

アルミニウム合金のプレス成形性向上に関する研究（第3報）

小川 大介、柘植 英明

Study on press forming of aluminum alloy (III)

Daisuke Ogawa and Hideaki Tsuge

本研究では、アルミニウム合金の成形性について、電動サーボプレス機の特長であるモーション制御に着目し、各種成形速度および温度（常温と 200℃）条件における成形実験を実施した。その結果、成形速度と絞り比の関係が明らかになり、金型温度条件によっては絞り比が向上することを確認した。しかし、冷間（常温）成形と温間（200℃）成形による真円度や板厚分布については、差異が無かった。また、深絞り成形後の材料集合組織の解析によって、成形時に発生した塑性変形の様子を観察することができた。

1. はじめに

近年、環境問題や省エネルギーの観点から、軽量化のニーズを受け、自動車用パネル材料など、鋼板に代わりアルミニウム合金の使用量が増大する傾向にある¹⁾。しかし、アルミニウム合金の延性は従来使用されてきた軟鋼板の延性と比べて低いことが知られており、しわや割れなどが発生し、成形性に課題がある。そのため、アルミニウム合金の使用用途範囲は限定的である。

このアルミニウム合金の適用範囲拡大に向けた成形性の改善手法の一つとして温間成形が挙げられる。この方法は、あらかじめ材料を炉などで加熱することなく、加熱した金型を用いて深絞り成形する方法で、冷間成形よりも限界絞り比を向上することが可能とされている。また、この温間成形は、汎用の冷間プレス機を使用して実施できることから設備投資は比較的少なくて済む可能性があり、自動車部品への実用化の高い成形方法と考えられている。

一方、プレス機械においては、油圧プレスや対向液圧プレスなど様々なプレス機が存在する。なかでも、電動サーボプレス機の登場により、プレスの途中までは高速で駆動させ、下死点（加圧の最下点）に近いところで速度を落として加工するなど、スライドの動きや速度、下死点位置などを任意にかつ高精度に制御できるサーボプレス機が生産性向上に貢献できると期待されている²⁾。

本研究では、アルミニウム合金のプレス成形性向上を目指す。既報^{3,4)}により、非熱処理型合金 A5052-O 材を用いて冷間および温間プレス成形を行い、最適成形速度が存在していることを示した。本年度は、調質が異なる A5052-H34 材および熱処理型合金 A2017-T3 を加え、プレス成形速度に対する成形性への影響を調査した。

2. 実験装置および実験方法

本実験に使用した供試材は、板厚 1.0mm、非熱処理型合金 A5052-H34 材、熱処理型合金 A2017-T3 を用い、恒温雰囲気における引張試験および成形試験を行った。

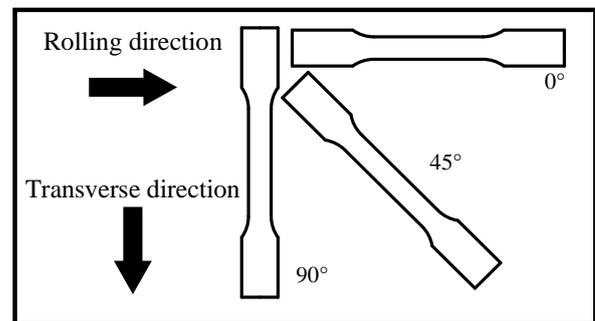


図1 引張試験片

引張試験は万能試験機（Instron Corporation 製 5985 型）を用い、槽内温度を 25～200℃に保ち、試験速度 2mm/min にて引張強さ、破断伸びを測定した。引張試験片は、JIS Z 2241 による 13 号 B 号試験片（平行部 12.5mm×長さ 60mm、標点距離 50mm）とし、図 1 に示すように圧延方向（RD）を 0° 方向とし 0°、45°、90°（TD）方向にワイヤーカット切断機にて試験片を作製した。

深絞り成形試験には、3 次元 CAD ソフト（Solid Works）を用い深絞り金型モデルを作成し、被成形材接触位置をあらかじめ検討し、成形加工条件に活用した。プレス機には、電動サーボプレス機（株）放電精密加工研究所製 ZENFormer MPS675DS）を用いた。プレス成形条件として、V 字 1 点変速制御によりプレス速度 5～200mm/s、しわ押さえ板間隔 1.0mm、金型温度を常温（冷間成形）と 200℃（温間成形）として深絞り成形を行った。金型形状は、パンチ径φ25mm、パンチ肩半径 R5mm、ダイス径φ27.5mm、ダイス肩半径 R5mm を用いた。また、金型加熱には、ダイおよびしわ押さえ板にカートリッジヒーターを用いた（パンチ部は加熱機構なし）。被成形材は、φ40mm～φ57.5mm（絞り比：1.6～2.3）をワイヤーカット放電加工機にて作製した。

