

# マグネシウム合金のしごき加工技術の開発

ポリテクカレッジ新潟  
(北陸職業能力開発大学校附属  
新潟職業能力開発短期大学校)

石田 真一・新宅 香・星野 聡  
松本 拓哉・宮崎 竜一・弓納持 正博\*

## 1. はじめに

マグネシウム合金の比重は軽く、AZ31が1.78でアルミニウムのおよそ2/3にあたります。また、比強度、電磁波シールド性、振動減衰能、耐くぼみ性、リサイクル性などの特性がたいへん優れた金属材料です。

それらの優れた特性を持つマグネシウム合金の成形においては冷間におけるプレス成形性に難があるため、かねてよりダイカストやチクソモールディングによる成形方法が一般的に採用されてきました。しかしながら、生産効率の点ではプレス成形加工は他の加工法に比べ優れており、プレス加工にはマグネシウム合金の成形法として高い期待が寄せられています。

このようななか、数年前より新潟県において産学官あげてマグネシウム合金のプレス加工技術を始めた各種の加工技術の研究開発が進められ、多くの成果が生み出されているところです。

一方、絞り加工品のさらなる軽量化や外観品質の向上に寄与するしごき加工についてはその技術開発に取り組んでいるところが特に見受けられず、平成14年の秋ごろ、にいがた県央金型協同組合の会員企業との話合いのなかからそのしごき加工技術の開発について当校において取り組むことになりました。

実験の主目的はマグネシウム合金板のしごき加工技術の開発ですが、しごき加工を行うためには絞り

加工品をまず準備しなければならないため、絞り加工についても実験を行うことにしました。

## 2. 実験機器

使用したプレス機械は株式会社アミノ製小形万能塑性加工機です。油圧の複動プレス機であり、インナスライドとアウトスライドおよびダイクッションはそれぞれ個別に駆動することができます。

## 3. 実験材料

今回、使用した実験材料はマグネシウム合金板AZ31-O 板厚t1.1mm です。JISのマグネシウム合金板1種MP1に相当する材料です。化学成分ではMgにAlがおよそ3%、Znがおよそ1%、その他Mnなど数種類の元素が微量に合金されています。

## 4. 金型の主要寸法

### 4.1 絞り金型の主要寸法

- ・ダイ穴径→ $\phi$ 42.6mm
- ・ダイ肩半径→6.4t (7mm)
- ・パンチ肩半径→9.1t (10mm)
- ・パンチ径→ $\phi$ 40.0mm
- ・パンチとダイのクリアランス→1.2t (1.3mm)  
(t:板厚)

\*現・ポリテクカレッジ石川

## 4.2 板厚均一化しごき金型の主要寸法

- ・ダイ穴径→ $\phi 41.6\text{mm}$
- ・ダイのしごき部  
ダイ半角 $10^\circ$ の直線部と半径 $20\text{mm}$ の接円弧
- ・パンチ肩半径→ $9.1t$  ( $10\text{mm}$ )
- ・パンチ径→ $\phi 39.6\text{mm}$
- ・パンチとダイのクリアランス→ $1.0\text{mm}$

## 4.3 しごき金型の主要寸法

- ・ダイ穴径→ $\phi 40.0\text{mm}$
- ・ダイのしごき部  
ダイ半角 $10^\circ$ の直線部と半径 $5\text{mm}$ の接円弧  
ダイ半角 $15^\circ$ の直線部と半径 $5\text{mm}$ の接円弧  
ダイ半角 $20^\circ$ の直線部と半径 $5\text{mm}$ の接円弧
- ・パンチ肩半径→ $9.1t$  ( $10\text{mm}$ )
- ・パンチ径→ $\phi 38.6\text{mm}$ ,  $\phi 38.8\text{mm}$ ,  $\phi 39.0\text{mm}$
- ・パンチとダイのクリアランス→ $0.7\text{mm}$ ,  $0.6\text{mm}$ ,  $0.5\text{mm}$

## 5. 実験因子

### 5.1 絞り加工の実験因子

- ・絞り比→ $2.3$ ,  $2.5$ ,  $2.7$
- ・絞り加熱温度 ( $^\circ\text{C}$ ) → $200$ ,  $250$ ,  $300$

### 5.2 しごき加工の実験因子

- ・しごき加工後の板厚減少率 (%) → $30$ ,  $40$ ,  $50$
- ・しごき加熱温度 ( $^\circ\text{C}$ ) → $200$ ,  $250$ ,  $300$
- ・ダイ半角 ( $^\circ$ ) → $10$ ,  $15$ ,  $20$

