



Y Harada

# 深絞り加工による異種金属積層板からのクラッド容器成形法の開発

原田 泰典\*

## 1. はじめに

深絞り加工はパンチ工具によって素材である金属板をダイス工具に絞っていく加工であるため、加工の進行につれてダイス工具に絞られた素材の板厚が増加することになる。もし、異種金属材料を重ね合わせた状態で深絞り加工を行うと、異種金属同士の接触面では活性度の高い新生面が露呈する。そこで、素材の板厚増加が生じやすい加工を積極的に行えば、新生面同士が密着し、かつ材質の違いによるすべりも生じやすい。異種金属材料間で凝着が活発に進行する場合、絞り加工と同時に異種金属材料の接合が可能となる。従来の研究においても積層した金属板の絞り成形<sup>1)</sup> やしごき加工による積層した金属板の絞り成形<sup>2)</sup> が提案されている。本研究における基礎実験においても各種金属の積層板における深絞り加工に対して、良好な成形性が得られることを報告している<sup>3)</sup>。

本研究では、製品までの製造工程を簡略化するとともに、加工可能な材質に関する制約を緩和するため、異種金属材料の接合と深絞り加工を同時進行させることによって、各種金属薄板を用いた細径クラッド容器の作製を試みた。おもに、多段深絞り加工において工具との焼付きが生じやすい純チタンと純アルミニウムを用いたクラッド容器の作製を試みた。

## 2. 金属積層板からのクラッド化の方法

図1に、金属積層板のクラッド化深絞り加工法の概略を示す。まず、材質の異なるブランクAとブランクBを重ねてダイスに載せた後、しわ押さえによって積層したブランクを固定する。つぎに、パンチで積層したブランクの深絞り加工を行う。変形中のブランクは、ダイス肩部において、ブランク同士の接触面での凝着が生じて接合する。これは、各ブランクの変形抵抗差によるすべりやブランクの肉厚増加に伴うしごきなどが生じるためである。パンチとダイスのクリアランスは積層板の厚さとほぼ同じ0.5 mmとし、市販の油性潤滑剤を用いた。また、多段深絞り加工は、段数の変化とともにパンチとダイスを交換することによって、絞り比を1.2～1.6の範囲で行った。

## 3. 実験材料と深絞り加工装置

ブランク材料として用いた金属薄板 ( $t=0.1\sim 0.3$  mm,  $d=32$  mm) は、市販の極低炭素鋼、純チタン JIS 1種、ステンレス鋼 SUS304、純アルミニウム、純ニッケル及び純銅の6種類である。これらの金属薄板を2種類以上組み合わせた積層板を深絞り加工に用いた。ただし、積層した薄板の合計の厚みは常に0.5 mmと一定となるようにした。また、積層薄板同士の接合面となる接触面はエメリー紙 #80 相当によ

る研磨とアセトン脱脂による処理を行った。

深絞り加工は、実験用油圧プレス機 (2.5t 容量) を用いて行った。ダイスの中心に固定したブランクをしわ発生防止用治具で固定し、パンチの押込みによって行った。パンチスピードは、40 mm/s の一定速度である。絞り段数は6回であり、絞り比は1段で1.6、2～6段で1.2～1.3である。1段は平ダイス、2～6段は、ダイス半角  $60^\circ$  のテーパダイスを用いた。ダイスとパンチのクリアランスは、0.5 mm とした。ダイスは冷間工具鋼 SKD11 であり、パンチは冷間工具鋼 SKD61 である。ただし、1段において、ダイスは超硬合金を、パンチは SKD11 を用いた。潤滑剤は硫黄系液体潤滑剤と二硫化モリブデン系粉末潤滑剤である。表1に加工条件を示す。

