マグネシウム合金による複雑形状部品の鍛造・プレス加工技術の確立と用途開発(第３報)

渡邉　健次郎*　　杉井　伸吾*　　田辺　寛*　　折笠　仁志*　　片山　聡*　　小林　泰則*

Establishment of Forming Technologies for Complicated Shaping Parts and Development of Application Using Magnesium Alloy

WATANABE Kenjirou*, SUGII Shingo*, TANABE Hiroshi*, ORIKASA Hitoshi*, KATAYAMA Satoshi* and KOBAYASHI Yasunori*

抄　録

マグネシウム合金の鍛造・プレス加工における製品化技術を確立するため、（１）再絞り加工技術の開発、（２）マグネシウム合金板のスプリングバック性の評価、（３）金型加熱時の温度分布解析、（４）大型プレス部品の形状精度評価、（５）表面研磨を行ったサンプルの陽極酸化処理技術の開発を行った。各々の研究課題について、マグネシウム合金の加工技術をさらに高める結果を得た。とくに、（１）ではマグネシウム合金に適用可能な再絞り率を明らかにし、（２）ではマグネシウム合金板を温間加工した際のスプリングバック性を把握した。また（３）では金型をヒータで加熱した際の温度分布シミュレーションを行ったのでここに報告する。

1. 緒　　言

マグネシウム合金は、比重が約 1.8 と実用金属中では最も軽く､比強度や振動減衰性に優れ、リサイクルの際に使用するエネルギーが少ない等、他の材料にはない特性を有している。現在マグネシウム合金は、パソコンや携帯電話等の情報機器、携帯家電製品、自動車部品に使用されている。成形方法の主流はダイカストやチクソモールディングであるが、当研究所では平成 11 年度よりマグネシウム合金の展伸材を使った鍛造・プレス加工の研究に着手し、平成 12 年度からは表面処理の技術開発も行って、その研究成果を県内企業へ普及すべく積極的に技術移転を行っている。また、平成 14 年度からは県央地域地場産業振興アクションプランが始まり、技術的支援を行っているが、マグネシウム合金を製品化する上での塑性加工に関するデータは不足しており、複雑化する製品に対応していくためには、様々な加工に対するデータベースが必要と考える。そこで、本年度は、（１）再絞り加工技術の開発、（２）マグネシウム合金板のスプリングバック性の評価、（３）金型加熱時の温度分布解析、（４）大型プレス部品の形状精度評価、（５）表面研磨を行ったサンプルの陽極酸化処理技術の開発等の研究を行ったので報告する。

*研究開発センター

2. マグネシウム合金の再絞り加工技術の開発

2.1　概　　要

一般にマグネシウム合金の絞り加工による製品は、一回の絞り成形と数回のリストライクで加工される場合が多く、そのため、比較的絞り高さの低い製品が多い。しかし、バラエティに富んだマグネシウム合金の製品展開を図ってい

くためには、アスペクト比の大きい製品も必要となってくると考えられるため、本年度はこれまでの文献にデータがなく、深い絞り高さが得られる再絞り加工[1)]に取り組んだ。

2.2 試験方法

実験に用いた供試材は AZ31B-O 材で、その化学的組成を表 2.1 に、引張試験の結果を図 2.1 に示す。第一絞りは、素材板厚 0.8mm を用い、パンチ径 φ 40，絞り比 3.0 で成形した後、フランジ部をトリミングし、高さ 60mm の成形品とした。再絞りの成形性評価では、各成形温度で成形できる再絞り率＝（再絞りパンチ径／第一絞りパンチ径）をもってその評価とすることとし、再絞り率 80，70，60%の 3 種類のワークを作製した。再絞り金型のパンチ径、パンチ肩半径、ダイス肩半径を表 2.2 に、再絞り金型の外観を図 2.2 に示す。しわ押さえ力はバネにより 2.3kN で一定となる構造とし、加工速度は 2 ～ 3mm/sec、ダイス及びしわ押さえの温度（以下、成形温度と呼ぶ。）は 150，175，200，225 ℃に設定し、その際のパンチ温度はそれぞれ 130，155，175，200 ℃で実験した。潤滑剤は、しわ押さえ面に CF-853（日本工作油㈱製）を塗布し、ダイス面は PTFE シート（厚さ 0.05mm）を用いた。なお、試験装置は㈱アミノ製複動式油圧プレスを基本とした塑性加工万能試験機（インナー 1274kN、アウター 686kN）を使用した。

表2.1　供試材の化学的組成

(wt%)

	Al	Zn	Mn	Mg
AZ31B-O	3.46	0.85	0.39	Bal.