## 6. 実験装置の概要

### 6.1 絞り加工実験装置

絞り加工実験装置は絞り加工用金型と温度計測制御装置、水冷装置により構成されています。図1は絞り加工用金型をプレス機械に取り付けたものです。

### 6.2 しごき加工実験装置

しごき加工実験装置はしごき加工用金型と温度計測制御装置により構成されています。図2はしごき加工用金型をプレス機械に取り付けたものです。

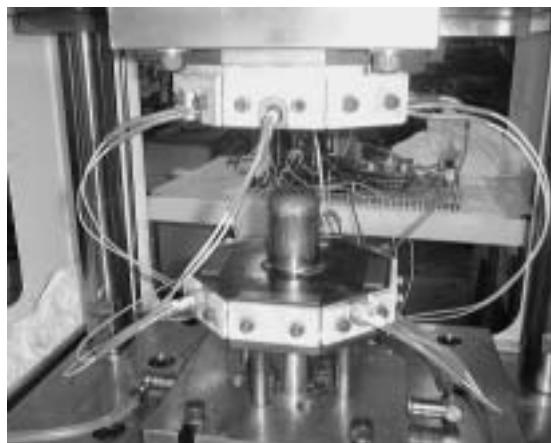


図1 絞り加工実験装置

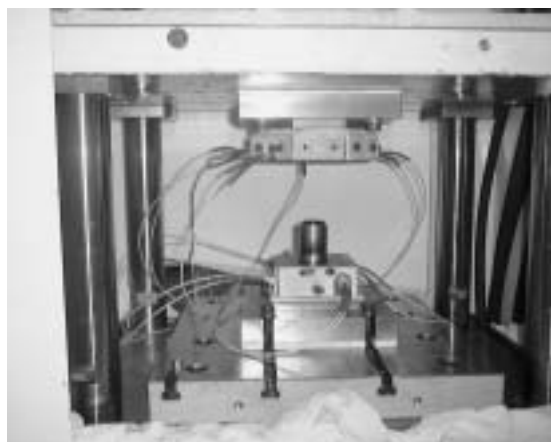


図2 しごき加工実験装置

### 6.3 温度計測制御装置

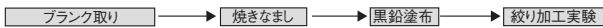
本実験装置において絞り金型ではダイとプランクホルダを、また、しごき金型ではダイと加熱プレートの温度制御を行う必要があるため、ヒータで加熱、熱電対で温度計測を行い、温度調整器で所定の温度を保つようにしたものです。

## 7. 実験に至るまでの作業の流れ

図3は絞り加工およびしごき加工の実験に至るまでの作業の流れを示したものです。焼きなましは電

気炉を用い加熱温度300℃、保持時間30minの条件で行いました。また、潤滑剤として黒鉛を使用しました。

〔絞り加工実験手順〕



〔しごき加工実験手順〕

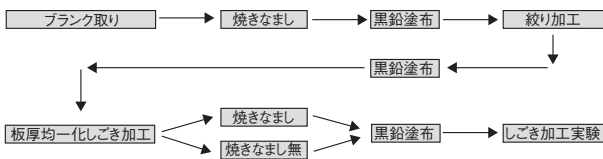


図3 実験に至るまでの作業の流れ

## 8. 絞り加工実験結果について

### 8.1 絞りの可否

各実験条件において5回ずつ絞り加工を行った結果を示した表です。

表1 絞り可否に及ぼす絞り比・絞り温度・絞り速度の影響

温度(℃)	絞り比2.3 (ブランク径 92mm)	絞り速度 (mm/sec)	絞り比2.5 (ブランク径 100mm)	絞り速度 (mm/sec)	絞り比2.7 (ブランク径 108mm)	絞り速度 (mm/sec)
250-1	×	30.1	×	4.6	×	24.1
250-2	×	20.2	×	19.2	×	22
250-3	×	5.6	×	4.7	×	26
250-4	×	22.8	×	5.6	×	21.9
250-5	×	12.5	×	3.2	×	26.7
250-1	○	17	×	15.3	×	18.5
250-2	○	13.1	○	9.1	×	14.4
250-3	○	14.7	×	13.9	×	14.7
250-4	○	24.7	○	12.9	×	14.1
250-5	○	16.7	○	11.8	○	9.9
300-1	○	18.4	○	17.8	○	10
300-2	○	19.2	○	16.3	×	12.3
300-3	○	20	○	15.8	○	7.1
300-4	○	18.8	○	14.9	○	6
300-5	○	21.8	○	14.8	○	4.2

