

## Al-Mg-Si 系アルミニウム合金板の熱間プレス成形

石黒 農\* , 岩井利照\*\*, 矢代健太郎\*\*

## Hot-Press of Heat-Treatable Aluminum Alloys Sheets

Minoru ISHIGURO\*, Kazu-aki IWAI, Kentaro YASHIRO

An improvement of a press formability of heat-treatable aluminum alloys sheets by a hot-deep drawing process was investigated. The process consisted of a rapid heating by using the heat convection from a heated steel plate, the deep-drawing with cold- or hot-tools and a water-quenching by a water-spray was proposed. The process was conducted continuously that the sheet was heated above 540 °C, and then formed by the press-machine within the range of 30 and 100 mm·s<sup>-1</sup> and quenched by the water-spray within 1 s immediately after the press. The limiting draw ratio was increased by 30 % from 2.0 to 2.3 by using the heated tools for the pressing. But the press with non-heated die was not able to form the cup. It was found that the proposed process is useful for improvement of formability of heat-treatable aluminum alloys sheets by 30 % in limiting draw ratio.

**Key Words:** heat-treatable aluminium alloy sheet, hot-deep drawing.

## 1. 緒言

自動車は、燃費向上のため比強度の高い、ハイテン、アルミニウム合金に代表される軽量化代替材料による車体の軽量化が行われている<sup>1), 2)</sup>。中でも、Al-Mg-Si 系アルミニウム合金板は、パネル部品の軽量化材料として期待されている。Al-Mg-Si 系合金板は、塗装焼付け硬化性を有しており、変形抵抗が小さく成形性の高い状態でプレス成形し、その後塗装焼付け処理を行うことによって製品の強度を高めている。現行法では、アルミニウム素材メーカーにおける溶体化処理から成形メーカーにおけるプレス成形、その後の塗装焼付け処理までに2週間以上かかり、溶体化処理されたブランクは、自然時効が進行して塗装焼付け時に強度が低下する2段時効による負の効果が問題となっている。強度低下の防止方法として、成形プロセスの最適化<sup>3)</sup>が検討されている。既報<sup>4)</sup>では、製品の強度を上昇させる方法として、プレス成形直前のブランクの再溶体化処理およびプレス成形直後の人工時効の組合せによるプロセスを提案し、製品強度を向上している。

自動車パネルのプレス成形について着目すると、アルミニウム合金板は、鋼板に比べてプレス成形性が劣り、複雑形状部品は温間成形<sup>5)</sup>などの工夫が必要である。Al-Mg-Si 系合金板の温間成形は、過時効による強度の低下が予想され、プレス成形後に再溶体化処理が必要であり、形状を凍結することができない。そのため、溶体化処理温度以上におけるプレス成形性を検討する必要がある。

本研究では、Al-Mg-Si 系アルミニウム合金板の溶体化処理における熱間プレス成形によるプレス成形性の向上を検討した。アルミニウム合金板は、溶体化処理温度に加熱された後にプレス成形され、限界絞り比の向上、最大成形荷重の低減が検討された。

## 2. Al-Mg-Si 系アルミニウム合金板の熱間プレス成形プロセス

Al-Mg-Si 系合金板のプレス成形性の向上を目的とした

\* 富山工業高等専門学校 機械工学科

\*\* 富山工業高等専門学校 機械工学科・学

プロセスを図1に示す。(b)の提案法は、プレス直前にブランクの再溶体化とプレス成形を同時に行い、プレス成形性の向上を図る。その後、人工時効を行うことで、製品強度の向上を図る。既報<sup>4)</sup>では、成形体の最終製品強度の向上が確認されたため、本報では、(b)提案法の熱間プレス成形性を詳細に調査した。