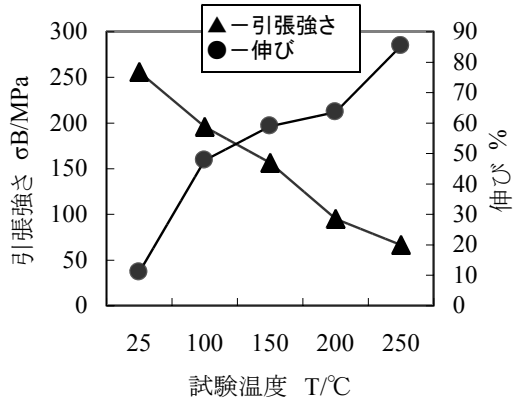

図2.1　供試材の引張試験結果

表2.2　再絞り金型の各寸法

再絞り率	80%	70%	60%
パンチ径	φ32	φ28	φ24
ダイス肩半径	R8	R9	R11
パンチ肩半径	R3	R3	R3

2.3 試験結果

図 2.3 に再絞り実験の結果を示す。成形温度 150 ℃では、成形品底部で脆性的な破断が生じて加工はできなかった。これは、成形温度が十分に上がっていないために、マグネシウム合金

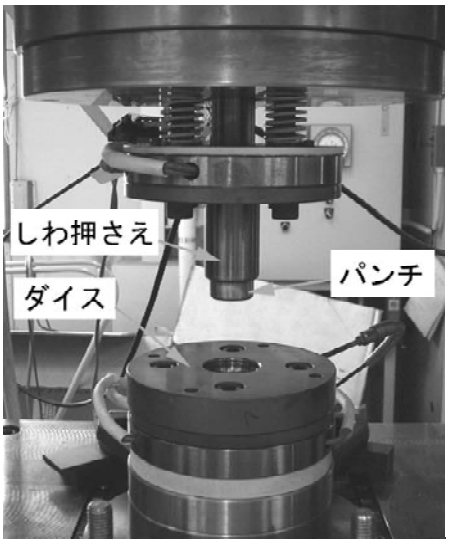

図2.2　再絞り金型の外観

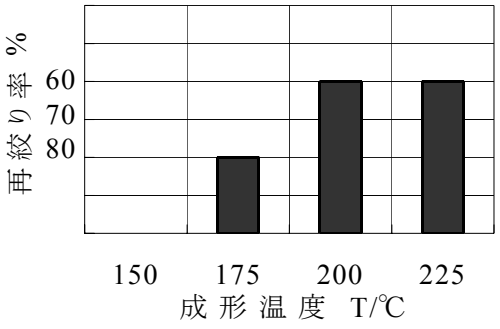

図2.3　再絞りの実験結果

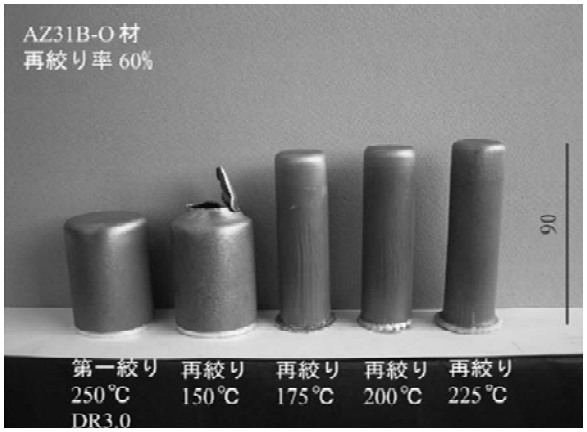

図2.4　再絞り率60%の成形品の外観

の結晶における底面以外のすべり系が働かなかったためと考えられる。成形温度 175 ℃では再絞り率は 80 %まで可能となり、成形温度 200 ℃～ 225 ℃では、再絞り率 60%までの成形が可能であった。マグネシウム合金の深絞り成形では[2)3)4)]、一般に成形温度として 250 ℃～ 280 ℃程度の範囲で加工が行われることが多いが、再絞り率 60%までの実験では、深絞り成形よりも 25 ℃～ 50 ℃程度低い成形温度でも加工が可能なことがわかった。成形品外観を図 2.4 に示す。再絞り率 60%で絞り高さ 90mm という非常にアスペクト比の高い加工が可能となった。