参考 絞り比=ブランク(素板)直径/絞り製品直径(バッチ直径)

- ・絞り比2.3では250℃以上の温度ですべて絞ることができました。
- ・絞り比2.5のものでは250℃の温度で絞り速度が12.9mm/sec以下のものについて絞ることができました。300℃ではすべて絞ることができました。
- ・絞り比2.7のものでは250℃の温度で最も絞り速度の遅い9.9mm/secのもののみ絞ることができ

ました。300℃では絞り速度が10mm/sec以下のものが絞れました。このように加工温度を300℃まで上げ、絞り速度を10mm/sec程度以下にすることにより絞り比2.7の絞り加工が可能になりました。

以上より、絞り加工では加工温度とともに加工速度も限界絞り比に影響を与えていることがわかりました。

### 8.2 絞り加工品

絞り加工品の写真です。



図4 絞り加工品

- ・一番左側のものは室温で絞ったものです。加工直後に割れました。
- ・二番目のものは絞り比2.3、200℃で加工したものです。やはり加工直後に割れました。
- ・中央のものは絞り比2.3、250℃、その右隣のものは絞り比2.5、250℃、右端のものは絞り比2.7、250℃で加工したものです。それぞれ絞ることができました。

### 8.3 板厚の変化

板厚の変化については絞ることのできた加工品を各加工条件より1個ずつ抽出し、加工品の各高さにおける円周上の4ヵ所について板厚を測定し、記録しました。なお、ac部は素材の圧延方向、bd部はその直角方向に該当します。300℃で絞った絞り比2.3、2.5、2.7のものの板厚の変化をグラフにしたものを示します。グラフの横軸は加工品の底部からの高さ、縦軸には板厚をとっています。

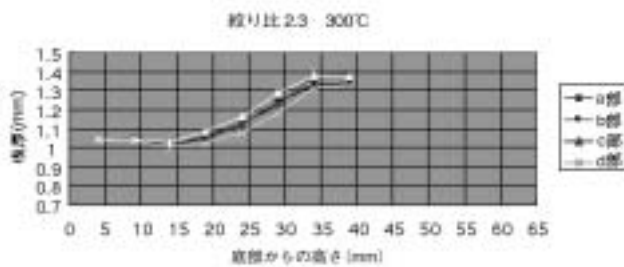


図5 絞り比2.3, 加工温度300°Cの板厚の変化

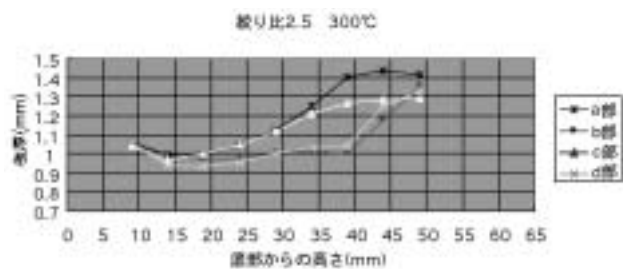


図6 絞り比2.5, 加工温度300°Cの板厚の変化

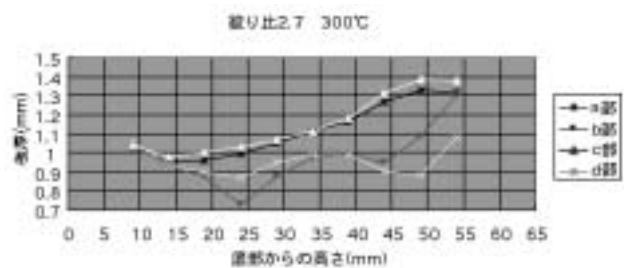


図7 絞り比2.7, 加工温度300°Cの板厚の変化

#### 8.4 絞り加工のまとめ

- ・絞り比2.3のものでは250°C以上の加工温度で絞ることができました。
- ・絞り比2.5, 2.7のものでは250~300°Cにおいて絞り速度が10mm/sec以下のものでも絞ることができました。
- ・絞り比が大きくなると板厚のばらつきが大きくなり、特に厚みもかなり薄くなっている部分があります。