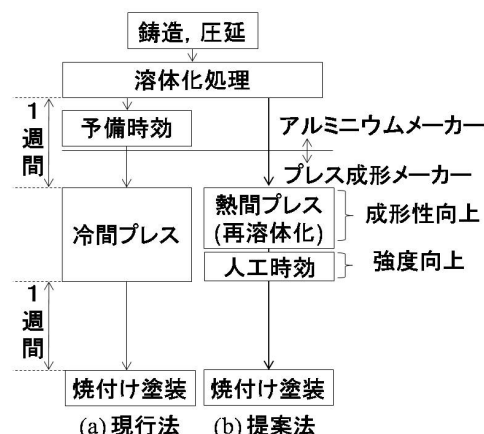


図1 プレス製品の成形性向上プロセス

図1(b)の提案法の熱間プレス工程の想定図を図2に示す。アルミニウムメーカーから搬送されたブランクは、(a)の加熱において、コンパクト、省スペースの伝熱加熱炉内で、溶体化温度まで急速加熱後に保持される。その後、(b)の矯正プレスにおいて加熱による板の凹凸が平坦化される。このときブランクの温度は溶体化温度に保たれる。その後、ブランクは(c)のプレスにおいて熱間成形され、プレス成形性が向上する。プレス成形直後に、ブランクは(d)の水冷却において急速に冷却される。一連のプロセスは、機械の自動化によって連続的に行われることを想定している。

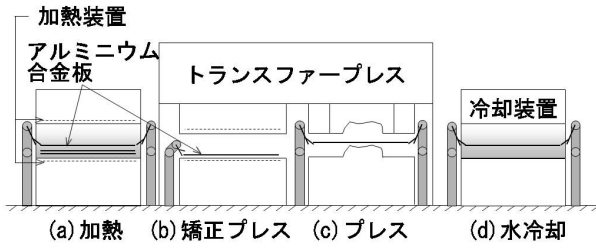


図2 熱間プレス工程の想定図

図2の想定プロセスを検証するために、図3に示す模擬プロセスによって、Al-Mg-Si系アルミニウム合金板の熱間深絞り特性を調査した。図2に示した提案プロセスの(a)の加熱および(b)の矯正プレスの二つのプロセスは組合され図3の(a)加熱に置き換えられた。

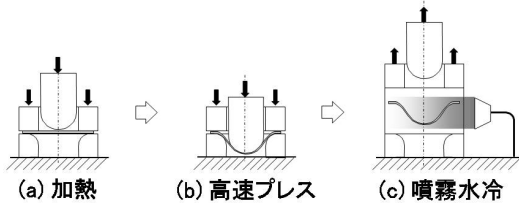


図3 模擬プロセス

3. 熱間高速深絞り成形条件

試作された熱間深絞り成形試験機の概要を図4に示す。熱間深絞り成形では、ダイス加熱およびダイス非加熱の2通り加熱方式における熱間深絞り成形性が調査された。ブランクの加熱には、ヒーターから伝熱によって行われた。

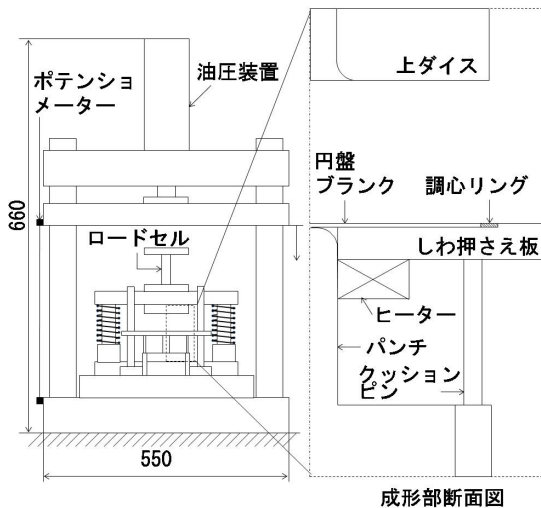


図4 熱間深絞り成形試験機

ダイス加熱による熱間深絞りを図5に示す。ブランクは、板厚1mmのAl-Mg-Si系A6061-T6アルミニウム合金板が用いられた。ダイスおよびしわ押さえは、ヒーターによってあらかじめ溶体化温度 $T=540^{\circ}\text{C}$ に加熱されており、その後しわ押さえに設けたクリアランス $c=1.0\text{mm}$ の溝にブラ