## 4. チタンクラッド容器作製における工具との焼付き防止方法

純チタンは非常に活性な金属であるため、他の金属と親和性が高い。そのゆえ、純チタンの深絞り加工においては工具との焼付きが激しいことが問題となっている。これまでの純チタンの深絞り加工に関する研究で、焼付き防止方法が行われている<sup>4-7)</sup>。その一つに、純チタン板に皮膜処理を施す方法が提案されており、著者らの研究グループも工具との焼付き防止が可能であることを報告している<sup>8-13)</sup>。チタンは、大気雰囲気中で加熱すると厚い酸化皮膜を生成する性質を持っている。この性質に着目して、チタン薄板に対しては、皮膜処理の中で比較的簡便な方法である大気酸化皮膜処理を用いた<sup>14)</sup>。酸化皮膜は加熱炉中で大気酸化を行い、加熱温度と時間を変化させて皮膜厚さを制御した。大気酸化皮膜処理工程は、①ブランク研磨処理、②脱脂洗浄処理、③酸化皮膜処理、④深絞り加工の順である。①ではブランクに対して同心円状を描くようにブランク中心から外側へエ

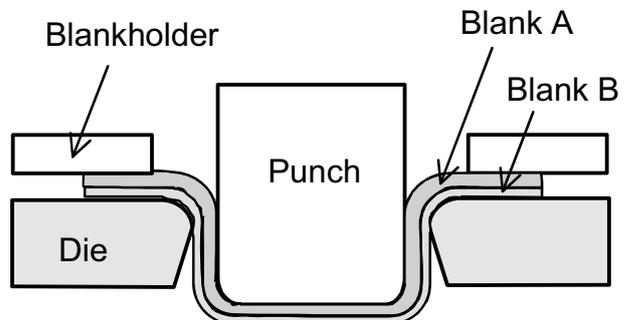


図1 金属積層板のクラッド化深絞り加工法

表1 多段深絞り加工条件

段数	絞り比	ダイス	パンチ	潤滑剤
1	1.6	超硬合金	SKD11	硫黄系油性液, 二硫化モリブデン粉
2	1.3	SKD11	SKD61	
3-6	1.2			

メリー紙による研磨 (#800) を行った。これは表面を清浄化することにより、酸化皮膜をより強固に形成するためである。②ではアセトンによる洗浄を行い、③では管状電気炉を用いて所定の温度と時間で大気酸化皮膜処理を行った。加熱条件は 600 °C -3.6 ks で、平均皮膜厚さは 0.125  $\mu$ m である。なお、皮膜処理後の材料表面における酸化皮膜厚さは、オージェ電子分光装置 (日本電子社製 JUMP-7800) を用い、試料表面に電子線を照射したときに発生するオージェ電子を利用して、試料表面の元素分析を行った。

## 5. 金属積層板の深絞り加工性

### 5.1 チタン内側の二層板

図2に、Ti 板が内側となるように Fe, Ni 及び Cu 板をそれぞれ組み合わせた積層板を4段まで絞り加工した二層クラッド容器の外観を示す。容器の外及び内表面において割れやしわなどの欠陥の発生は見られず、成形性は良好であった。また、容器開口部を見ると、容器外側の金属板は内側の金属板に比べて変形が大きい。これは、容器内側の Ti 板の変形抵抗が高いため、ダイス肩部でのしごきに伴い生じたものと考えられる。

### 5.2 アルミニウム内側の二層板

図3に、Al 板が内側となるように Fe, Ti, Cu 板をそれぞれ組み合わせた積層板を3段あるいは4段まで絞り加工した二層クラッド容器の外観を示す。容器表面において割れなどの欠陥もなく、成形性は良好であった。また、容器開口部では、容器内側の Al 板の変形が大きいことが分かる。

### 5.3 異種金属内側の二層板

Al 板や Ti 板以外の金属板が内側になる場合の成形性を調べた。図4に、Fe, Al, Ni, Cu, Ti 板において組み合わせた二層積層板に対して6段絞りしたクラッド容器の外観を示す。容器の外及び内表面において、しわなどの欠陥の発生は見られず、成形性は良好であった。

### 5.4 チタン外側の二層板

深絞り容器の外表面がチタン材料である場合、耐食性の富んだ製品として利用できる。しかしながら、前述したように化学的に活性な金属であるチタン材料は、他の金属材料との親和性が高く、深絞り加工における工具との焼付きが激しいことが知られている。そこで、工具との焼付きを防ぐため、ブランクの表面に酸化皮膜処理を施した。