#### 9. 板厚均一化しごき加工について

板厚均一化しごき加工に供した絞り加工品は絞り比2.3, 絞り加工温度300°Cのものです。この条件で加工したものは、板厚の薄くなっているところと厚く

なっているところでは最大で0.4mm程度の差があり、そのままの状態ではしごき加工実験に供することができないと判断しました。そのために板厚均一化しごき加工を行いました。この工程ではすべて250°Cの温度で加工しました。

加工後の板厚をグラフで示します。

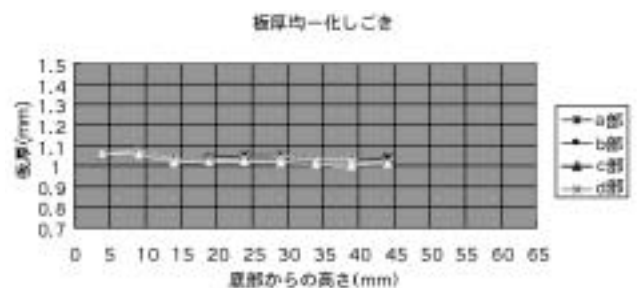


図8 板厚均一化しごき加工後の板厚の変化

実際にしごかれているのは底部から9mmほどの高さのところからであり、しごき加工後は板厚がほぼ1mm程度になっています。

### 10. しごき加工実験結果について

#### 10.1 しごき加工実験条件の組み合わせ

表2 しごき加工実験条件の組み合わせ

板厚減少率(%)	ダイ半角(°)	実際の金型寸法より算出した板厚減少率(%)	温度(°C)
30 (板厚0.7mm)	10°	28.6	200, 250, 300
	15°	27.2	200, 250, 300
	20°	24.7	200, 250, 300
40 (板厚0.6mm)	10°	39.0	200, 250, 300
	15°	37.6	200, 250, 300
	20°	35.0	200, 250, 300
50 (板厚0.5mm)	10°	49.4	200, 250, 300
	15°	48.0	200, 250, 300
	20°	45.4	200, 250, 300

各しごき加工実験条件で焼きなましを施したものと施さないものそれぞれ2個ずつ実験を行いました。板厚均一化しごき加工用金型およびしごき加工実験用金型の実寸法より求めた板厚減少率を算出してみ

ると、当初予定していた板厚減少率30%、40%、50%の値とは少し差があるため、金型の実寸法より求めた板厚減少率を評価の際に使用しました。

## 10.2 しごき加工品

しごき加工品の写真です。



図9 しごき加工品

- ・左端の写真は絞り比2.3、300℃で絞った加工品です。
- ・2番目のものはその加工品を板厚均一化しごき加工したものです。
- ・中央のものは板厚減少率27%、温度250℃でしごいたものです。
- ・その右側のものは板厚減少率38%、温度250℃でしごいたものです。
- ・右端のものは板厚減少率48%、温度300℃でしごいたものです。

## 10.3 しごき長さ

今回のしごき加工実験では各条件におけるしごき長さから評価を行うことにしました。しごききれたもの（金型の寸法より生ずるしごき長さの制限寸法までしごくことができたもの）としごき加工の途中で割れたものがありますが、途中で割れたものについては割れた時点でのしごき長さを採用しました。左側のものは割れたもの、右側のものはしごききれたものです。評価に用いたしごき長は図の寸法線部分の長さを採用しています。

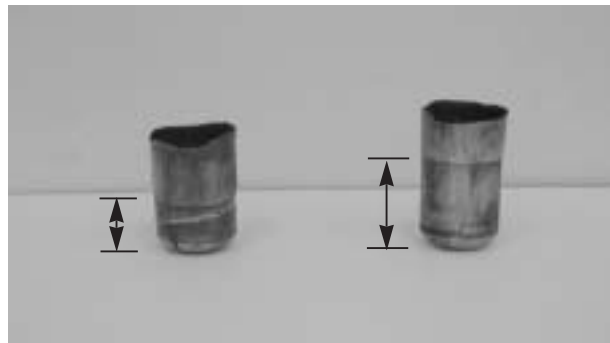


図10 しごき長さ

## 10.4 しごき実験結果

しごき長さに対しては今回の実験因子にあげている加工温度と板厚減少率、しごきダイ角度さらに供試材の熱処理の有無等が影響すると考えますが、それらの中でも大きな影響を与えるものとして、加工温度と板厚減少率が考えられます。その観点から実験結果をグラフ化しました。グラフの横軸は板厚減少率、縦軸はしごき長さをとっています。また、焼きなましを施したものと施さないものとのしごき長さの違いについてもその影響を見るためにグラフを分けて作成しました。