ンクが設置された。ブランク、しわ押さえおよびダイスは、ヒーターによって、ブランク温度 $T_s=540^{\circ}\text{C}$ まで再度加熱された。溶体化温度到達後60sの間 $T_s=540^{\circ}\text{C}$ に保持した後、成形速度 $v=30\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ で熱間深絞り成形をおこなった。熱間深絞り成形条件を表1に示す。ブランク温度は、 $T_s=400\text{--}540^{\circ}\text{C}$ の範囲において $50^{\circ}\text{C}$ の間隔で設定された。しわ押さえ力は、上ダイスが下降を始め、しわ押さえに接触した時点から、ダイクッションによって与えられた。深絞り成形時のダイスのストロークは、ラムに取付けられたリニアストローク測定器によって計測され、成形荷重はロードセルによって計測された。潤滑材は、LBNスプレーが用いられた。

ダイス非加熱による熱間深絞りを図6に示す。ブランクは、金型外で $T_s=540^{\circ}\text{C}$ に加熱され、60sの保持後、 $T=540^{\circ}\text{C}$ に加熱されたピンセットによって、しわ押さえの溝に搬送された後に深絞り成形された。

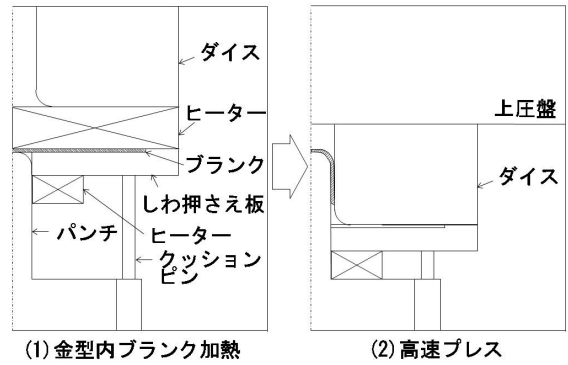


図5 ダイス加熱による熱間深絞り

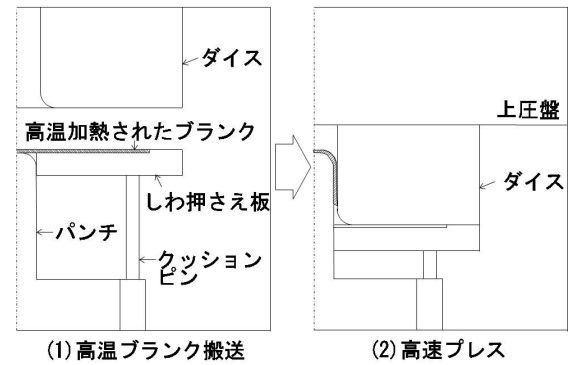


図6 ダイス非加熱による熱間深絞り

表1 熱間高速深絞り成形条件

成形開始時ブランク温度 $T_s / ^{\circ}\text{C}$	30-540
ダイス成形速度 $v / \text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	30-200
パンチ肩部半径 $d_p / \text{mm}$	5
ダイス肩部半径 $d_d / \text{mm}$	5
深絞り比 $\rho$	2.0-2.5
アルミニウム合金板厚 / mm	1
潤滑材	LBN スプレー

#### 4. 試作プレス機の性能の検証

##### 4.1 しわ押さえ力

$v = 30, 100, 150 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ における荷重とストロークの関係を図7に示す。各々の $v$ において、ストロークが増加すると、しわ押さえ力が増加しているが、 $v$ の増加によるしわ押さえ力とストロークの関係に変化は見られない。 $s = 45 \text{ mm}$ の下死点において、しわ押さえ力が著しく増加し、プレス荷重容量を示している。

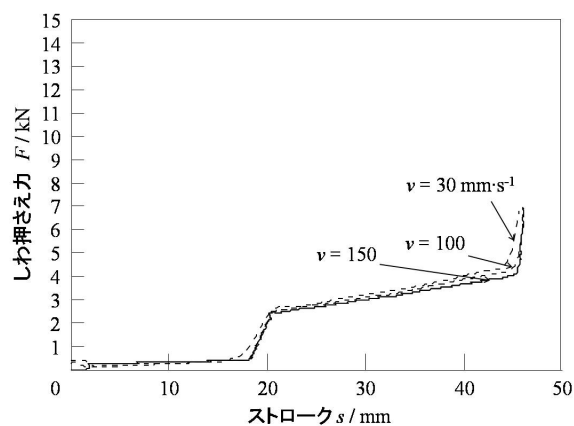


図7 しわ押さえ力とストロークの関係,  $v = 30, 100, 150 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

