

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：16102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560134

研究課題名(和文) 展開ブランクを用いた気密性を有する深い角筒容器の成形

研究課題名(英文) Deep drawing of square cup with airtight using developed blank

研究代表者

畑中 伸夫 (HATANAKA, Nobuo)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授

研究者番号：70413846

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、展開ブランクの深絞り加工において、絞り加工と同時に隣接するフランジを摩擦攪拌接合する方法について検討した。展開ブランクを用いた深絞り加工において、周辺部からダイス穴向きに移動してきた隣接するフランジ部の材料は、ダイスのフランジ面上で接触を開始し、その後絞り変形を受けながらダイス穴内へ流入する。本研究では、隣接するフランジ部が接触を開始する点近傍に高速回転するツールを押し込み、接触部を摩擦攪拌接合することにより、一工程で気密性を有する深い容器を成形することを試みた。

研究成果の概要(英文)：An innovative method of producing very deep cups by employing a developed blank was previously proposed. In this method, the drawing resistance of the blank is reduced drastically, and so deep cups can be obtained at the first drawing. However, the drawn cup has seams in the side wall. To make an airtight cup, the seams must be joined. In this study, a new method of forming deep cups by using the developed blank was investigated. The developed blank is drawn with a punch, and friction stir welding (FSW) is conducted simultaneously to join the seams formed in the side wall. A rotation probe is put on the flange contact point and friction heat is generated, thus joining the seam parts. The experimental results show that the production of a very deep and airtight cup in a single process can be successfully accomplished with this proposed method.

研究分野：塑性加工

キーワード：展開ブランク 絞り加工 摩擦攪拌接合

1. 研究開始当初の背景

一枚の素板から容器状の製品を成形する方法に、深絞り加工がある。しかし、通常の深絞り加工では、フランジ部に生じるしわやパンチ肩部における破断などのため、大きな素板を用いて一工程で深い容器を成形することは困難である。そのため、深い容器形状を得る方法として、深絞り加工を行った成形品に、再絞り加工やしごき加工が行われている。しかし、これらの加工は多工程になり、各工程で異なったパンチやダイス、しわ抑えなどの金型が必要になる。また、加工に伴う材料の加工硬化を取り除くために、加工途中で焼鈍することが必要になる場合も多い。さらに、角筒容器については、再絞り加工を行うことが円筒容器に比べ困難である。そのため、少ない工程で深い容器を成形する加工法の開発が強く望まれている。

2. 研究の目的

一枚の素板から容器形状の製品を成形する方法に、絞り加工がある。しかし、絞り加工により深い容器を成形しようとする、フランジ部の絞り抵抗が大きく、素板はパンチ肩部で破断する。申請者は絞り抵抗を大幅に減少させる方法として、「展開ブランクを用いた円筒・角筒容器の絞り加工」の研究に取り組み、通常の深絞り加工では成形不可能な深い容器を、一工程で成形する技術を開発してきた。しかし、展開ブランクを用いて、成形された製品のフランジ接合面は、隙間なく接触していても気密性を有しない。本研究では、絞り加工と摩擦攪拌接合により分割したフランジ部の接合を一工程で行い、気密性を有する深い容器の成形性を究明する。

3. 研究の方法

本研究では展開ブランクの深絞り加工において、絞り加工と同時に隣接するフランジを接合する方法として、摩擦攪拌接合(FSW)を用いる。展開ブランクを用いた深絞り加工では、材料は外周部からダイス穴向きに絞り変形をほとんど受けずに移動する。そして、ダイス穴直前で隣接するフランジ部と接触を開始し、絞り変形を受けながらダイス穴内へ流入する。本研究では、ダイス穴方向へ移動してきたフランジ部の材料が、隣接するフランジと接触を開始する点近傍で、先端にピンを有する回転ツールを押し入れ、高速回転させる。これによって、材料とツールの間に摩擦熱が発生し、摩擦熱により材料は軟化する。