3.　温間スプリングバック評価試験

3.1　試験概要

JIS H 7702「自動車用アルミニウム合金の引張曲げによるスプリングバック評価試験方法」を参考に、温間スプリングバック評価金型を製作、プレス成形機にて試験を実施した。試験概要を図 3.1 に示す。金型にはパンチとダイス、しわ押さえにヒーターを設置し、常温から 250 ℃までの範囲で試験を行えるようにした。

3.2　試験方法

JIS H 7702 より、スプリングバック量 η は負荷時の曲率半径 r と除荷後の曲率半径 r'より式(1)にて求まる。試験片に生じる張力 Ten はパンチ押し込み荷重 P と試験片のダイス肩部

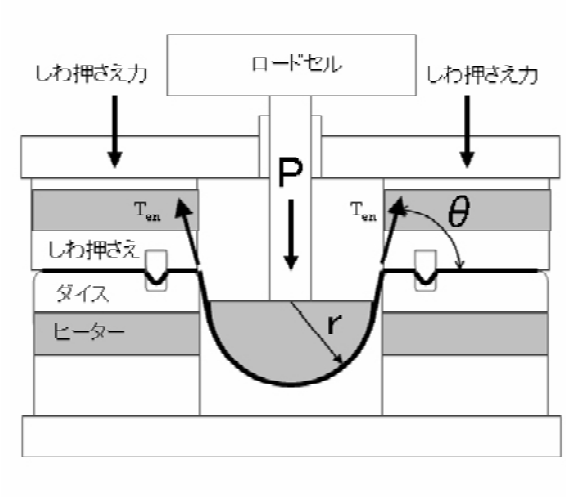

図3.1　温間スプリングバック試験概要

における角度 θ より式(2)にて求まる。

$$\eta = | r'-r | / r' \quad \cdots (1)$$

$$Ten = P / 2\sin\theta \quad \cdots (2)$$

本試験では試験中の角度 θ の測定が困難であったため、レーザ変位計によりパンチ位置を計測し、そこから角度 θ を算出した。パンチ押し込み荷重 P はロードセルにより測定した。除荷後の半径 r'　は㈱ミツトヨ製輪郭形状測定器コントレーサ CV-648 を用いて弧の最下点とそこから左右にそれぞれ 10mm の点を測定し、その 3 点より円弧を描いて求めた。

試験温度は 150、175、200、225、250 ℃とし、しわ押さえ力は 14、56、112、168、224kN（見かけの断面積に対するしわ押さえ圧力 1 ～ 16MPa）とした。潤滑には試験片とパンチ・ダイス・しわ押さえの間に PTFE シート（厚さ 0.05mm）を使用した。試験片は AZ31B 圧延材（長さ 500mm ×幅 50mm ×板厚 0.6mm）を用い、長さ方向は圧延方向に平行とした。

3.3　試験結果

図 3.2 に 200 ℃で試験を行った後の試験片形状を示す。実験当初、面圧分布の不均一により片側からのみ肉流れを生じ、望んだ形状に成形

できなかった。これは断熱板に用いた樹脂板の表面精度や各部材の取り付け精度によるものと思われる。その傾向は温度、しわ押さえ力とも低い条件下において顕著であった。そのためスペーサーで調整し、最終的には図のように成形することができた。

図 3.3 に張力・温度とスプリングバック量の関係を示す。スプリングバック量が張力の増加とともに減少していることが分かる。また各温度においてグラフの傾きはほぼ同一であり、張力がスプリングバックに及ぼす影響は温度に依存しないことが分かる。