##### 4.2 深絞り成形荷重

深絞りにおける成形荷重 $F$ は、各ストロークにおける荷重から、各々のストロークにおけるしわ押さえ力を差し引くことによって求めた。 $v = 30, 100, 150 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $T_s = 30^\circ\text{C}$ における成形荷重 $F$ とストローク $s$ の関係を図8に示す。一般的な冷間深絞りにおける成形荷重ストローク曲線を示しており、試作されたプレスおよび計測装置により、深絞り成形および、その成形荷重の評価が行えている。

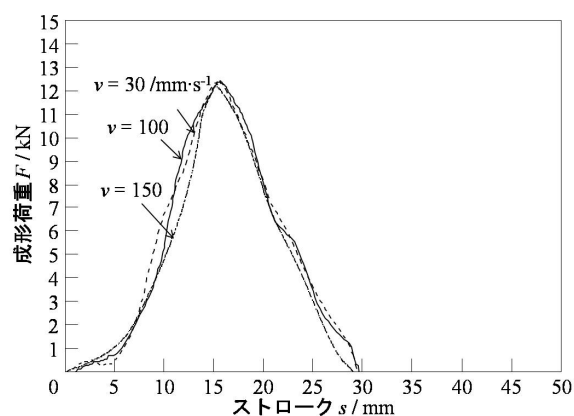


図8 深絞り成形荷重とダイスストロークの関係

### 5 Al-Mg-Si アルミニウム合金板の熱間高速プレス成形

#### 5.1 非ダイス加熱における破断

ダイス非加熱による熱間深絞り成形性を検討するために、

ブランクの冷却特性を評価した。アルミニウム合金板は、 $T_s = 540^\circ\text{C}$ に加熱されたヒーターに設置され、ヒーターからの伝熱によって、約180sの間に溶体化温度に加熱された後、 $T_s = 540^\circ\text{C}$ に100s保持された。その後、ブランクは、水冷却、空気冷却、ダイス冷却によって冷却された。加熱に時間が必要であるが、予め前工程で加熱を行うことで、連続操業が可能であると考えられる。溶体化におけるブランク温度と冷却時間の関係を図9に示す。水冷却およびダイス冷却は、冷却時間 $t_c = 20 \text{ s}$ までに $T_s = 30^\circ\text{C}$ まで冷却されているが、空気冷却は完全な冷却が行われていない。試験に用いられた合金板の溶体化温度は $T_s = 480\text{--}540^\circ\text{C}$ であり、 $T_s = 480^\circ\text{C}$ 以下の成形では、析出によって強度が低下することが考えられる。そのため、搬送を含め5s以内の熱間成形を行い、 $T_s = 500^\circ\text{C}$ 近傍における熱間成形性を検討した。

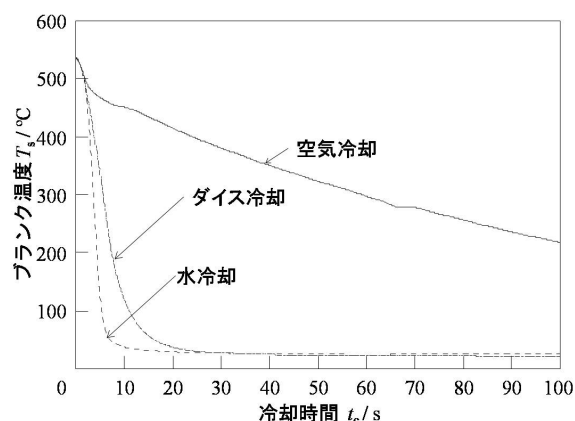


図9 溶体化におけるブランク温度と冷却時間の関係

絞り比 $\rho = 2.0$ における現行法<sup>3), 4)</sup>およびダイス非加熱の熱間深絞り成形体を図10に示す。ダイス非加熱は、深絞り成形が行えていない。作業の煩雑性の軽減から、ダイス非加熱による熱間深絞り成形が強く期待されるが、創意工夫が必要である。

