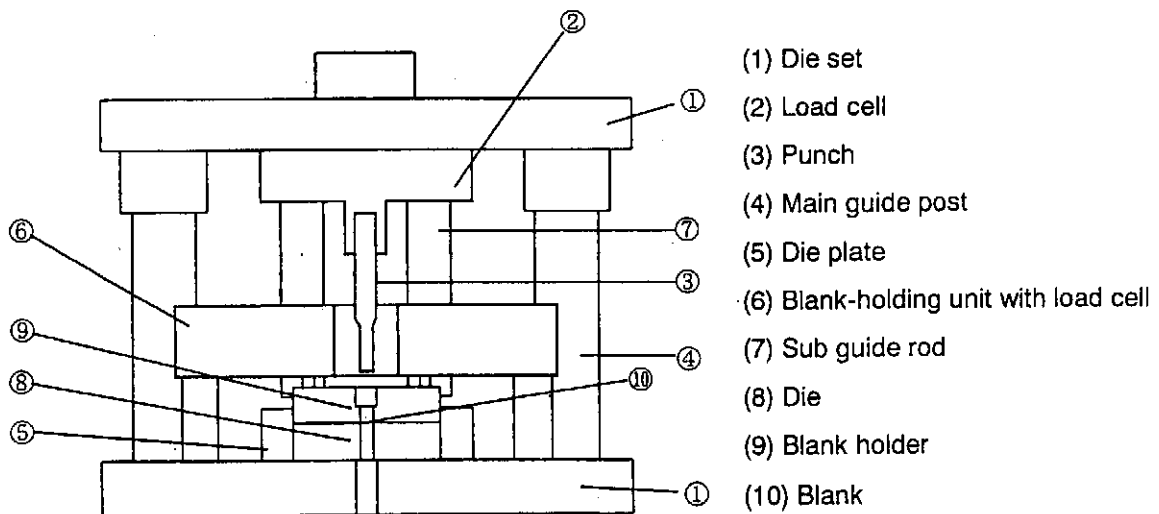


図 1 深絞り試験機主要部

Drawing ratio  $DR = D/d$ , D: Initial blank diameter, d: Apparent punch diameter

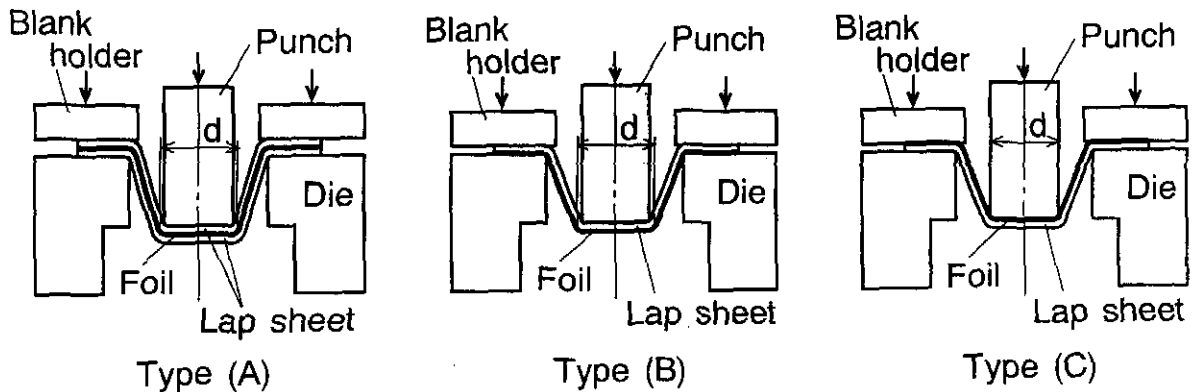


図3 重ね方のタイプ

を行う。なお、チタン箔を用いた実験も一部行う。図3に重ね板の3種類の重ね方を示す。タイプ(A)はニッケル箔を重ね板でサンドイッチにした場合、タイプ(B)ではニッケル箔はダイス側、重ね板がしわ押さえ板側である。タイプ(C)ではニッケル箔はしわ押さえ板側、重ね板がダイス側である。重ね板には変形抵抗が異なる3種類の薄板；純アルミニウム薄板（板厚0.2mm, 0.2%耐力：112MPa, 全伸び：26.8%）、ポリエチレン薄板（板厚：0.3mm, 降伏応力：30.8MPa, 全伸び：448%）、ナイロン66薄板（板厚：0.3mm, 降伏応力：64.1MPa, 全伸び：270%）を用いた。

