

マグネシウム合金における塑性加工と アークスポット溶接の条件についての考察

溝上穹*, 鎌谷恵衣*, 宮本博司*, 水田来悟*, 尾崎充紀,
島田大嗣, 福田龍一, 須田敦, 谷口幸典, 福岡寛

A Study on Conditions of Plastic Working and Arc Spot Welding
in Magnesium Alloys

Sora MIZOKAMI*, Mei KAMATANI*, Hiroshi MIYAMOTO*, Raigo MIZUTA*,
Mitsunori OZAKI, Hirotsugu SHIMADA, Ryuichi FUKUDA,
Atsushi SUDA, Yukinori TANIGUCHI, Hiroshi FUKUOKA

本取組は奈良工業高等専門学校内の学生向け活動支援「学生アイデアチャレンジ（以下、SICと略す）」の支援のもと、本校機械工学科主導の有志集団 MeCafe（Mechanical+Cafeの造語、メカフェ）を活動母体として、マグネシウムを用いたラジコンカーの製作を行った。本取組および製品は、第32回学生マグネシウムデザインコンテストで第三席を受賞した。なお、本取組で作成するマグネシウムラジコンカーはマグネシウムの特性を生かした軽量な車体であるためSDGsの7.3である「2030年までに、世界全体のエネルギー効率を倍増させる」の達成に貢献する。

1 緒言

SDGsの7.3とは『2030年までに、世界全体のエネルギー効率を倍増させる』という達成目標である¹⁾。また日本自動車工業会によれば2021年の世界全体の四輪車生産台数は8014万6千台であり、生産台数は年々増加している²⁾。そのため四輪車のエネルギー効率を倍増させることは持続可能な社会を実現するためには必要不可欠である。国土交通省によれば四輪車からのCO₂排出量は我が国全体の約2割占めており、CO₂排出量の削減のためにも自動車の燃費性能を改善させることが極めて重要であるという³⁾。燃費性能向上のためには、内燃機関の燃焼効率の改善や駆動ロスの低減、加速に必要なエネルギーを減らすための軽量化や空気抵抗の削減など様々な改良が必要になる。その中でも私たちは車体の軽量化に着目した。本研究では実用金属で最も軽量のマグネシウムを自動車のボディに使用することで車体の軽量化をはかる。マグネシウムを使用する理由としては、高い比強度、比剛性、耐くぼみ性、リサイクル性、振動吸収性を有することから自動車の材質として適切であると判断したからである。しかしマグネシウムが持つ欠点として延性と熱容量の小ささ、熱伝導の大きさが挙

げられる⁴⁾⁵⁾。これらの性質が塑性加工と溶接を困難にしている。自動車の製作に当たり、塑性加工と溶接が必須であることは言うまでもなく、それがマグネシウム合金を使用した自動車開発の妨げになっている。そこで本研究では実験的に本校のシンボルとなっているノースアメリカンT6練習機の1/22モデルとしたボディを難燃性マグネシウム合金で製作し、どうすればマグネシウム合金に塑性加工と溶接を施すことができるのかについて調べる。

2 塑性加工

2.1 事前調査

塑性加工を施したボディ部品を製作するにあたって、熱処理や加工を施さない状態でマグネシウムを曲げ、どのくらいの変形やスプリングバックが生じるかなどの機械的性質について調査する必要がある。そこで未処理のマグネシウム合金を人力で曲げる。まず板厚0.5mmの板材をφ80mmの軸を使って巻き付ける。人力で円筒に成形することは可能であるが、スプリングバックが大きいためその形状を保持したまま動かすことはできない。しかし手を離した後は緩くRがついた扇形に塑性変形した。次に板厚0.5mmに

* 機械工学科4年

板材をφ 30 mmの軸を使って巻き付けた。人力で円筒に成形することができなかった。また無理に加工したため材料が歪んでしまい、異音が鳴ったのち割れた。最後に板厚 1.0 mmの板材をφ 80 mmの軸を使って巻き付けた。完全に円筒に成形することはできなかったが、手を離れた後はφ 30 mmの軸に沿う形でVの字に塑性変形した。上記の結果を表1にまとめる。