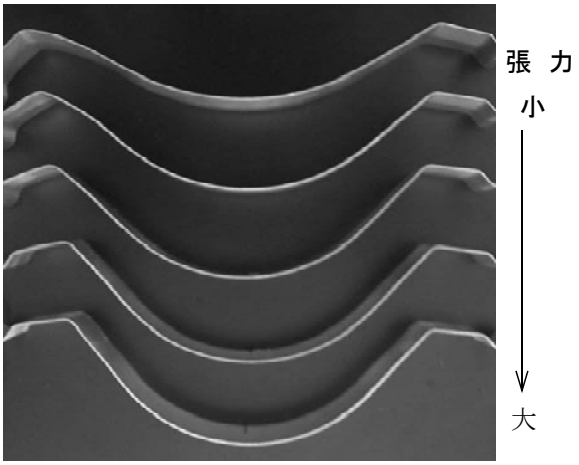

図3.2　試験後の試験片

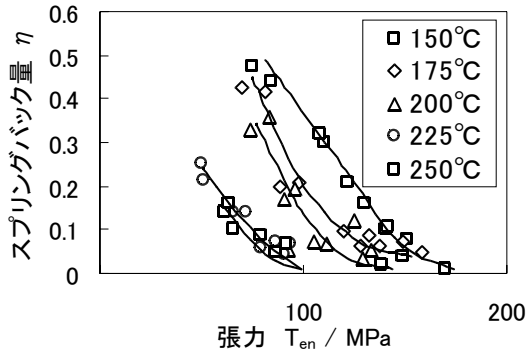

図3.3　張力とスプリングバックの関係

4. 金型加熱時の温度分布解析

4.1 概要

温間プレス成形ではヒーターにより金型を加熱するが、ヒーターの配置によっては金型に温度ムラが生じ、金型形状精度や成形性の低下を招くことがある。これを防ぐためには有限要素法解析等を用いてヒーター配置を最適化する必要があるが、金型の熱伝導だけではなく周辺雰囲気との熱伝達や熱対流を考慮しなければならず、計算が複雑となる。また一般の構造解析ソフトウェアでは熱対流を取り扱うことができず、他の因子で代用する必要がある。

そこで本研究では、熱伝導解析において、金型表面の熱対流の影響を、周辺雰囲気との熱伝達率を変化させて反映した場合の有効性について調査した。具体的には、実際の金型表面温度を先に測定し、それと一致するような解析値が得られるよう熱伝達率を設定し、その値が加熱温度の異なる場合においても有効であるか調査した。

4.2　試験方法

4.2.1　金型および表面温度測定位置

実験に用いた温間角筒絞り金型および表面温度測定位置を図 4.1 に示す。金型材質はダイスが SKD11、伝熱板が C1100、その他が S45C である。金型温度は金型に取り付けられた熱電対部で 150、200、250 ℃とし、金型表面温度は熱電対により測定した。

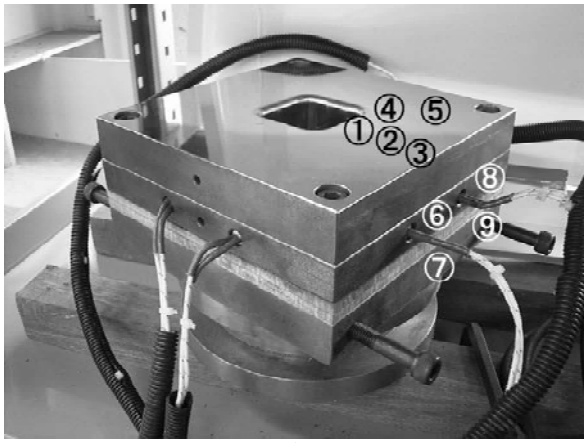

図4.1　金型および表面温度測定位置

4.2.2　有限要素法解析概要

有限要素法解析に用いたモデルを図 4.2 に示

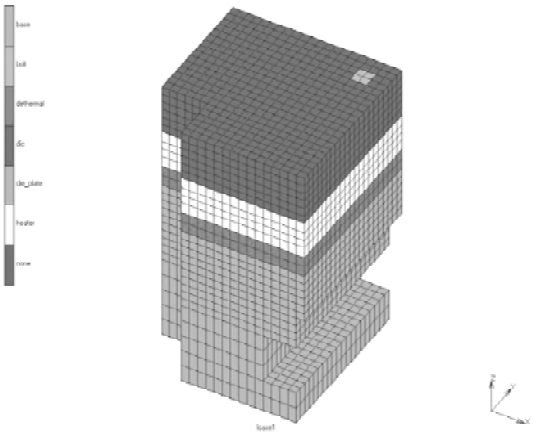

図4.2　解析モデル

す。対象性を考慮した 1 ／ 4 モデルで、要素には 8 接点三次元熱伝導要素（要素数 10932、節点数 12757）を用いた。解析には MENTAT ／ MARC を用い、熱伝達率は各部材の内外面について設定するようにした。