実験では、鉱油に微細なテフロン粒子を分散配合させた潤滑油とテフロンシートを用いて、素板フランジ部のみを潤滑した。箔素板絞り比  $DR$  を初期素板直径  $D$  と重ね板厚を考慮した等価ポンチ直径  $d$  (図3参照) との比で定義した。タイプ(A)とタイプ(B)では、 $DR = (\text{ニッケル箔素板初期直径}) / (\text{ポンチ直径} + \text{重ね板厚の2倍})$ 、タイプ(C)では、 $DR = (\text{ニッケル箔素板初期直径}) / (\text{ポンチ直径})$  である。

### 3. 実験結果および考察

図4に板厚0.2mmの純アルミニウム薄板を重ね板に用いた場合のニッケル箔の深絞り結果を示す。図中の「Foil」は箔のみの深絞り結果を示す。図中のそれぞれの記号は下記に示すように深絞りの結果を示す。

- ：ニッケル箔カップがしわも破断も無く深絞れた場合。
- △：ニッケル箔カップの壁部にしわが発生した場合。
- ：重ね板は破断せず、ニッケル箔素板のみが破断した場合。
- ：ニッケル箔素板と重ね板ともに破断した場合。

図から明らかなように重ね板を用いない深絞りでは、深絞りカップにしわが発生していることがわかる。タイプ(C)では、ニッケル箔の限界絞り比は箔のみの場合より改善されているが、しわが生じている。このタイプでは、ダイス側のアルミニウム重ね板はニッケル箔カップの破断を防ぐが、しわ抑制には寄与しないことがわかる。タイプ(B)では、ニッケル箔素板がしわ

押さえ板側のアルミニウム重ね板とダイスにより拘束されるので、しわ発生が抑制されている。このタイプでは絞り比1.7以上でニッケル箔素板のみが破断する。タイプ(A)では、破断およびしわ発生が抑制され、限界絞り比もタイプ(B)の場合よりも改善される。図5はナイロン66を重ね板として利用した場合のニッケル箔の深絞り結果である。タイプ(A)およびタイプ(B)においては、アルミニウム重ね板の場合と同様に、ニッケル箔カップのしわ発生が抑制されている。重ね板にナイロン66薄板を用いたタイプ(A)の限界絞り比は、アルミニウム薄板を重ね板に用いた場合よりも低下している。タイプ(B)の限界絞り比は、アルミニウム重ね板の場合とほぼ等しい。

図6は重ね板にポリエチレン薄板を用いた場合の深絞り結果である。すべてのタイプにおいてしわの発生が認められる。

図7にポリエチレン重ね板とアルミニウム重ね板を組合せてニッケル箔の深絞りを行った結果を示す。図中のPEおよびAlはそれぞれポリエチレン薄板、アルミニウム薄板を表す。PE-Foil-Alは、ポリエチレン重ね板がしわ押さえ板側に、アルミニウム重ね板がダイス側にあることを示している。一方、Al-Foil-PEは重ね板の配置がこれとは逆になっている。アルミニウム重ね板がダイス側の場合(PE-Foil-Al)、ニッケル箔カップ壁部にしわの発生が認められる。アルミニウム薄板がしわ押さえ板側にある場合は(Al-Foil-PE)、ニッケル箔カップ壁部にしわが生じていない。アルミニウム重ね板がしわ発生を防いでいる。図8には、ナイロン66重ね板とアルミニウム重ね板を組合せてニッケル箔の深絞りを行った結果を示す。この図においてPAはナイロン66薄板を示す。PA-Foil-AlおよびAl-Foil-PAのいずれの場合においても、しわ発生が抑制されている。重ね板の変形に対する抵抗と重ね方がニッケル箔の深絞りにおけるしわ抑制に影響を与えていることがわかる。

そこで、しわ押さえ板側の重ね板の変形に対する抵抗としわ抑制との関係を調べてみる。重ね板の降伏応力  $Y_L$  と重ね板厚  $t_L$  の積を重ね板の変形に対する抵抗を表す量と考えることができる。  $Y_L \cdot t_L$  としわ発生

