

金属箔を素材とした小型極薄肉部品の深絞り性改善に関する研究

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 15 年度研究開発助成 AF-2003015)

キーワード：深絞り，金属箔，補助薄板

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，多くの研究がなされている．例えば，金属箔の単軸引張り試験については，山口ら⁽¹⁾の試験片形状と寸法の検討，早乙女ら⁽²⁾の金属箔の引張試験機の開発などがあげられる．黒崎ら⁽³⁾は，引張試験と微小径液圧バルジ試験で電子部品用銅箔の降伏および破壊特性を明らかにしている．

深絞り加工においては，板厚の成形性への影響を検討した長坂ら⁽⁴⁾の研究，ダイスの超音波振動によって板厚 $35\mu\text{m}$ のアルミニウム箔を工具中心方向に送り込み，限界絞り比向上としわ抑制について検討した岡崎ら⁽⁵⁾の研究，高倉ら⁽⁶⁾のウレタンリングを用いる深絞り法の開発，早乙女らのマイクロ深絞り加工に関する研究^{(7),(8)}，横井らのアルミニウム箔の水中放電成形に関する研究⁽⁹⁾，春日の圧電素子の微小振動によりしわ押さえ力を制御する深絞り法に関する研究⁽¹⁰⁾など加工法の開発に関する研究が主に報告されている．また，中村ら⁽¹¹⁾は銅板(板厚 0.3mm)およびアルミニウム板(板厚 0.4mm)のコニカルダイを用いた深絞りにおいて，これらの極薄板を深絞り用冷間圧延銅板と重ねあわせて深絞った場合のしわ抑制効果について報告している．

金属箔の深絞りを行う場合，素板の極薄板化に伴って破断限界が著しく低下し，しわも発生しやすくなる．これらの問題を同時に克服することを目標とし，本研究では，従来の加工法において，しわ押さえ力負荷の工夫や補助薄板を利用して，極薄肉部品の成形性を調べる．

2. しわ押さえ力負荷プロセス

極薄板や金属箔を深絞りする場合，素板厚が薄くなるのでしわ（座屈）抑制に必要な荷重（しわ押さえ力）が著しく大きくなる．これにともない必要な加工力も急増し加工品が破断しやすくなる．しわと破断を同時に抑制するためには，しわ押さえ圧力を行程中どのように負荷するかが重要となる．図 1 にステンレス箔（板厚 $30\mu\text{m}$ ），絞り比 $\text{DR}=1.4$ ，摩擦係数 $\mu=0.02$ の場合におけるしわ押さえ圧力許容負荷領域を示す．点線（破断限界線）と実線（しわ発生限界線）の間の領域が破断としわ発生を防止できる許容負荷領域となる．破断及びしわを防ぐためには，しわ押さえ圧力負荷経路が許容領域を通過するように負荷する必要があ