表1. マグネシウム合金の変形結果

板厚(mm)	軸径(mm)	成形	形状保持	塑性変形
0.5	φ 80	可能	不可能	微量
0.5	φ 30	破断	——	——
1.0	φ 80	不可能	不可能	微量

2.2 温間成形

未処理のマグネシウム合金での成形が難しいと判断したため、電気炉で加熱した後に鋼材で巻き付けて成形する実験を行う。マグネシウム合金であるAZ31はフランジ温度225℃で成形性が最も向上することから⁵⁾、まず230℃まで温めた板厚1mmの板材にφ 16mmの鋼材を押し付けた。しかし成形できず、材料が破断した。次に加熱温度300℃まで上げφ 22mmの鋼材を押し付けたところ半円に成形できた。最後に加熱温度370℃まで上げφ 20mmの鋼材を押し付けたところ、図1の右側の半円に示す通りきれいに半円に成形できた。上記の実験結果を表2に示す。



図1. 370℃まで加熱後温間成形した板材

表2. 温間成形実験結果

板厚(mm)	軸径(mm)	温度	成形
1	φ 16	230℃	破断
1	φ 22	300℃	半円
1	φ 20	370℃	半円

しかし今回行うような温間成形は、加熱した板材を革手袋をした人間が鋼材を押し付け成形するため、火傷の危険を伴う。よって安全な加工方法を検討する必要がある。

2.3 焼なまし

温間成形がかなりの危険を伴うものであったため電気炉を用いて焼なましを行った。40分かけて400℃まで加熱したのち、40分保持、40分徐冷という条件で焼なましを行った。焼なましを行うことでφ 20mmの鋼材で材料を半円に成形することができた。図2は比較的薄い板材を曲面に加工することが可能な3本ロールベンダーである。この器具を用いて焼なましを行った材料を円筒形状に加工した。成形したボディの部品を図3に示す。

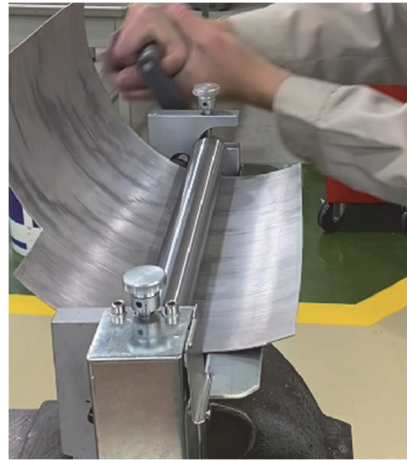


図2. 3本ロールベンダー

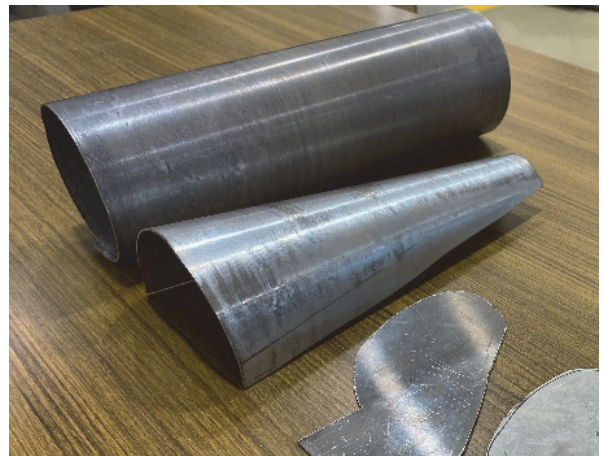


図3. ボディ部品

2.4 深絞り加工

溶接しろを考慮し、φ 80mm、深さ20mm、絞り比1.5のカップの成形を目指した。そこで材料がどの程度の加圧力で絞れるのか、もしくは破断するのかを調査する必要があるため、万能試験機を用いて圧縮試験を行う要領で深絞り加工を行った。図4に今回使用したパンチとダイを示す。パンチはφ 75 mmの鋼材、ダイはφ 80 mmの真鍮を

用いている。なお、 $\phi 120$ mm、板厚 1 mm の円形材料を使用したため、クリアランスは 1.5 mm である。試験片は 0.7 tonf を超えたあたりから異音が鳴り始め 1 tonf でせん断した。破断した試験片を図 5 に示す。原因としてパンチとダイの中心が合っていないことや、ダイの面取りを行っていないことが考えられる。よって C2 の面取り