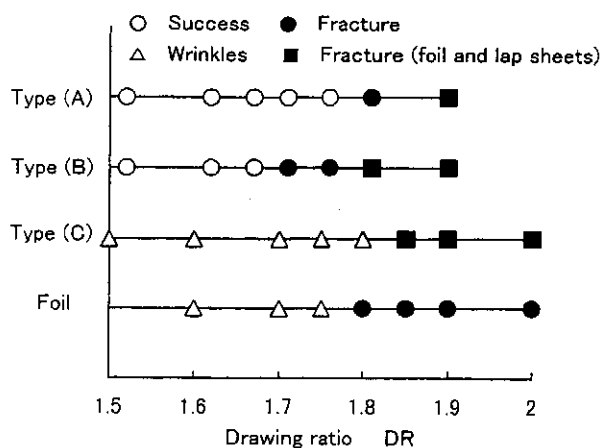


図 4 ニッケル箔の深絞り性に及ぼすアルミニウム重ね板の効果

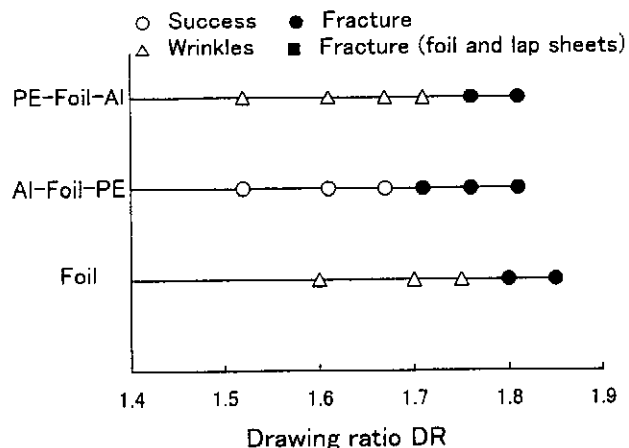


図 7 ニッケル箔の深絞り性に及ぼすポリエチレン重ね板とアルミニウム重ね板の組合せの効果

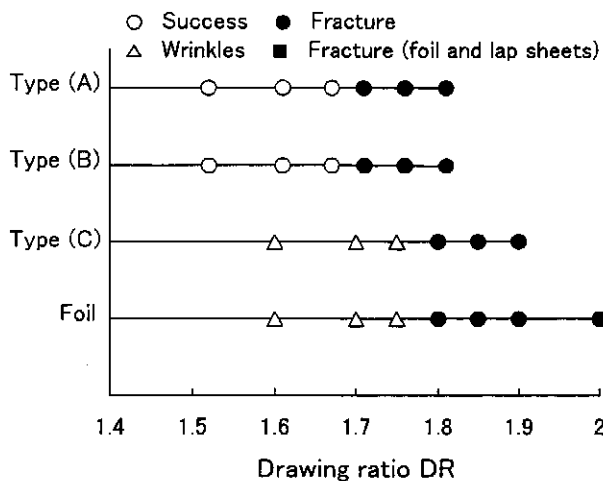


図 5 ニッケル箔の深絞り性に及ぼすナイロン 66 重ね板の効果

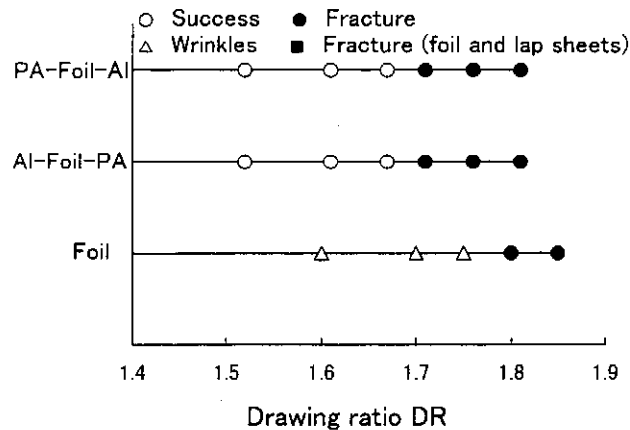


図 8 ニッケル箔の深絞り性に及ぼすナイロン 66 重ね板とアルミニウム重ね板の組合せの効果