深絞り成形後の形状精度評価には、真円度測定器（株）東京精密製 ロンコム 52B-510）を用いて、カップ外周底面から高さ H10mm から 3mm ピッチで測定

した。カップ板厚測定には、マイクロメーターを用いてカップ底中心から圧延方向に沿って 2mm ピッチに測定した。そして、高性能走査電子顕微鏡複合装置（日本電子（株）製 JIB-4600F）を用い、電子線後方散乱回折（EBSD）法により成形前後の集合組織を解析した。

3. 結果及び考察

3.1 引張試験

アルミニウム合金 A5052-H34 の引張試験結果を図 2 に示す。この結果から、A5052-O 材の時と同様に雰囲気温度が高いほど引張強さが低下し、25℃と比べ 200℃の引張強さは 20%低下した。破断伸びについては、10%弱の破断伸びが 35%程度まで劇的に向上することが分かった。次に、A2017-T3 材の引張試験結果を図 3 に示す。A5052-H34 材と同様に、引張強さは低下するが、破断伸びはほとんど変化しないことが分かった。

3.2 深絞り試験結果

3.2.1 限界絞り比

A5052-H34 材における冷間および温間成形時の成形速度と絞り比を変化させた場合の実験結果を図 4 に示す。成形が可能であったものを○印、しわやき裂が入ったものを△印、割れて成形できなかったものを×印と表記した。A5052-O 材の結果と異なり、冷間成形時の限界絞り比 2.16（成形速度 50~100mm/s）が得られた。一方、温間成形では限界絞り比 2.24（成形速度 5mm/s）が得られ、限界絞り比の向上が確認できたが、速い成形速度になるに従い、材料加熱によって深絞り成形時の材料引き込み速度に追従できないため、割れが発生して成形できなかった。

次に、A2017-T3 材における実験結果を図 5 に示す。冷間成形時の限界絞り比 1.6（成形速度 50~200mm/s）であったが、温間成形時の限界絞り比 2.3（成形速度 5~10mm/s）が得られた。引張試験結果の機械的特性の変化により限界絞り比の大幅な向上が確認できた。

各材料において、温間成形により限界絞り比は向上するが、遅い成形速度でないと成形できない傾向があることが分かった。

3.2.2 形状測定

冷間成形および温間成形における A5052-H34 材の絞り比 2、A2017-T3 材の絞り比 1.6 および 2 の各プレス速度に対する成形品の真円度測定結果を図 6、7 に示す。A5052-H34 材の冷間成形については、既報^{3,4)}と同様に、プレス成形速度が速くなるに従い真円度のばらつきが大きくなり、カップ縁に近いほど悪くなっている。温間成形における真円度は、冷間成形と比べ若干良くなっているが、カップ高さ H16mm 以上の位置では、逆に真円度が悪くなった。

絞り比 2.16、成形速度 100mm/s の板厚分布測定結果を図 8 に示す。温間成形品は冷間成形と比べ板厚減少が大きく、カップ縁部分は板厚増加に転じることが、真円

度結果を悪くした要因と考えられる。

A2017-T3 材については、絞り比 1.6 の条件で比較すると、明らかな差異はみられなかった。絞り比 2 の温間成形については、A5052-H34 材と同様に、カップ高さ H16mm 以上の真円度が悪化することがわかった。

絞り比 1.6 および 2、成形速度 100mm/s の板厚測定結

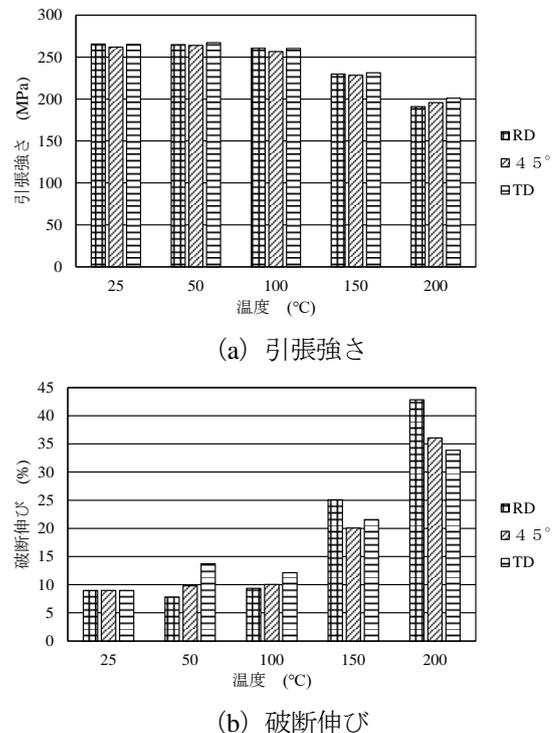


図2 引張試験結果 (A5052-H34)