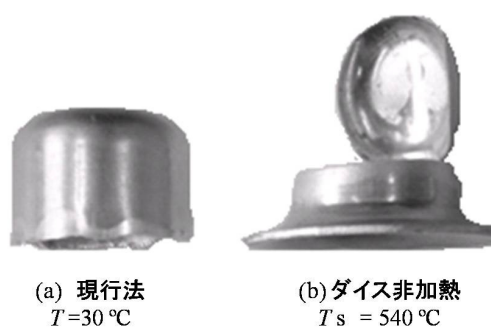


図10 現行法およびダイス非加熱における成形体外観,  $\rho = 2.0$

#### 5.2 ダイス加熱における深絞り特性の向上

ダイス加熱の熱間深絞り成形性を調査した。現行法および $T_s = 540^\circ\text{C}$ のダイス加熱における限界絞り比の成形体外観を図11に示す。ダイス加熱を行うことで、飛躍的に $\rho$

が増加しており, プレス成形性が向上している。溶体化温度における板材の熱間深絞り成形が可能である。

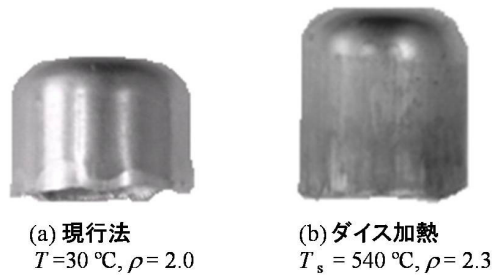


図 11 現行法およびダイス加熱における限界絞り比の成形体外観

最大成形荷重と成形開始時ブランク温度の関係を図 12 に示す。 $T_s = 400^\circ\text{C}$  以上で、最大成形荷重が約 60% 低下しており、小さな容量のプレス機でも深絞り成形が行える。完全な溶体化処理を行うためにも、 $T_s = 540^\circ\text{C}$  のダイス加熱による熱間深絞り成形が望ましい。

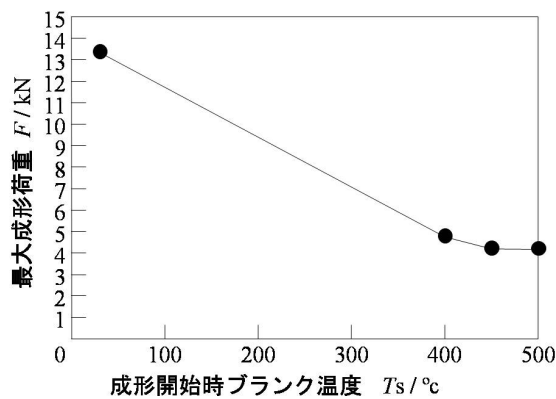


図 12 最大成形荷重と成形時ブランク温度の関係

## 6. 結 言

本研究では、Al-Mg-Si 系アルミニウム合金板の熱間プレス成形によるプレス成形性の向上を検討した。

- (1) ダイスを加熱することにより、Al-Mg-Si 系アルミニウム合金板の熱間深絞り成形が可能である。
- (2) 熱間深絞り成形により、限界絞り比が 30% 向上し、成形荷重が 60% 低減した。

## 謝 辞

この研究は、H19, 20 年度(社)日本アルミニウム協会のアルミニウム研究助成によって一部行われたことを付記し、感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 櫻井健夫: R&D 神戸製鋼技法, 57-2 (2007), 45-50.
- 2) 大宮良信・佐野豊和・箕浦忠行: R&D 神戸製鋼技法, 57-2 (2007), 2-7.
- 3) 山田健太郎・里 達雄: 日本金属学会誌, 65

(2001)897-902.

- 4) 石黒 農・牧清二郎・森謙一郎: 軽金属, 56-6 (2006), 313-316.
- 5) 小西晴之・田尻 彰: 軽金属, 58-11 (2008), 622-635.

(2008. 12. 26 受理)