る．板厚が薄くなるほど許容負荷領域は狭まる．板厚が $15\mu\text{m}$ と薄くなると，図 2 に示すようにしわ押さえ圧力許容負荷領域が狭くなる．

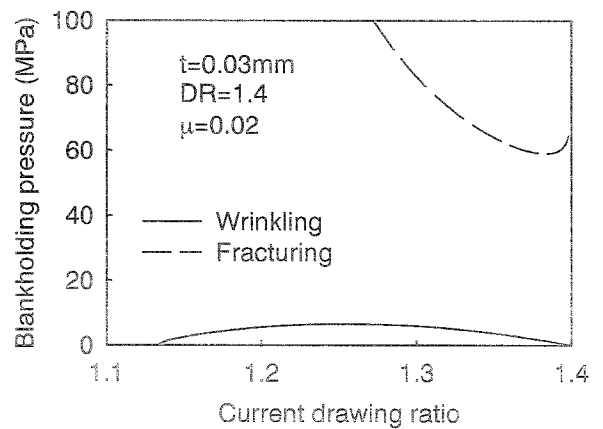


図 1 しわ押さえ圧力の許容負荷領域

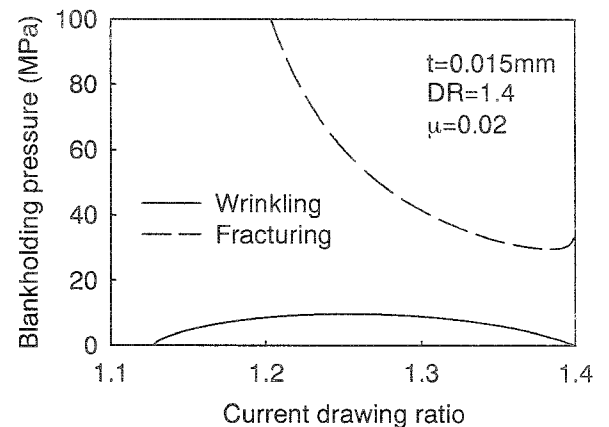


図 2 しわ押さえ圧力の許容負荷領域

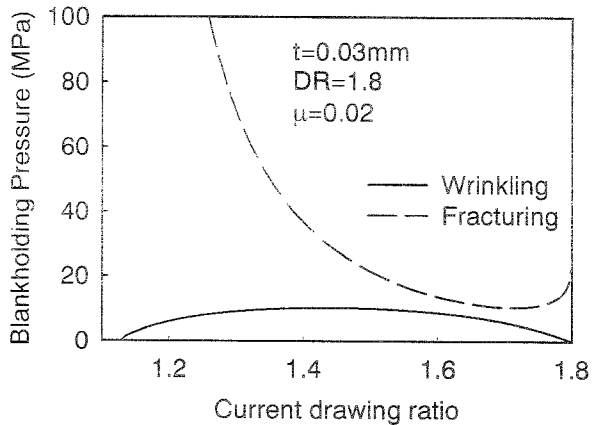


図3 しわ押さえ圧力の許容負荷領域

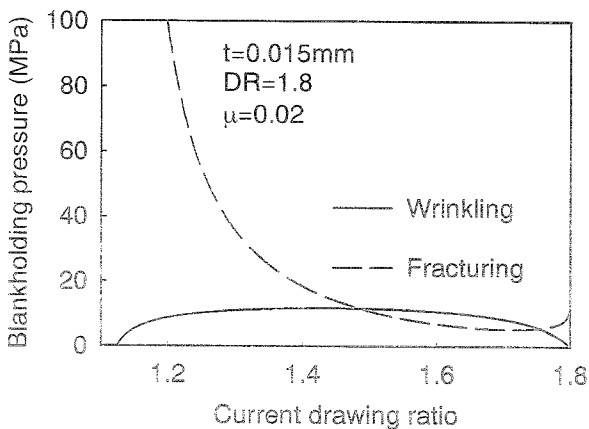


図4 しわ押さえ圧力の許容負荷領域

図3に板厚 $t=30\mu\text{m}$ 、絞り比 $DR=1.8$ 、摩擦係数 $\mu=0.02$ の場合のしわ押さえ圧力許容負荷領域を示す。図1及び図2と比較すると、許容負荷領域がさらに狭まっていることがわかる。深絞り比が大きくなり、板厚が薄くなると許容負荷領域が狭まる。図4は板厚 $t=15\mu\text{m}$ 、絞り比 $DR=1.8$ 、摩擦係数 $\mu=0.02$ の場合で、破断限界線としわ発生限界線が重なり金属箔単独では成形が不可能となる。

3. 樹脂補助薄板の効果

金属箔の深絞りにおいては、上述のような極薄板化に伴う成形欠陥の発生に加え、しわ押さえ工具とダイスとの周方向の不均一接触がしわ抑制には大きな障害になると考えられる。したがって、工具の仕上げ精度、組立て精度やダイセットの動的精度の向上が重要となる。しかし、たとえこれらの問題があったとしても、樹脂補助薄板を利用して金属箔を深絞ることで、これらの問題を容易に克服することができる。以下に、板厚 $20\mu\text{m}$ のニッケル箔を樹脂薄板を用いて深絞り加工した結果を示す。

3. 1 実験条件および方法

深絞り試験では、ニッケル箔に薄板を重ねて深絞りを行う。図5に樹脂補助薄板、金属箔素板および深絞り工具との位置関係を示す。Mode(A)はニッケル箔を樹脂補助薄板で挟んだ場合、Mode(B)ではニッケル箔はダイス側、樹脂補助薄板がしわ押さえ板側である。Mode(C)ではニッケル箔はしわ押さえ板側、樹脂補助薄板がダイス側である。樹脂補助薄板には変形抵抗が異なる2種類の薄板；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を用いて、素板フランジ部のみを潤滑した。ニッケル箔の素板直径 D を重ね板厚を考慮した等価ポンチ直径 d （ポンチ直径+重ね板厚の2倍）で割って無次元化し絞り比 DR で表す。