図5に、Ti 板が外側となるように組み合わせた二層積層板を4~6段まで絞り加工した二層クラッド容器を示す。ダイスと接触する Ti 板表面は大気酸化皮膜処理が施してあるため、工具との焼付きの発生はまったく見られなかった。6段目までの多段深絞りにおいて、各組み合わせた二層積層板において、良好なクラッド容器の成形が見られた。

### 5.5 三層積層板

前節までの二層積層板の深絞り加工において、組み合わせる材質にほとんど制限がなく良好にクラッド容器の成形が可能であることが分かった。そこで、三層積層板の深絞りを試みることにしたが、この場合、板厚も考慮すると数多くの組み合わせ方がある。そのため、現在、すべての組み合わせにおける深絞りは出来ていないが、いくつかの三層積層板の多段深絞り加工を行った結果、良好なクラッド容器の成型

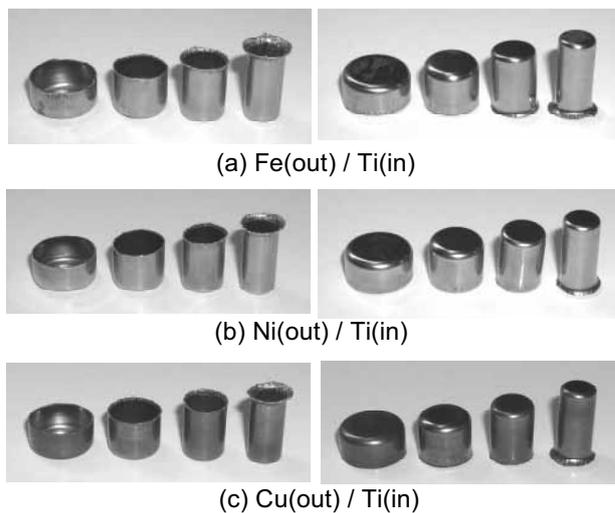


図2 Ti 板内側の二層クラッド容器

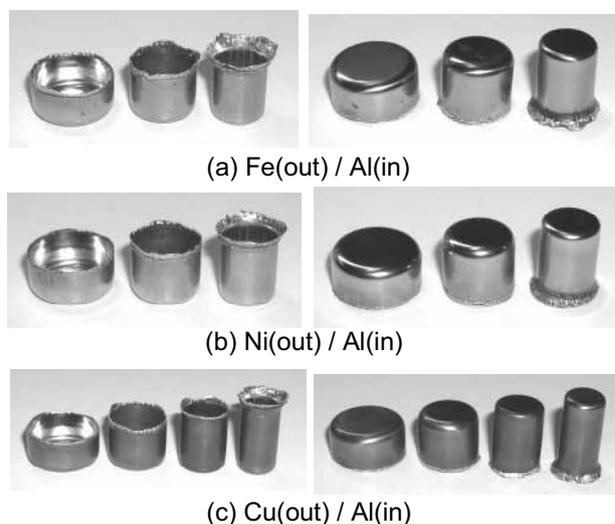


図3 Al 板内側の二層クラッド容器

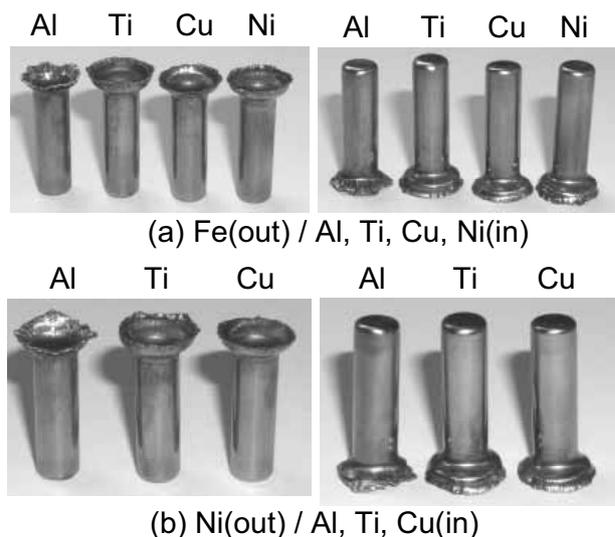


図4 6段絞りした二層クラッド容器

が可能であることが分かった。図6に、Fe 板が外側で組み合わせた Fe/Al/Cu 三層積層板において4段絞り加工した三層クラッド容器の断面を示す。Fe, Al 及び Cu 板の初期板厚