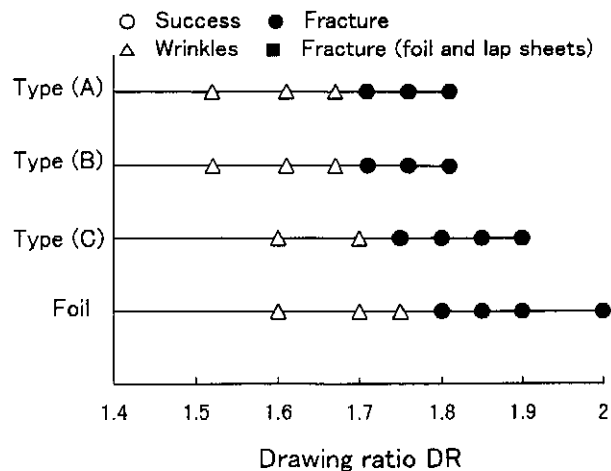


図 6 ニッケル箔の深絞り性に及ぼすポリエチレン重ね板の効果

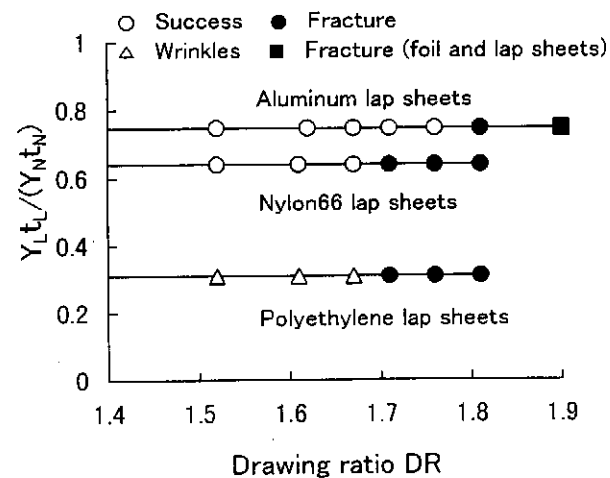


図 9 しわ抑制に及ぼす  $Y_{L}t_{L}/(Y_{N}t_{N})$  の影響 (タイプ(A))

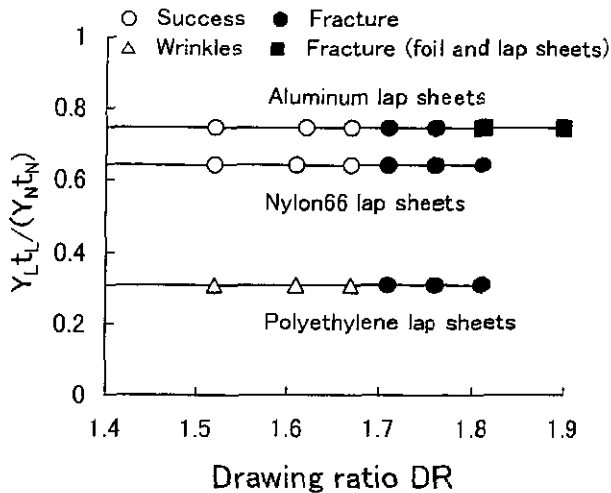


図 10 しわ抑制に及ぼす  $Y_L t_L / (Y_N t_N)$  の影響 (タイプ(B))

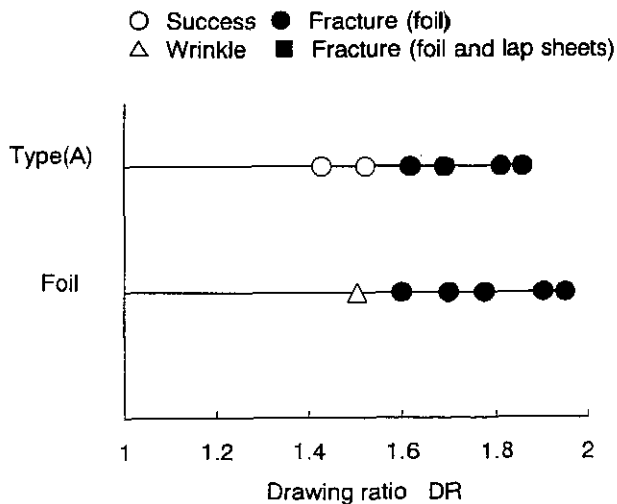


図 11 チタン箔の深絞り性に及ぼすアルミニウム重ね板の効果 (タイプ(A))