そして、ピンが接合面内部の材料を攪拌することにより、塑性流動が生じフランジ間が固相接合される。接合部分は、その後、さらにダイス穴に近づき、絞り変形による圧縮応力を受けることにより、強固に接合される。

本研究の目標である「展開ブランクを用いた気密性を有する深い角筒容器の成形」を実現するためには、摩擦攪拌接合条件が重要である。摩擦攪拌接合においては、

- 1) 回転ツールの形状および材質
- 2) 回転ツールの回転数と接合速度
- 3) 接合点近傍における材料流動
- 4) 接合面の精度(継手間隙, 継手段差, ピンねらい誤差)

が接合の成否および内部欠陥の発生に重要な影響をあたえる。深絞り成形中におけるこれらの最適加工条件を明らかにする。

4. 研究成果

本研究の目的は、二つの技術的要素の複合による新しい加工法の開発である。すなわち、「展開ブランク」を容器状に深絞り加工する成形技術、展開ブランクの隣接フランジ部を摩擦攪拌接合する技術である。しかし、個々の技術分野に未解決・不明な課題があるため、個別な課題を明らかにしたのち、複合加工の開発を行うこととした。

平成24年度には、 に関しては、成形金型の設計・製作を行った。 に関しては、1) 使用材料に関する検討、2) 回転ツール形状および材質の検討、3) 回転ツールの回転速度と接合速度について検討した。

平成25年度には、 に関しては絞り加工を各種のブランク形状について実施し、成形技術を確立させるとともに、課題であった隣接フランジの接触開始点の移動について明らかにした。この結果をもとに、論文「摩擦攪拌接合を併用したアルミニウム板の展開ブランクによる気密性を有する深い角筒容器の成形」を軽金属に発表した。

結果を図1に示す。横軸はパンチストローク、縦軸はパンチ中心から点Cまでの距離 r_c である。いずれの W すなわち初期 r_c の場合も、点Cの位置は、パンチの押込みに伴ってストローク10mmまでパンチ側へ移動し、 r_c の値は急激に減少した。しかし、初期の r_c の違いは、 r_c の減少量に顕著な影響を及ぼさず、いずれの場合も減少量は約2mmであった。また、ストロークが10mm以上になると、 r_c の減少率は小さくなった。

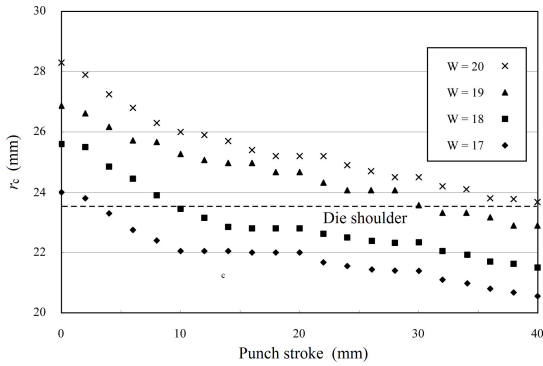


図1 パンチの押し込みに伴う点Cの移動

に関しては、実験的に接合特性を明らかにした。当初予定していた材料A5052-0に加え、A5052-H34材についても接合実験を行い、接合強度等を比較検討することにより、当初の予定より広い研究領域で成果を得ることができた。この結果をもとに、軽金属学会第125回秋期大会講演会、(2013年11月、横浜国立大学)において「アルミニウム合金A5052材の摩擦攪拌接合特性」と題して講演を行ったところ、軽金属溶接協会から論文執筆の依頼があり、「5052アルミニウム合金の摩擦攪拌接合継手の機械的性質」と題して発表した。

図2および図3は、接合速度が接合強度に及ぼす影響を回転ピッチ(接合速度/回転数)で整理して示す。

図2は0材の場合である。各試験片の接合強度は母材の引張強さ201MPaに対して、(1500/1500)の場合を除きいずれも ± 15 MPaの範囲にあり、広範な接合条件において安定した高い継手効率を示した。