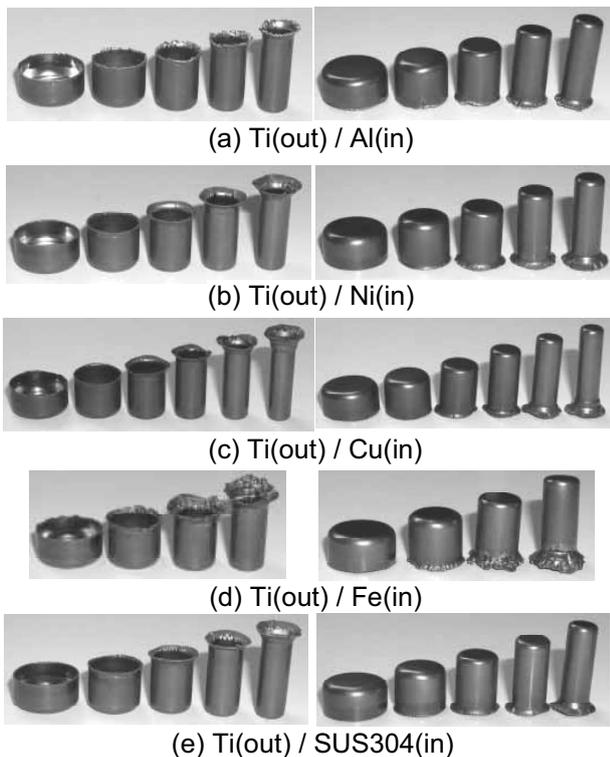


図5 Ti板外側の二層クラッド容器

は、0.2、0.2及び0.1mmである。断面の観察から破断などの欠陥はなく、また積層板間の界面において密着しているのが見られる。

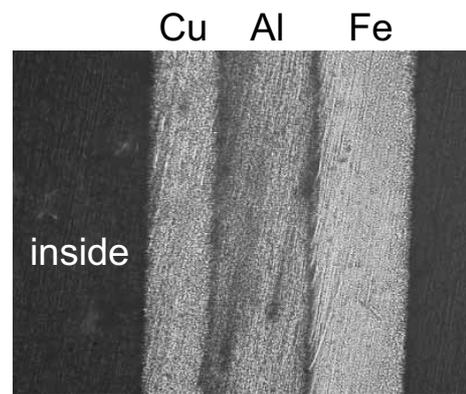
#### 6. 積層板の接合性改善

各種金属薄板の組み合わせで深絞り加工したクラッド容器において、アルミニウム板を用いたクラッド容器ではアルミニウム板の変形が大きいことが得られた(図3)。深絞り加工中における接合面での相対すべりが発生していると考えられ、接合面におけるすべりは接合強度を高めるのに有効であると考えられる。アルミニウム板を軟鋼板でサンドイッチした状態のまま4段まで深絞り加工を行った結果、アルミニウム板との二層クラッド容器で見られたような容器開口部でのアルミニウム板の大きな変形(突出部)が見られた。三層クラッドにおいても接合部での相対すべりが発生していると考えられる。したがって、純アルミニウムをインサート材として用いることは接合強度を高めるのに有効であることが分かる。