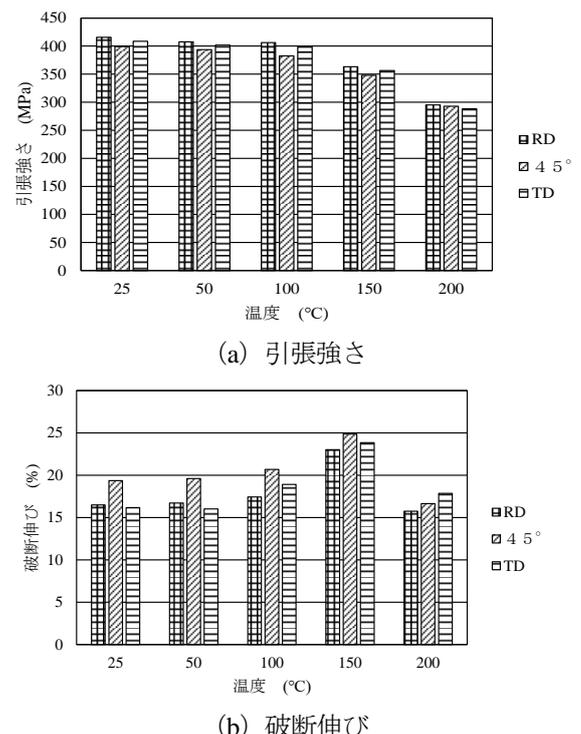
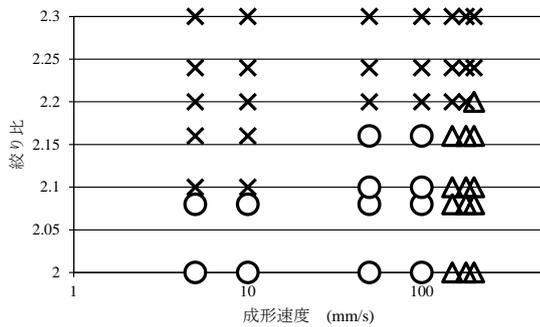
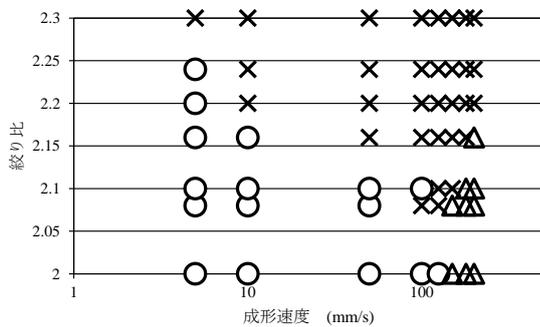


図3 引張試験結果 (A2017-T3)

果を図9に示す。絞り比1.6に関しては、冷間と温間成形共に、ほぼ同等の板厚であるのに対し、絞り比2につ

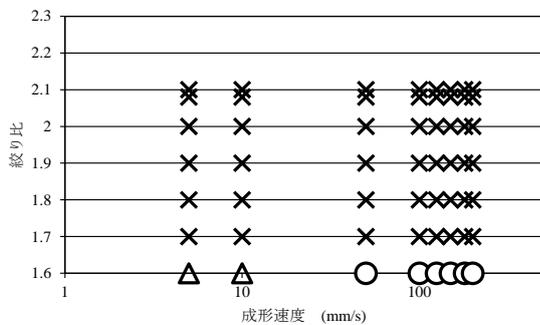


(a) 冷間成形

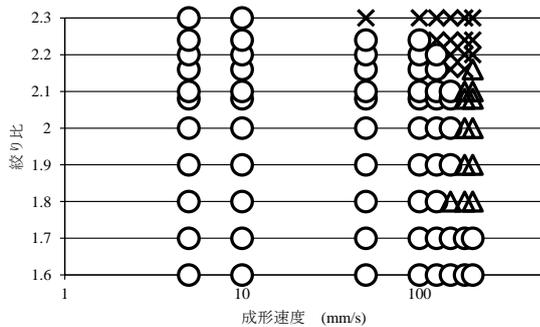


(b) 温間成形

図4 深絞り成形結果 (A5052-H34)

