

マグネシウム合金板の性質とプレス成形性 (特別講演)

西村 尚*

1. まえがき

マグネシウム合金板材の成形加工に関する研究開発は戦前に航空機機体への利用を目指したものが最初であるが、その後、昭和37年に軽金属協会での共同研究が本格的な組織研究であった。その後はまったく省みられずマグネシウムと言えばダイカストがイメージされてきた。最近5年ほど前から軽量性を買われ、携帯用電子機器への利用が促進され、多くの研究がなされるようになってきた。しかし、常温での成形が難しいこと、市販されている合金の種類が少ないこと、価格が高いことなどマグネシウム展伸材が解決すべき課題は多い。ここではマグネシウム合金展伸材である板と管の成形加工法について述べる。

2. 成形に用いられるマグネシウム合金板の種類と成形性指標

マグネシウムは常温でのすべり系の数が少なく、おまけに延性も少ないためにプレス成形性は良好ではない。さらに、圧延も困難なため、現在成形に用いられる合金板の種類は限られている。市販されている成形用合金板の種類と成形性¹⁾は表1に示すようにその種類は少ない。成形性は引張試験、エリクセン試験、深絞りカップテストなどにより評価する。マグネシウムは引張試験の結果からみると、常温での性質では伸びが小さいこと以外はそれほど見劣りはしないが、実際の成形では成形限界は低い。その原因はすべり系にあると思われる。したがって、マグネシウムでは従来か

表1 成形用マグネシウム板材¹⁾

合金	貫別	伸び (%)	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	圧縮耐力 (MPa)
AZ31B	O	26	145	255	
AZ31B	H24	14	220	285	165
HK31A	O	23	140	230	95
HK31A	H24	12	200	255	150
HM21A	T8	11	195	250	145
ZE10A	O	24	175	240	130
ZH11A	H24	10	181	266	
ZK30A	H24	10	195	270	

らある成形性の指標だけでは判断ができないことに注意すべきであろう。

3. マグネシウム合金板の成形性

板の成形性試験法には多くの試験法が存在するが、現在では引張試験をはじめとする数種の試験法に絞って利用するようになってきた。以下に引張試験から求まる成形性指標とマグネシウム板の特徴を示す。

耐力：一般に低い方が成形性はよい。n値が大きくなるので張出し性がよい。加工力も小さい。マグネシウムの耐力は引張りと圧縮で大きく異なることに注意しなければならない。圧縮では引張りの約2分の1である。このことが、以下に述べる各種成形性に影響を与えている。

引張強さ：成形性に直接関係はないがカップ底、壁部の強度を向上できるので耐力が低い場合に深絞り性はよい。

破断伸び：曲げ性、張出し性、伸びフランジ性と相関がある。深絞り性には関係がない。

一様伸び：n値と相関があり張出し性を向上させる。ひずみの一様性を促し、成形品の肉厚分布を一様化できる。

局部伸び：伸びフランジ性と相関がある。マグネシウムは常温ではこの値が小さいので伸びフランジ性はよくない。

n 値：ひずみの一様性に影響する因子である。張出し性とは強い相関がある。曲げ性にも相関がある。マグネシウム合金のn値は小さくはない。図1は代表的合

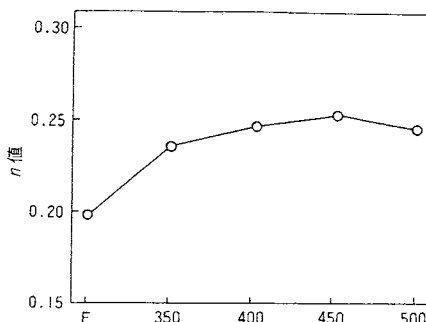


図1 熱処理温度がn値に及ぼす影響²⁾

金AZ31の室温における n 値について熱処理条件を変えて求めたものである²⁾。熱処理温度の上昇にともなって n 値は上昇するが、どのような熱処理条件であってもアルミニウム軟質材並みの値になっている。

r 値：平均 r 値は大きいことに越したことはない。面内異方性 Δr 値は小さい方がよい。一般には深絞り性と相関があるがマグネシウムの場合、 r 値が大きいにも関わらず深絞り性はよくない。すべり系など別の因子