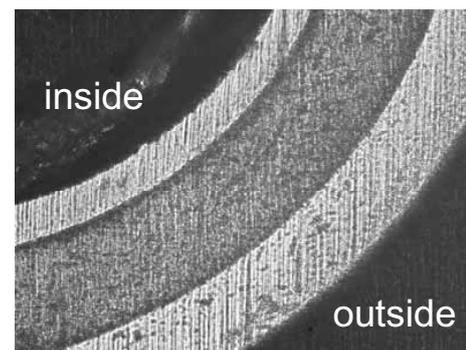
図7に、アルミニウム板を軟鋼板でサンドイッチした状態のまま4段まで深絞り加工した三層クラッド容器 Fe/Al/Fe の断面を示す。断面は容器の側壁中央部であり、Fe(容器内側)、Al及びFe板(容器外側)の初期板厚は、0.1、0.2及び0.2mmである。容器断面の観察から、積層板間の界面では空隙はなく密着しているのが見られた。

#### 7. おわりに

異種金属材料の接合と深絞り加工を同時進行させることによって、各種金属薄板を用いた細径クラッド容器の作製を試みた。深絞り加工において、ダイス入口付近では積層板の板厚増加が生じやすいので、新生面同士が密着かつ材質の違いによるすべり作用も生じやすい。各種異種金属板を



(a) Sidewall



(b) Bottom-corner

図6 Fe(out)/Al/Cu(in)三層クラッド容器の断面  
(観察部：絞り方向と平行)

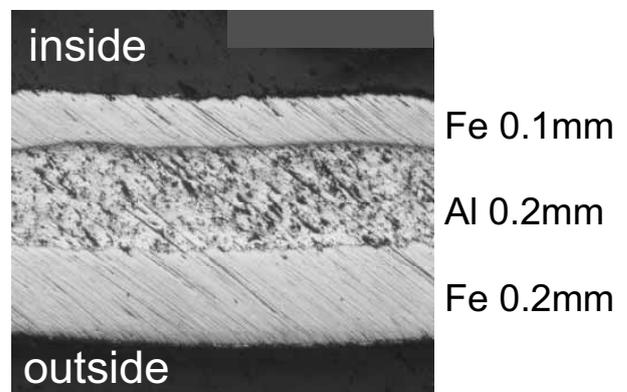


図7 アルミニウム薄板(インサート材)を軟鋼薄板でサンドイッチした三層クラッド容器の断面  
(観察部：側壁中央部、絞り方向に直角)

用い、二層以上に重ね合わせた状態で6段までの多段深絞り加工を行った結果、絞り加工と同時に異種金属同士の接合が可能であることが分かった。とくに、工具との焼付きが激しい純チタンの深絞り成形においても、酸化皮膜処理による前処理を行うことによって、多段による細径チタンクラッド容器の成形が可能であることが分かった。

#### 謝辞

本研究の一部は、財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究助成によって行われました。ここに感謝の意を表し、お礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 谷口彰・河村善考・堀井貞夫：特開昭 63-194824 号公報，(1988).
- 2) 渡部豊臣・坂井修，特開平 6-297050 号公報，(1994).
- 3) 原田泰典，日本金属学会秋期大会概要集，(2002)，504.
- 4) 村田裕滋：プレス技術，42-2(2004)，22-29.
- 5) 深井英明：同上，42-2(2004)，35-38.
- 6) 木村茂樹：同上，42-2(2004)，69-72.
- 7) 片岡征二・木原諄二・相澤瀧彦：塑性と加工，34-385(1993)，210-215.
- 8) 村尾卓児・森謙一郎・原田泰典・加藤幸司・大久保不二男：同上，43-496(2002)，427-431.
- 9) 村尾卓児・森謙一郎・原田泰典・加藤幸司・大久保不二男：同上，43-495(2002)，336-340.
- 10) 村尾卓児・森謙一郎・原田泰典・大久保不二男：同上，44-504(2003)，55-59.
- 11) 原田泰典・森謙一郎・村尾卓児・今井雅浩・古川陽介・大久保不二男：同上，45-520(2004)，326-330.
- 12) 原田泰典・漆畑直人・村尾卓児・森謙一郎：同上，46-531(2005)，337-341.
- 13) 原田泰典・古川陽介・村尾卓児・森謙一郎・土田紀之・深浦健三：同上，47-542(2006)，850-854.
- 14) 原田泰典・森謙一郎・加藤幸司・村尾卓児・大久保不二男：日本塑性加工学会春季講演論文集，(2001)，61-62.