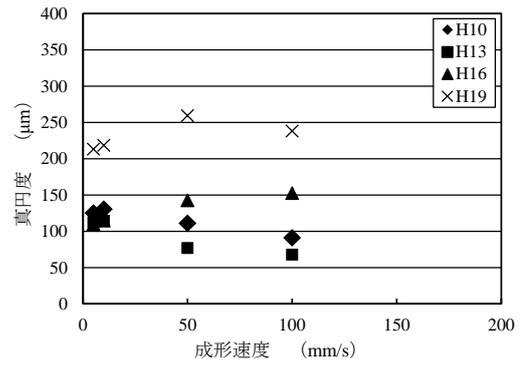


(a) 冷間成形

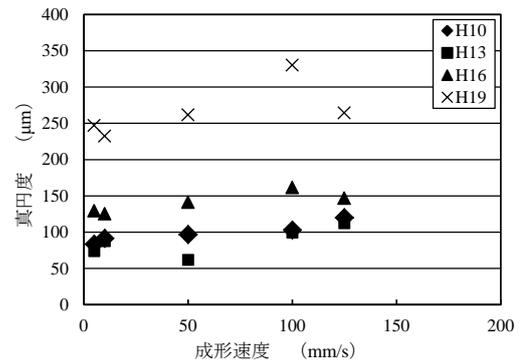


(b) 温間成形

図5 深絞り成形結果 (A2017-T3)

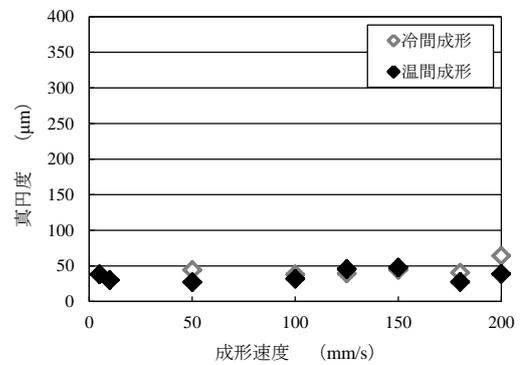


(a) 絞り比2, 冷間成形

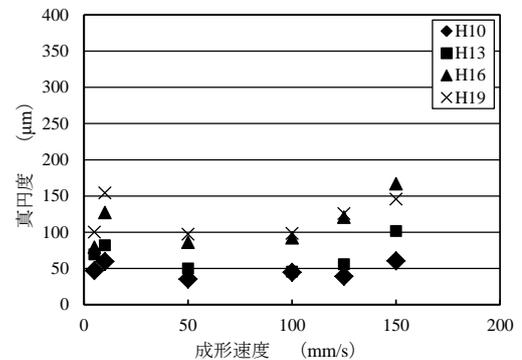


(b) 絞り比2, 温間成形

図6 真円度測定結果 (A5052-H34)



(a) 絞り比1.6



(b) 絞り比2, 温間成形

図7 真円度測定結果 (A2017-T3)

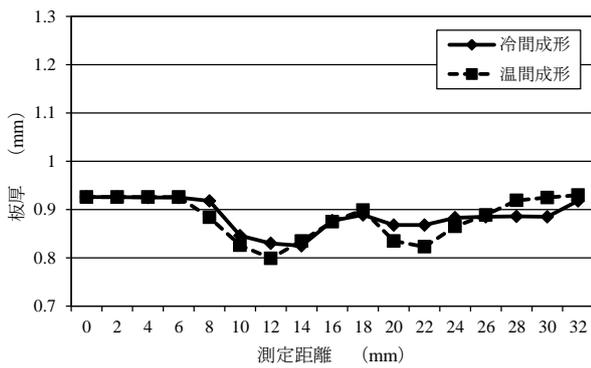


図8 板厚測定結果 (A5052-H34)