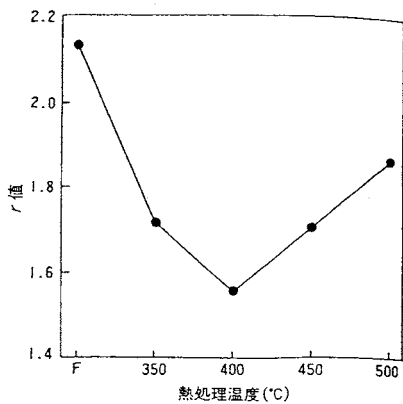


図2 熱処理温度が r 値に及ぼす影響²⁾

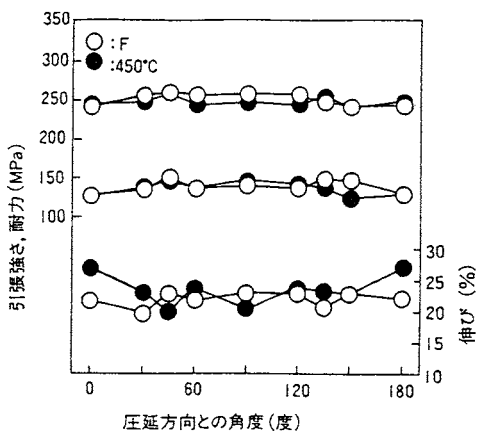
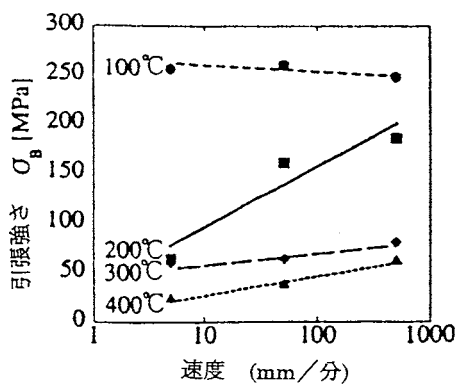
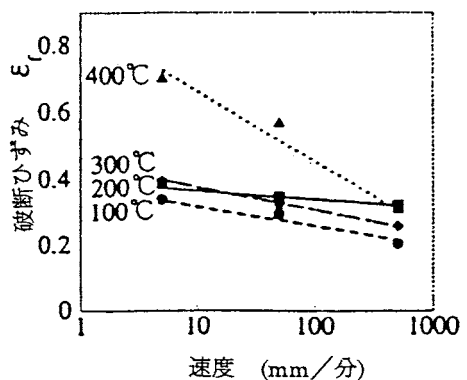


図3 耐力、引張強さ、伸びの方向性²⁾



a) 引張強さ



b) 破断伸び

図4 引張強さと伸びに及ぼす温度と速度の影響⁴⁾

が支配的である。図2はマグネシウム合金の r 値について、熱処理条件を変えて求めた結果を示している²⁾。平均的に r 値は軟鋼並みに高い。F材（熱処理なし）でもっとも高い値を示し、400°Cにおいて最低値を示すがそれでも1.5と高い値を維持している。

引張り特性の方向性：マグネシウムは最密六方格子なので直交異方性ではなく試験片の採取方向も多くなる。図3はAZ31合金を450°Cで1時間熱処理後油焼き入れした試験片を用いて、引張強さ、耐力、伸びの室温における異方性について調べた結果を示している²⁾。F材との比較で示してあるが、熱処理の影響は少ない。また、方向性も特に強くない。この結果からは面内異方性は強くないと判断される。

温度を100°Cから400°Cまでと速度を5~500mm/minに変えたときの引張強さと破断伸びを図4に示す。200°C付近が不安定な温度ですべり系が変化する温度と考えられる。この結果から、200°Cを超すと塑性加工が容易になることが予測される。また、300°Cを超すとひずみ速度依存性が増し、高速での変形が難しくなることが予測される。加工は250~300°Cが適当であろう。この温度領域になると伸びは30%を超えて常温のアルミニウム並みになる。 n 値は低く0.1程度になるため加工硬化は期待できない。変形抵抗は50MPa程度であり加工力は低い。400°Cでは伸びのひずみ速度依存性が大きくなり低速では70%近い値を示す。300°Cにおける荷重~ストローク線図を図5に示す。この図から見ても加工硬化はなく、ひずみ速度依存性が増していることが分かる。最高荷重点が変形の初期に生じる超塑性によく似た線図になっている。