を行い再度加工した。しかし 2 tonf を超えたあたりで突如材料が波打ちそのまま破断した。試験片の様子を図 6 に示す。そこで、材料のせん断を妨げる形状でなおかつ材料が取り外せなくなった際に破壊できるように、3D プリンターでプラ型を製作し深絞り加工を行うことにした。今回使用したプラ型を図 7 に示す。



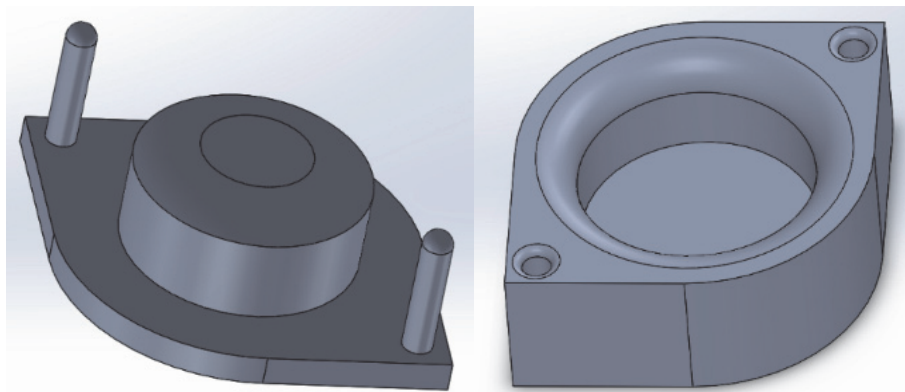
図 4. 使用したパンチ (左) とダイ (右)



図 5. 深絞り実験結果 (1)

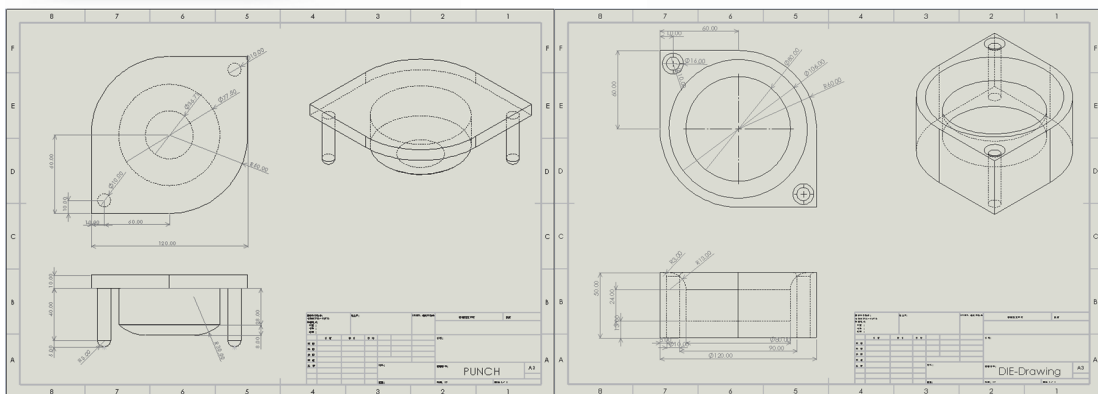


図 6. 深絞り実験結果 (2)



(a) パンチ

(b) ダイ



(c) パンチ図面

(d) ダイ図面

図7. 3D プリント製プラ型

図7に示したプラ型では中心の位置合わせを行う為にガイド棒を両端に取り付け、パンチには勾配を、ダイのふちには面取りを行う。一度型の性能を確かめるためアルミニウム合金で実験を行ったが問題なく絞れたことからプラ型の性能は検証済みである。しかしマグネシウムで絞りを行うと1 tonf まではアルミニウム合金と同じように絞れたにも関

わらず1.2 tonfを超えたあたりから異音が鳴り始めた。2 tonf まで荷重をかけたが、図8に示すようにダイ内で散失していることが分かった。この実験を通してマグネシウム合金を深絞り加工することは上記の条件では無理であると判断した。