図3は、H34材の場合である。接合強度は母材の引張強さである237MPaに及ばないが、回転ピッチが比較的小さい範囲では約200MPaであり、0材の母材強度とほぼ等しくなった。この結果は、鈴木らによる実験において、母材の引張強さ240MPaのH34材に対して、ツール回転数1110rpm、接合速度250mm/min(回転ピッチ0.23)で摩擦攪拌接合を行った継手の接合強度が、210MPa程度であったことと一致する。しかし、いずれのツール回転数においても、接合速度が相対的に大きくなり、回転ピッチが0.4以上になると、接合強度は急激に低下した。

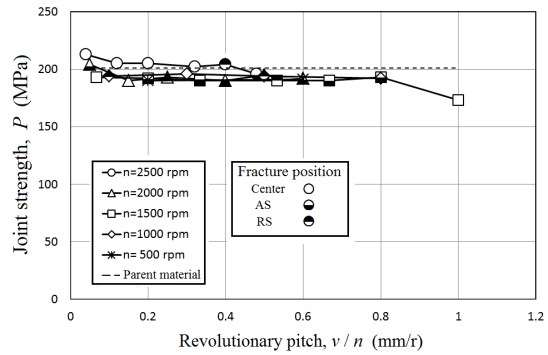


図2 接合強度 (A5052-0)

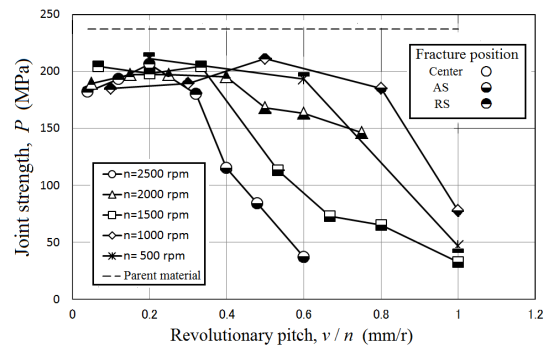


図3 接合強度 (A5052-H34)

平成26年度には、二つの基礎技術について、個別には一定の成果を得ることができたことから、これらの技術を組み合わせて、絞り加工と接合加工を同時に行う複合加工を試みた。角筒容器の成形であることから、接合すべき箇所は4か所あるが、当初は、1か所の接合を実施した。この接合により、個別な基礎技術の段階では明らかにならなかった課題について検討を行った。

摩擦攪拌接合を伴った展開ブランクの深絞り加工では、ブランク形状とともにツールの位置により接合・成形結果が大きく変化する。一方、摩擦攪拌接合は非対称な加工法であるため、前進側と後退側で材料流動が異なる。特に、前節で検討したように本加工法特有の材料流動、すなわち前進側から漏出した材料が点C近隣のフランジ間に堆積するため、前進側の板厚が減少する。このため、成形品の隣り合う側壁面に板厚の差異を生じ、壁割れの原因になる。側壁部(前進側)における局所的な板厚減少および破壊を抑制するために、ツール位置を突合せ接合面からオフセットすることにより加工の改善を検討した。

図4(a)に、本加工における主要なパラメータを定義する。

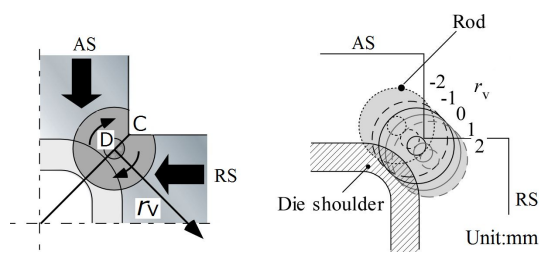


図4 ツールのオフセット

ツール位置を r_v 方向に $r_v = -2 \sim 2\text{mm}$ オフセットして、成形を行い、オフセット量が接合・成形結果に及ぼす影響について検討した。 $r_v = -2\text{mm}$ の場合には、接合部に割れが観察され、接合が不完全であることが分かる。この原因は、ツールのプローブ直径が 2mm であり、前進側のフランジ内部 $r_v = -2\text{mm}$ の位置でプローブが回転しても、プローブ外周から接触部まで 1mm 離れており、接触部を乗り越えるような塑性流動が生じないためと考えられる。他の r_v 条件では、目視上、接合・成形は良好に行われた。