解析は、まず金型温度 250 ℃での実測値と解析値が一致するよう熱伝達率を設定し、その値を用いて金型温度 200 ℃、150 ℃の解析を行い、実測値と比較した。

4.3　結果

図 4.3 に金型温度 250 ℃おける金型表面の実測値と解析値の差を示す。初期状態では、特に測定点⑥と⑨において実測値との差が大きくなった。しかし、表面の熱伝達係数をヒーターからの距離により変化させて補正したところ、差を小さくすることができた。傾向として、ヒーターから離れるにつれて熱伝達率を小さくとると実測値に近づいた。

金型温度 250 ℃で得られた熱伝達率を用いて金型温度 200 ℃、150 ℃について解析を行った。各温度における実測値と解析値の差を図 4.4 に示す。異なる温度条件下で得られた熱伝達率を用いても、実測値に対し-1.0 ～ 2.2 ℃程度の値が得られていることが分かる。

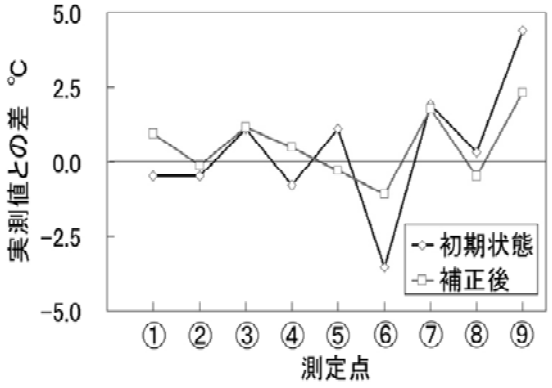

図4.3　実測値と解析値の差（250℃）

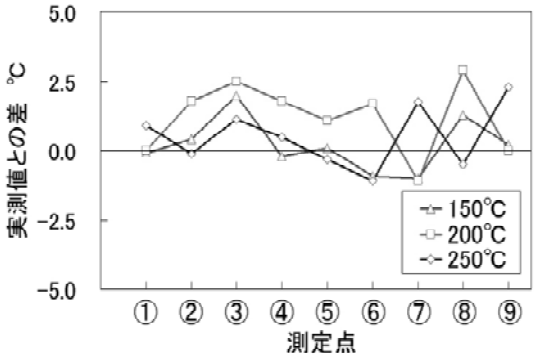

図4.4　各温度における解析結果

5. 大型形状プレス成形品の形状精度評価

5.1　概要

マグネシウム合金の最大の特徴は軽量であることであり、その特徴を生かすためには大型部品への適用が効果的である。このため、マグネシウム合金板とアルミニウム合金板で大型部品の張り出し成形を行い、各成形温度における形状精度を測定してその特徴を比較した。

5.2　試験方法

成形形状は図 5.1 に示すドーム型スクリーンの構成部品で、図 5.2 に示すように大きさ約 780×380mm、ドーム部の曲率は SR1500、板厚 1.2mm である。試験に用いた板材は、AZ31B-O, A5052P-H34 の 2 種で、それぞれの化学組成は表 5.1 に示すとおりである。試験条件は KONGO

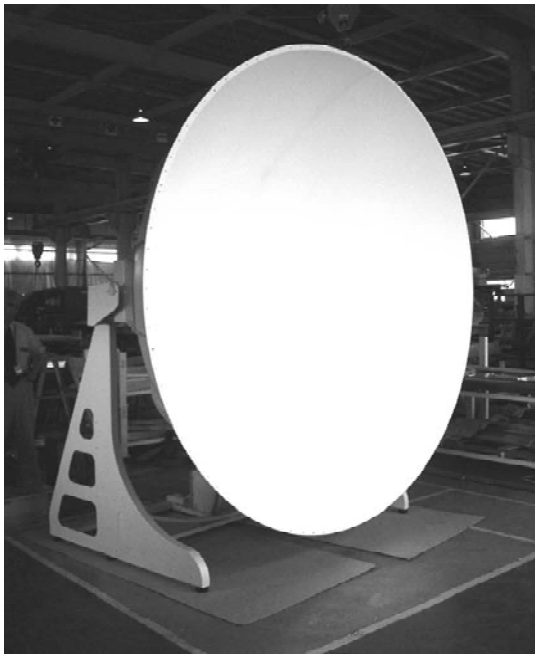

図5.1　ドーム型スクリーン

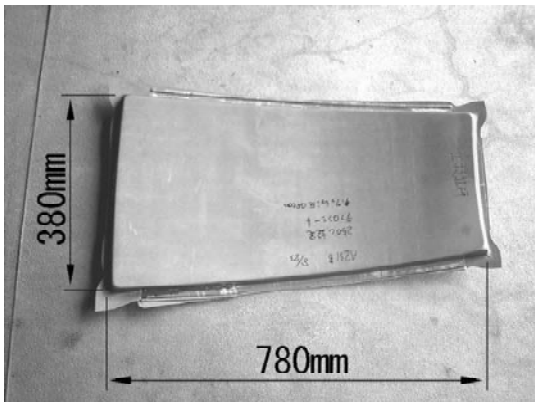

図5.2　大型成形品

表5.1　化学組成　(wt%)