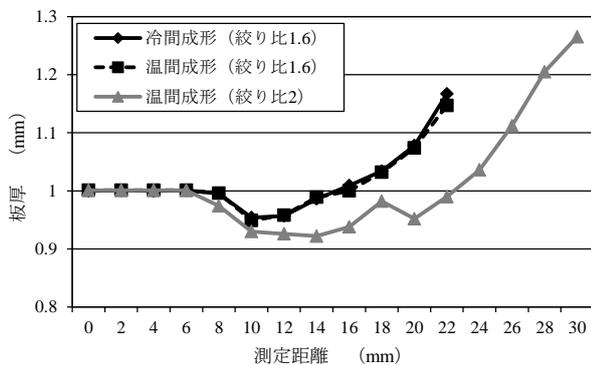


図9 板厚測定結果 (A2017-T3)

いては、板厚減少が若干大きく、カップ縁に近いところは、板厚が 1.25mm まで増加した。この要因は、温間成形により料の引張強さや伸びなどの物性が変化したためと考えられる。

3. 2. 3 EBSD 測定

深絞り成形品 (A5052-H34 : 絞り比 2、A2017-T3 : 絞り比 1.6) の EBSD 法による側壁部圧延方向 (RD) 断面の集合組織解析結果を図 10、11 に示す。深絞り成形の塑性変形によって、結晶方位にむらが生じていることが確認できた。また、A2017-T3 材については、結晶粒が深絞り加工に引き伸ばされていることが分かった。また、材料加熱による結晶粒粗大化は確認できなかった。

4. まとめ

アルミニウム合金の成形温度およびプレス成形速度によるプレス成形性への影響を調査し、以下の結果を得た。

- 1) 各雰囲気温度条件による機械的特性が変化し、引張強さおよび破断伸びが変わることを確認した。
- 2) 絞り比と成形速度の関係性について、最適性がある。冷間成形では、50~100mm/s、温間成形では、5~10mm/s の成形速度の時が、絞り比が最も良い。

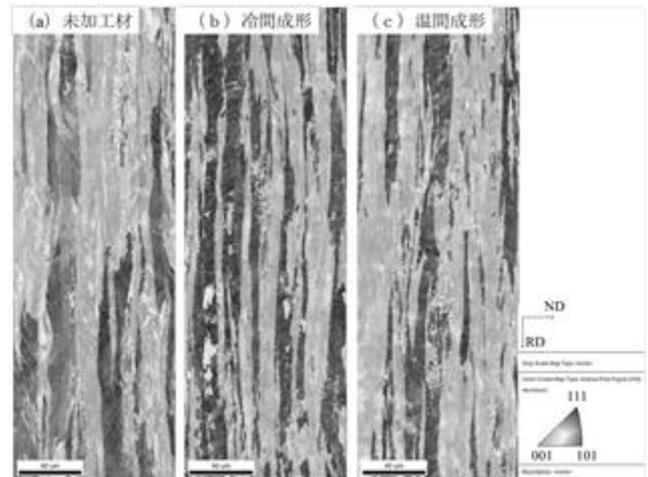


図10 EBSD測定結果 (A5052-H34)

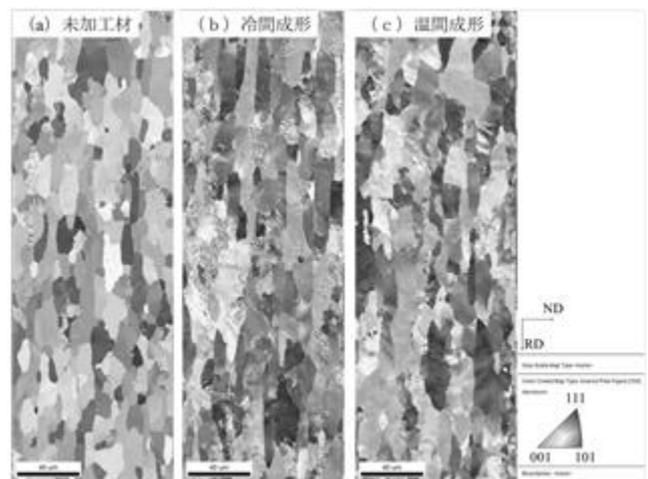


図11 EBSD測定結果 (A2017-T3)

- 3) A2017-T3 材において、金型温度 200°C の成形において、絞り比 2.3 を達成することができた。
- 4) 冷間成形と温間成形による真円度と板厚分布について、差異が無い。

【謝 辞】

本研究の一部は、公益財団法人遠藤斉治朗記念科学技術振興財団の助成を受けたものである。ここに深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 高田健, 新日鉄技報第 393, pp104-109, 2012
- 2) 林央, 天田財団研究報告書, pp11-19, 2008
- 3) 小川ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No. 4, pp35-36, 2016
- 4) 加賀ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No. 5, pp37-39, 2017