3. 2 金属箔の成形性

図6にMode(A)の場合のニッケル箔の深絞りの結果を示す。図中のNylon66-Foil-Nylon66は、金属箔をNylon66薄板で挟んで深絞り試験したことを示す。また、PE-Foil-PEは金属箔をポリエチレン薄板で挟んだことを示す。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。

- ：箔深絞り容器がしわも破断も無く深絞れた場合。
- △：箔深絞り容器の壁部にしわが発生した場合。
- ：樹脂補助薄板は破断せず、箔素板のみが破断した場合。

図から明らかなように補助薄板を用いないニッケル箔の深絞りでは、深絞り容器にしわが発生した。ポリエチレンを補助薄板としたときは、しわ抑制が見られないが、Nylon66を補助薄板としたときは、しわ抑制効果が見られた。図7にMode(B)の結果を示す。Mode(B)においても、ポリエチレン補助薄板にはしわ抑制効果が見られないが、Nylon66補助薄板にはしわ抑制効果が見られる。一方、図8に示すようにMode(C)では、いずれの樹脂補助薄板においもしわ抑制効果は見られない。これらの結果から、しわ押さえ板側のNylon66補助薄板は、しわ抑制効果を示すが、ポリエチレン補助薄板は強度が不十分のためしわ抑制効果があらわれないことがわかる。

本研究では、樹脂補助薄板とテフロン製のダイスとしわ押さえ板を利用した金属箔の深絞りも行った。一例として、図9及び図10に純銅箔（板厚 $40\mu\text{m}$ 及び $50\mu\text{m}$ ）の場合を示す。ここでは、ポンチとダイスの工具クリアランスを金属箔と補助薄板の板厚の合計より小さくしMode(B)で行った。Nylon66を補助薄板に利用したとき、しわ抑制効果が見られる。図11に、しわ押さえ力の影響を示す。しわ押さえ力が破断限界に影響を与えていることがわかる。今後、工具クリアランス、素板板厚、樹脂補助薄板及びしわ押さえ力としわ抑制効果の関連をさらに詳しく調べる予定である。