AZ31B	Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni
	2.87	1.00	0.40	0.003	0.01	0.003	0.001

A5052P	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn
	0.07	0.2	0.02	0.01	2.72	0.18	0.06

製 400 トン油圧プレスを用い、金型温度は 150 ℃～ 250 ℃で成形可能な温度で加工し、加工速度は約 1 mm/sec、潤滑には厚さ 0.05mm の PTFE シートを用いた。ダイクッション荷重は AZ31B では 390kN、A5052P では 49kN とした。また、それぞれの加工においてパンチを目的のストローク押し込んだ後、形状固定のため 2450kN の荷重を負荷した。(成形状況：図 5.3)

評価方法は、成形したドーム曲率をH15年度

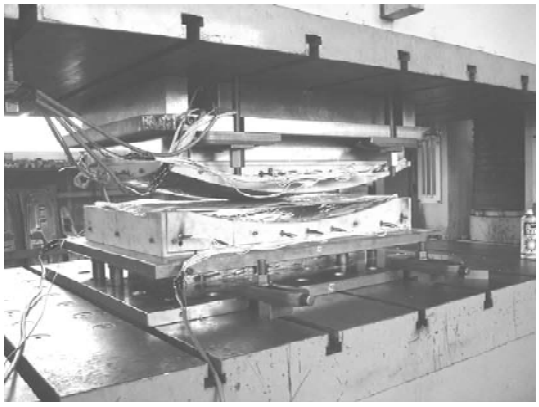

図5.3　成形状況

表5.2　設計曲率半径との偏差　(mm)

材　料	成形温度(℃)	長　辺	短　辺
AZ31B	225	+56	+153
AZ31B	250	+66	+112
A5052P	150	+516	+2180
A5052P	200	+434	+1947

に逐次張り出し成形プロジェクトで開発した機上計測システム[5]で長辺方向と短辺方向の二方向測定し､それぞれ設計値からの偏差を求めた。

5.3　試験結果

AZ31B では成形温度 225 ℃及び 250 ℃で成形が可能で、A5052P では 150 ℃及び 200 ℃で成形が可能であった。それぞれの材料の各成形温度における設計曲率半径との偏差を表 5.2 に示す。A5052P 材は AZ31B に比べてどの成形品でもスプリングバックが大きく、偏差は桁違いに大きな値となった。また A5052P では面内の一部にゆがみが見られた。

6. 装飾加工を加えた表面処理に関する取り組み

従来のマグネシウム製品は防錆防食の観点から、下地処理と塗装を余儀なくされていた。それゆえ、プラスチック製品と区別しにくく、マグネシウム製品はアピール力に欠けていた。平成14年度より当所で行ってきた表面処理の研究の主たる目標は、マグネシウム製品の本来の金属表面を見せることによる高付加価値化（高級化）を図ることであった。研究開発の結果、新たな陽極酸化技術（マグシャイン）を開発し、