状況との関係をタイプ(A)に対して図9に示す。なお、 $Y_L \cdot t_L$  はニッケル箔の変形に対する抵抗  $Y_N \cdot t_N$  ( $Y_N$ : ニッケル箔の0.2%耐力,  $t_N$ : ニッケル箔の板厚) で割って無次元化した。アルミニウム重ね板およびナイロン重ね板の場合のように、しわ押さえ板側の重ね板の変形に対する抵抗が大きいと、しわ抑制効果があることがわかる。ポリエチレン薄板の場合は変形に対する抵抗が小さく、しわ抑制には十分ではない。図10にタイプ(B)の場合の結果を示す。しわ抑制についてみると、図9と同様の結果となっている。 $Y_L \cdot t_L / Y_N \cdot t_N$  がおおむね0.6以上であれば、重ね板にはしわ抑制の効果があるといえる。

チタン箔についても重ね板の効果調べた。図11は板厚  $20 \mu\text{m}$  のチタン箔をアルミニウム重ね板でサンドイッチ(タイプ(A))にした場合と箔単独の場合の深絞り結果である。アルミニウム重ね板を用いる

ことで、しわが抑制されていることがわかる。

#### 4. 結言

アルミニウム薄板、ナイロン66薄板およびポリエチレン薄板を重ね板に用いてニッケル箔の深絞りを行い、ニッケル箔の深絞り性に及ぼす重ね板の効果を調べた。さらに、チタン箔の深絞りへの重ね板の効果も調べた。以下に主な結果を示す。

- (1) アルミニウム薄板およびナイロン66薄板を重ね板に用いることで、ニッケル箔の深絞り性が向上する。タイプ(A)とタイプ(B)でしわの抑制効果が得られた。しわ押さえ板側の重ね板がしわ発生を抑制している。チタン箔の深絞りにおいても、アルミニウム重ね板のしわ抑制効果が認められた。
- (2) しわ押さえ板側の重ね板の変形に対する抵抗(重ね板の降伏応力と板厚との積)がニッケル箔の変形に対する抵抗の概ね60%以上であれば、ニッケル箔カップのしわ発生が抑制される。
- (3) 重ね板を適当に組みあわせることで、ニッケル箔カップの深絞り性が向上する。アルミニウム薄板を用いたタイプ(A)の場合、高い深絞り性が得られた。

#### 参考文献

- (1) 黒崎 靖, 竹内宏之, 村井健一, 電子部品銅はくの降伏および破壊特性, 機論, 58-550, C(1992), 1999-2004.
- (2) 齊藤正美, 微細管状部品の塑性加工, 塑性と加工, 33-379, (1992), 923-929.
- (3) 青木 勇, 極薄板材のマイクロピーンフォーミング, 塑性と加工, 33-379, (1992), 983-986.
- (4) 長坂一徳・梅木好助・杉本正勝, 板厚と限界絞り比との関係, 塑性と加工, 11-108, (1970), 38-42.
- (5) 岡崎康隆・川口憲治, アルミ箔の超音波絞り, プレス技術, 27-8, (1989), 80-85.
- (6) 高倉章雄・エムワルディ・今谷勝次・山口克彦, ウレタンリングとポンチを併用したアルミニウム極薄板の深絞り加工, 第43回塑性加工連合講演会講演論文集, (1992), 137-140.
- (7) 早乙女康典・安田 要・伊東明俊・天田重い, 極薄板のマイクロ深絞り装置の開発と成形加工特性, 平成5年度塑性加工春季講演会講演論文集, (1993), 585-588.
- (8) 横井 真・桐村 剛・長谷部忠司・今井田 豊, 密閉形水中放電成形によるアルミニウム箔の深絞り成形に関する実験的研究, 材料, 44-500, (1995), 602-607.
- (9) 春日幸夫, 圧電素子を用いたアルミニウム薄板の深絞り加工, 精密工学会誌, 62-12, (1996), 1737-1741.
- (10) E. Siebel and H. Beisswanger, Tiefziehen, (1955), 26, Carl Hanser Verlag.