### 10.4.1 焼きなましを施した供試材を使用し、実験を行ったもの

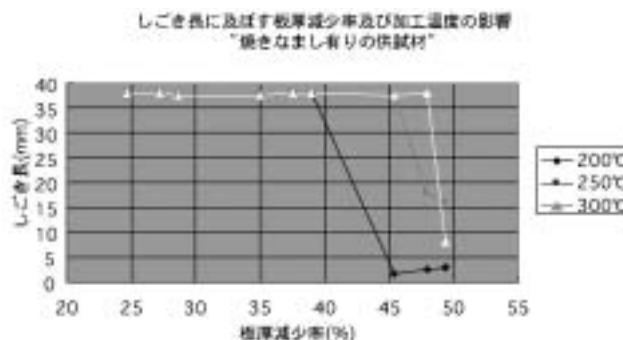


図11 しごき長さに及ぼす板厚減少率および加工温度の影響（焼きなましを施した供試材使用）

- ・板厚減少率が39%以下のものについてはしごき加工温度が200～300℃の範囲ですべてしごき長さが38mm得られています。（38mmが金型寸法より生ずるしごき長さの制限寸法）

- ・板厚減少率45%のものについてはしごき加工温度が200℃のものではしごきの直後に割れましたが、250、300℃の温度ではしごき長さが38mm得られています。それ以上の板厚減少率になると250℃の温度では急激にしごき長さが減少しています。
- ・板厚減少率が48%のものについては300℃の温度でしごき長さが38mm得られています（一応しごきすることができたものの、側壁板厚がかなり薄くなっているところもあり、製品にはなり得ないと思われれます）が、板厚減少率が49%ではしごき長さが急激に減少しました。

#### 10.4.2 焼きなましを施さない供試材を使用し、実験を行ったもの

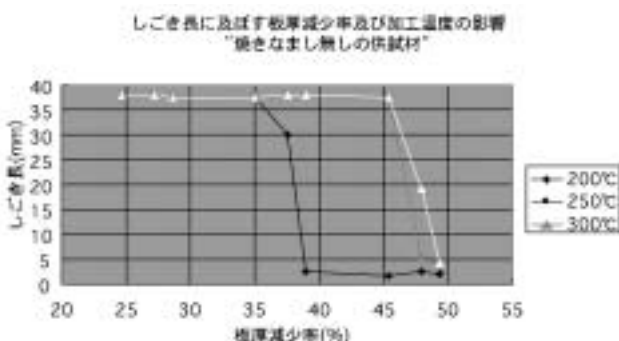


図12 しごき長さに及ぼす板厚減少率および加工温度の影響（焼きなましを施さない供試材使用）

板厚減少率が35%以下のものについてはすべての温度においてしごき長さが38mm得られています。それ以上の板厚減少率では焼きなましを施した供試材に比べると若干しごき長さは短くなっていることがわかります。

#### 10.5 しごき加工のまとめ

- ・しごき加工前に焼きなましを施すとより長いしごき長さを得ることができます。
- ・200～300℃の温度範囲では加工温度の高い方が、おおむね、より長いしごき長さを得ることができます。
- ・今回はしごき部のダイ半角の影響についても評価の対象にしておりましたが、3種類のしごき金型のダイ穴径の実寸法が若干設計寸法と異なっており、その影響について評価することができませんでした。実際には板厚減少率とダイ半角が複合的に作用しあって、今回の各しごき長さが得られたものと考えています。

#### 11. おわりに

マグネシウム合金の絞りやしごき加工について、実験条件の設定、金型の設計製作、金型のプレス機械への取り付け調整、絞り加工やしごき加工実験要領など試行錯誤の連続でした。このようななか、多くの方々のご協力をいただきながらマグネシウム合金の絞りおよびしごき加工の実験を行うことができ、貴重なデータも多く得ることができました。

最後に、今回の取組みに当たって事業主団体研究開発事業としてご指導ご支援をいただいたにいがた県央金型協同組合および会員企業の方々をはじめ他のご協力いただいた方々や総合制作実習のテーマとして熱心に取り組んでくれた学生諸君および関係者の皆さま方にこの場を借りて深く感謝申し上げます。