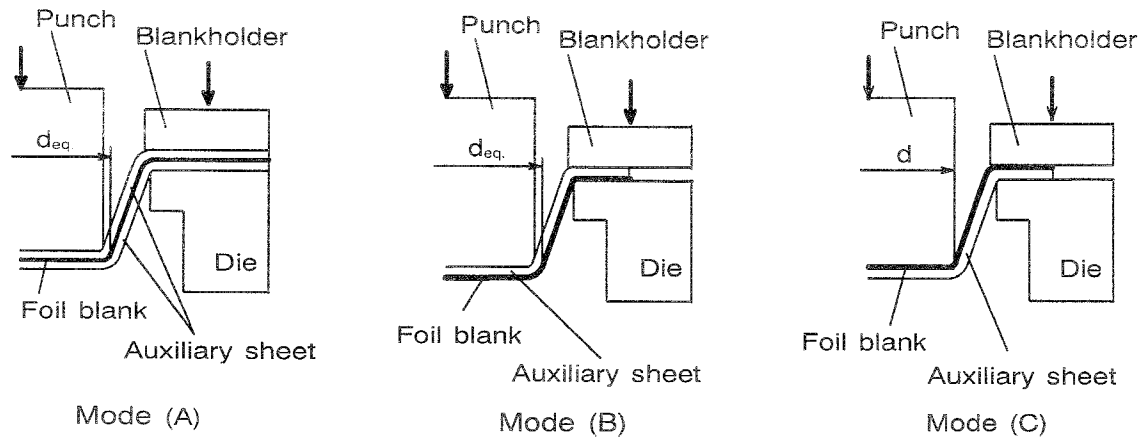


図5 深絞りにおける金属箔素板、樹脂補助薄板及び深絞り工具の位置関係

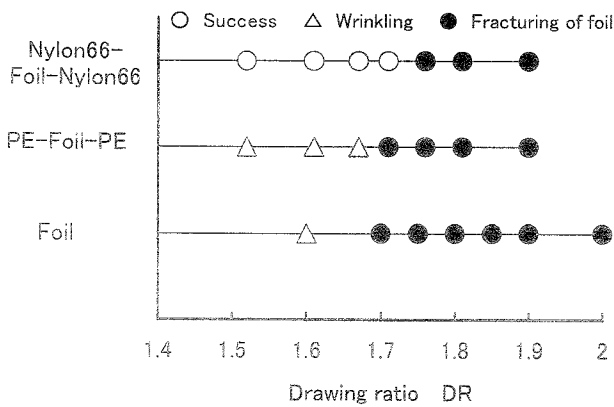


図6 ナイロン66及びポリエチレン補助薄板の箔深絞りにおけるしわ及び破断に及ぼす影響 (Mode(A), 箔板厚: 0.02mm)

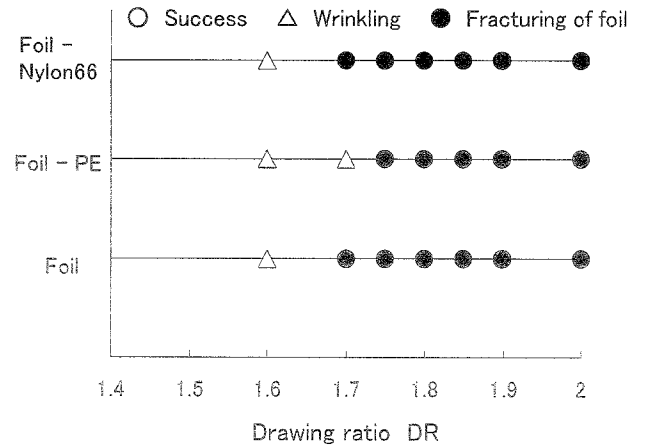


図8 ナイロン66及びポリエチレン補助薄板の箔深絞りにおけるしわ及び破断に及ぼす影響 (Mode(C), 箔板厚: 0.02mm)

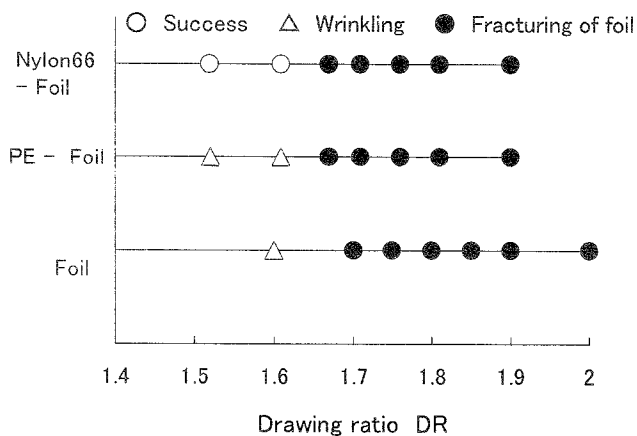


図7 ナイロン66及びポリエチレン補助薄板の箔深絞りにおけるしわ及び破断に及ぼす影響 (Mode(B), 箔板厚: 0.02mm)

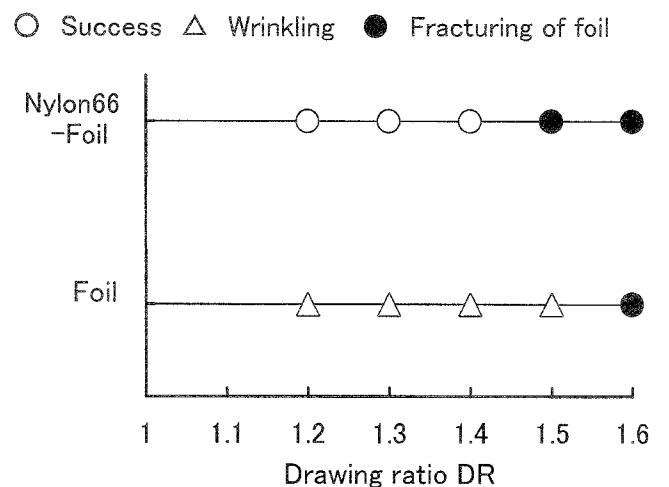


図9 テフロン製ダイス、ナイロン66補助薄板、ポリエチレン補助薄板の箔深絞りにおけるしわ及び破断に及ぼす影響 (Mode(B), 箔板厚: 0.04mm)