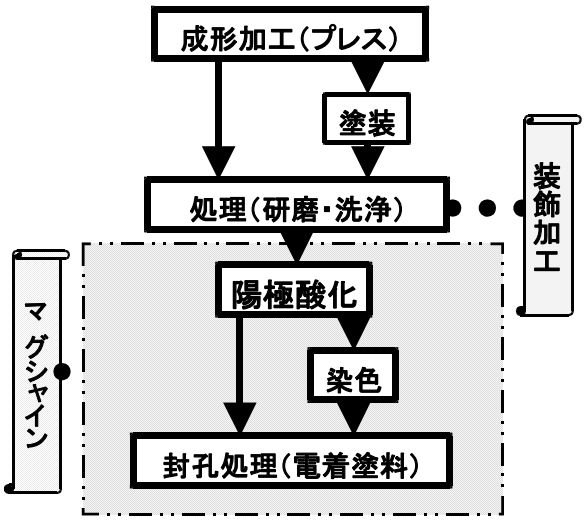

図6.1　装飾加工を含めた表面処理の流れ

図6.2a

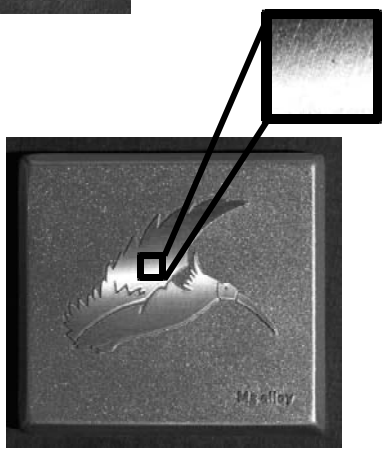

図6.2b

図6.2　処理例
（図6.2a　新潟県ロゴ　　図6.2b　朱鷺）

図 6.1 にある一連の工程を組み立て、金属光沢を持った表面処理が完成した。

前処理には

① ヘアライン研磨
② 鏡面研磨
③ ダイヤカット

等が考えられる。プレス用の展伸材は、素材の状態ですでに研磨してあり、それだけでもマグシャインによる金属表面を表現できるが、前処理（装飾研磨）を加えることでさらに光沢がまし、高級感が引き出せる。

図 6.2 にダイヤカットを含めた処理の一例を示す。全体塗装後、予め刻印によって凸になっている部分をダイヤカットする。後工程のマグシャインはアルカリ性の溶液を用いた浸せき処理であるが、40 ℃程度の比較的低温で行うため、塗装面にほとんど影響はない。よって削った部分のみマグシャインが処理され、デザイン性のある表面処理になる。また、染色に関してもマスキング処理により色分けができることを確認している。

5. 結　　言

(1) マグネシウム合金板を使った再絞り実験を行い、成形温度 200 ℃～ 225 ℃の間で再絞り率 60%の成形が可能となることがわかった。とくに、再絞り率 60%では絞り高さ約 90mm と非常にアスペクト比の高い加工が可能となった。

(2) マグネシウム合金の新しい成形性評価方法として温間スプリングバック評価試験を実施し､その有効性を確認することができた。また張力がスプリングバックに及ぼす影響は温度に依存しないことが分かった。

(3) 金型加熱時の温度分布解析を行い、実測値と解析値の比較により、熱伝達率を変化させることで熱対流の影響を解析に反映できることが分かった。また、異なる温度条件下で得られた熱伝達率を用いても実測値に近い解析値を得ることができることも分かった。今回は外面を２分割して熱伝達率を設定したが、ヒーターからの距離との相関を明確にして設定することで、ヒーター配

置を変えた場合であっても精度良く解析が行えるようになり、ヒーター配置の最適化にかかる時間を短縮できると考えられる。

(4) AZ31B 及び A5052P 材で、大きさ 780×380mm、SR1500 のプレス成形実験を行い、成形形状を比較した結果、設計値に対する偏差は AZ31B 材の方が小さく、形状凍結性が高いことがわかった。また、同じ金型で成形温度やブランク形状を変更しても A5052P では同様の形状精度が得られないことがわかった。

(5) マグネシウム表面に装飾加工を加えた表面処理を施すため、当所の開発した陽極酸化処理（マグシャイン）に予め研磨等の装飾加工を加えた実験を行い、製品の高光沢、高級化、意匠性向上の可能性を確認した。

参考文献

1) 日本塑性加工学会編,”塑性加工技術シリーズプレス絞り加工”, コロナ社,1994,p38.

2) 相田収平, 田辺　寛, 須貝裕之, 高野　格, 大貫秀樹, 小林　勝,”AZ31 マグネシウム合金板の深絞り成形”, 軽金属, 第 50 巻, 第 9 号,2000,p456-461.

3) 早川ら,”マグネシウム合金による複雑形状部品の鍛造・プレス加工技術の確立と用途開発(第 2 報)”, 新潟県工業技術総合研究所 工業技術研究報告書,No.33,2004,p7-13.

4) 高野ら,”マグネシウム合金による複雑形状部品の加工技術の確立と用途開発(マグネシウム合金板による深絞り成形性)”, 新潟県工業技術総合研究所　工業技術研究報告書, No.29,2000,p19-23.

5) 丸山ら,”逐次張出し成形機と成形法に関する研究”, 新潟県工業技術総合研究所　工業技術研究報告書, No.33,2004,p14-19.