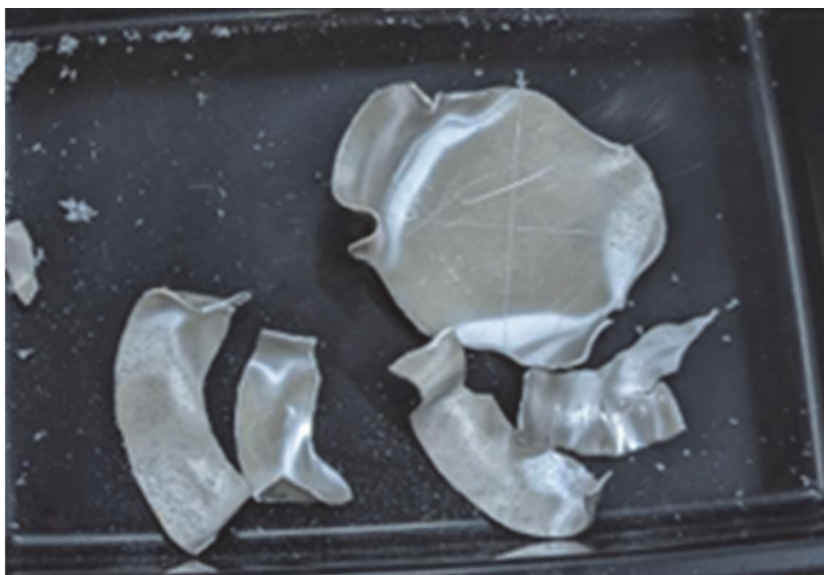


図8. ダイ内で散失したマグネシウム合金

3 アークスポット溶接

通常アークスポットとダウンスロープの時間は等しい。またクレータフィラ電流とは溶接電流の30%の出力の電流であり、出力がクレータフィラ電流に達するまで電流は流れる。以下にマグネシウムの特性が顕著に示された条件と溶接の結果を表3に示す。

当初 passpo と呼ばれるアークスポット溶接機を使用した。passpo は電流が 45kA, 電圧が 100V 流れる。しかし鋼用のスポット溶接機であった為、接合することができなかった。よって TIG アークスポット溶接機を使用し、溶接電流、アークスポット時間、ダウンスロープ時間の値を調整することで接合を試みた。総実験回数は 32 回である。溶接電流、アークスポット時間、並びにダウンスロープ時間の関係は図9に示す。

表 3. TIG アークスポット溶接実験結果

実験回数(回)	アークスポット[sec]	ダウンスロープ[sec]	溶接電流[A]	結果
17	0.5sec	0.5sec	170A	○
20	0.5sec	0.5sec	150A	○(剥がすことは可能)
26	0.5sec	1.5sec	160A	○
30	0.5sec	1.0sec	155A	○
32	0.25sec	1.5sec	170A	◎

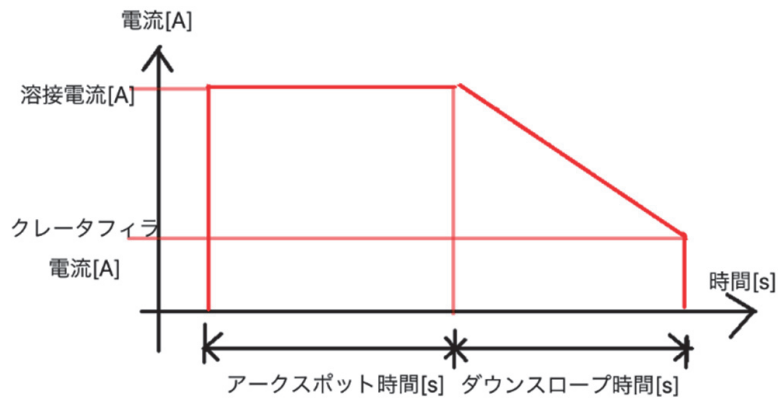


図 9. 電流並びに時間の名称

上記の実験から溶接電流 170A, アークスポット時間 0.25 秒, ダウンスロープ 1.5 秒の溶接条件がマグネシウムの接合に最適であった。そこで上記の条件で部品を接合し

た。曲面の接合は曲率を合わせる必要があり、精度を必要とするが、上記の条件であれば平面、曲面ともに図 10 に示すように接合することができた。また、連続で溶接を行う