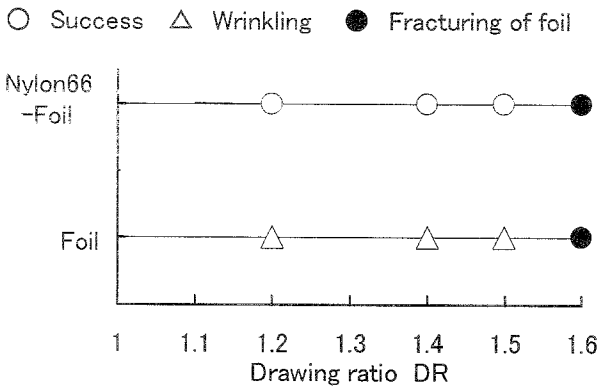


図10 テフロン製ダイス、ナイロン66補助薄板、ポリエチレン補助薄板の箔深絞りにおけるしわ及び破断に及ぼす影響 (Mode(B), 箔板厚: 0.05mm)

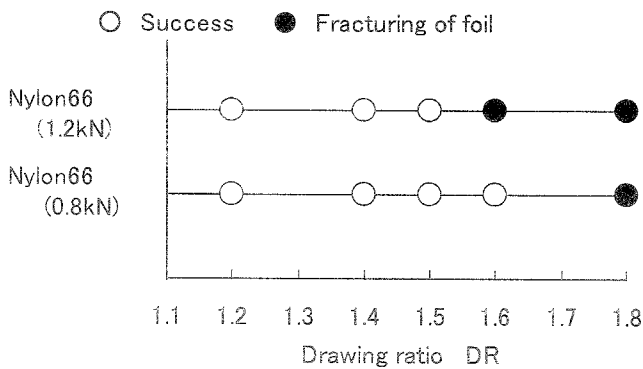


図11 しわ押さえ力が破断に及ぼす影響 (テフロン製ダイス及びナイロン66補助薄板を用いた場合, Mode(B), 箔板厚: 0.05mm)

4. 結言

- (1) 素板板厚が減少するにつれ、しわ押さえ圧力許容負荷領域は狭まる。しわ押さえ圧力の負荷経路が加工行程中、許容負荷領域内を通過する工夫が必要となる。
- (2) 樹脂補助薄板を用いた深絞りは板厚 20 μ m のニッケル箔にも効果が見られた。
- (3) 樹脂補助薄板の変形抵抗を適当に選べば、ニッケル箔の成形限界をさらに向上させることができる。
- (4) クリアランスが金属箔素板厚と樹脂補助薄板厚の合計より小さい、テフロン製のダイスを利用した場合、壁部の拘束が強まり純銅箔深絞りにおいてはしわ抑制効果が見られた。今後、工具クリアランス、素板板厚及び樹脂補助薄板としわ抑制効果の関連をさらに詳しく調べる予定である。

謝辞

本研究の実施に対し、研究助成を賜りました財団法人天田金属加工機械技術振興財団に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 山口・高倉・吹上・福田, アルミニウム極薄板の引張試験片の形状と寸法, 塑性と加工, 17-191,(1976), 995-1002.
- (2) 早乙女, 大崎, 伊藤, 天田, 非接触ひずみ計測による極薄板の引張試験システムの開発, 第42回塑性加工連合講演会講演論文集,(1991), 227-230.
- (3) 黒崎, 竹内, 村井, 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.
- (4) 長坂・梅木・杉本, 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・川口, アルミ箔の超音波絞り, プレス技術, 27-8, (1989), 80-85.
- (6) 高倉・エムワルディ・今谷・山口, 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・松井・加賀・松崎, 極薄板のマイクロ深絞り加工の基礎的研究, 昭和63年度塑性加工春季講演会講演論文集, (1988), 87-90.
- (8) 早乙女・安田・伊東・天田, 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.
- (9) 横井・桐村・長谷部・今井田, 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.
- (10) 春日, 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.
- (11) 中村, 福井, コニカルダイを用いた重ね絞りについて, 第23回塑性加工連合講演会講演論文集, (1972), 145-148.