これらの実験結果は、通常の直線状の接合において 6N01 合金に対して示された、「ツールが開先面に対して後退側にずれた場合には、 2mm 程度ずれても引張強さの低下は少ないが、前進側にずれた場合には、 1mm を超すと引張強さは急激に低下する」と良い一致を示した。フランジ部から材料が流入する側では、ツールと材料は密着しており、前進側からツールの回転に伴って時計方向に材料が攪拌され、後退側へ流入するのは容易である。しかし、後退側からダイス穴側を経て、前進側への攪拌・流入はこれに比べ困難である。ツールが後退側にずれた場合には、前進側を攪拌する作用の低下は少なく、前進側の材料は攪拌され後退側に流入する。また、後退側の材料も、十分な攪拌作用により前進側に流入する。しかし、前進側にツールがずれた場合には、前進側の材料流動が前進側から後退側へ流入するのに必要な、後退側における材料の攪拌作用が大きく低下するため、接合面を超えての材料流動が困難になり、接合することができなくなると考えられる。

この検討結果に基づき、論文「1100アルミニウム板の展開ブランクを用いた気密性を有する深い角筒容器の成形」を軽金属に発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

畑中 伸夫, 脇 彰吾, 飯塚 高志, 摩擦攪拌接合を併用したアルミニウム板の展開ブランクによる気密性を有する深い角筒容器の成形, 査読有, 軽金属, Vol.65, No.3, 2015, pp.79-85.

畑中 伸夫, 西野 精一, 藤井 英俊, 森貞 好昭, 5052 アルミニウム合金の摩擦攪拌接合継手の機械的性質, 査読有, 軽金属溶接, Vol.52, No.12, 2014, pp.463-469.

畑中 伸夫, 脇 彰吾, 飯塚 高志, 1100 アルミニウム板の展開ブランクを用いた気密性を有する深い角筒容器の成形, 査読有, 軽金属, Vol.64, No.8, 2014, pp.361-367.

〔学会発表〕(計 5 件)

吉崎 伸, 西野 精一, 畑中 伸夫, 異種アルミニウム合金摩擦攪拌接合材の強度特性に関する研究, 材料学会四国支部講演会, 2015年4月11日, 香川大学(香川県高松市).

畑中 伸夫, 西野 精一, 展開ブランクを用いた気密性を有する深い角筒容器の成形, 軽金属学会中国四国支部講演会, 2014年6月28日, 島根大学(島根県松江市).

畑中 伸夫, 西野 精一, 展開ブランクを用いた絞り加工の弾塑性有限要素法解析, 日本産業技術教育学会第29回情報分科会, 2014年3月15日, 大阪芸術大学(大阪府大阪市).

藤田 政宏, 畑中 伸夫, アルミニウム合金 A5052 材の摩擦攪拌接合特性, 軽金属学会中国四国支部若手フォーラム, 2013年11月22日, 岡山国際交流センター(岡山県岡山市).

畑中 伸夫, 西野 精一, 藤井 英俊, アルミニウム合金 A5052 材の摩擦攪拌接合特性, 軽金属学会第125回秋期大会講演会, 2013年11月9日, 横浜国立大学(神奈川県横浜市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

畑中 伸夫 (HATANAKA, Nobuo)

鳴門教育大学・大学院学校教育研究科・教授
研究者番号: 70413846