図 10. 溶接痕

と材料の温度が上がり、溶接時に材料が溶けてしまうため注意しなければならない。

4 結言

焼なましを行うことでマグネシウム合金を用いた曲げ加工ができた。しかし深絞り加工は失敗に終わり、マグネシ

ウムの塑性加工を行うという目的を達成したとは言い難い。しかし TIG アークスポット溶接での接合条件を発見できたことは将来の産業に寄与できたのではないかと考える。最後に今回塑性加工と溶接を用いて製作した難燃性マグネシウムラジコンカーのボディを図 11 に、第 32 回学生マグネシウムデザインコンテスト授賞式の様子を図 12 に示す。

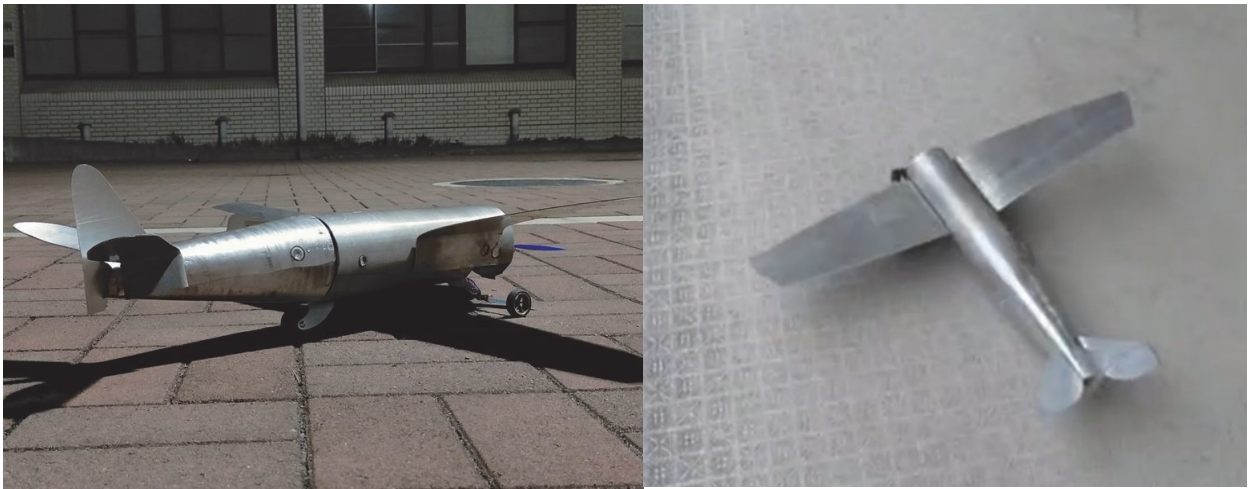


図 11. 完成した製品



図 12. 第 32 回学生マグネシウムコンテスト授賞式の様子

謝辞

本プロジェクトは、奈良高専学生アイデアチャレンジ(SIC)の支援を受けたものです。専門知識を要する加工等においては、本校教育研究支援室の技術専門員及び技術専門職員の皆様、並びに本校地域イノベーションコンソーシアム(NaRIC)一般会員の本ノ本株式会社の社員の皆様の支援を受けたものです。活動に関する総合的な支援は、本校機械工学科科内広報担当教員が主導する正課外活動組織MeCafeの援助を受けたものです。心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) unicef 公益財団法人 日本ユニセフ協会：SDGsってなんだろう？ | SDGs クラブ | 日本ユニセフ協会（ユニセフ日本委員会）, available from < <https://www.unicef.or.jp/kodomo/sdgs/about/> >, 参照日（2023年2月14日）。
- 2) 一般社団法人日本自動車工業会：世界生産・販売・保有・普及率・輸出 | JAMA - 一般社団法人日本自動車工業会, available from < <https://www.jama.or.jp/statistics/facts/world/index.html> >, 参照日（2023年2月14日）。
- 3) 国土交通省：自動車：自動車燃費目標基準について - 国土交通省 (mlit.go.jp), available from < http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000005.html >, 参照日（2023年2月14日）。
- 4) 黒田大介：機械・金属材料学, 実教出版,(2015)
- 5) 社団法人日本塑性加工学会：マグネシウム加工技術：株式会社コロナ社：(2004年)。
- 6) 真鍋健一, 下村修：AZ31 マグネシウム合金の温間深絞り特性に及ぼす温度および絞り速度の影響, 軽金属, 第56巻, 第10号, p.521.