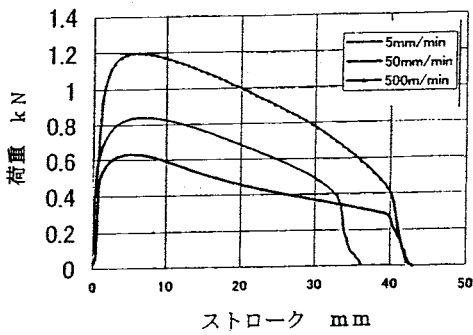


図5 300°Cにおける荷重—ストローク線図

4. マグネシウムの成形加工

4.1 曲げ加工

曲げ加工の限界は最小曲げ半径で評価される引張り側表面に入る割れが主なものである。その他に形状性を表すスプリングバックも重要な評価値になる。外表面に明瞭なわれが入るときの最小曲げ半径/板厚比 (R/t) の値を材料、成形温度ごとに現したのが表2である⁶⁾。温度が上がると伸びが増えるため限界は上がる。熱処理条件も同じく伸びが増えるO材の方が限界は上がる。室温において、純アルミニウムO材では

表2 直角曲げにおける最小曲げ半径⁵⁾ (最小曲げ半径/板厚比(R/t)で表示)

合金	質別	温度 °C						
		20	100	150	200	260	315	370
AZ31B	O	5.5	5.5	4.0	3.0	2.0		
	H24	8.0	8.0	6.0				
HK31A	O	6.0	6.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0
	H24	13.0	13.0	13.0	9.0	8.0	5.0	3.0
HM21A	T8	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	8.0	6.0
	T81	10.0	9.0	9.0	9.0		8.0	6.0
ZE10A	O	3.0	2.0	1.0				
	H24	8.0	8.0	6.0				

表3 直角曲げにおけるスプリングバック⁵⁾

温度 °C	曲げ R/t	AZ31 B-O 度	AZ31 B-H 24 度
20	4	8	10
	5	11	13
	10	17	21
	15	25	29
100	3	4	5
	5	5	7
	10	8	12
	15	13	17
150	2	1	2
	5	3	4
	10	5	7
	15	8	11
230	2	0	0
	5	1	1
	10	2	2
	15	4	4
290	15 まで	0	0

ゼロアールまで曲がることと比較すると、マグネシウムの曲げ性はかなり劣ることが分かる。つぎに、スプリングバックについて述べる。スプリングバック量はある角度に曲げたときの戻り量(度)で表す。スプリングバック量は材料のヤング率(E値)が小さいほど、曲げ角度が減少するほど、曲げアールが増加するほど増大する。また、温度が上昇すると減少する表3はスプリングバック許容角度と温度、曲げアールとの関係を見たものである⁶⁾。マグネシウムは全般としてスプリングバック量は大きい。また、温度の影響が著しいことが分かる。マグネシウムの形状凍結性は悪いと判断される。

4.2 張出し加工

張出し加工は材料の伸び、 n 値と関連して限界が決まる加工法である。試験法としてはエリクセン試験、液圧バルジ試験が用いられる。張出し変形では2軸引張りとなり、加工硬化性(n 値)が重要な役割を持っている。つまり、張出しにより薄肉化した部分の加工硬化(強化)によりまだ変形が進まない部分の変形を促す効果がある材料が張出し性に優れていることになる。変形部と成形部が同一個所になっているのが張出し加工の特徴である。図6はエリクセン試験を温度を

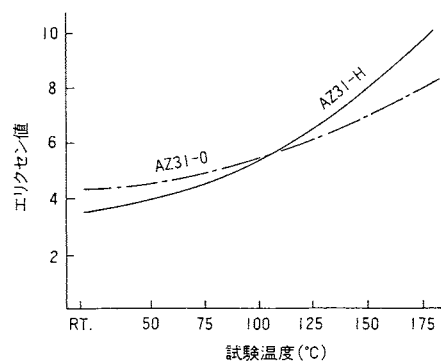


図6 エリクセン値の温度依存性³⁾ (AZ31-O, H24)

変えて実施した結果を示している³⁾。温度の上昇とともに伸びが増加しn値が低下する。常温でのエリクセン値は極めて低く張出し成形が不可能であるように見える。n値や伸びの値からは想像できない低さである。175℃になってようやくアルミニウム硬質材なみの値になる。硬質材の方が温度の依存性は大きい。純アルミニウム軟質材なみの張出し性を得るためにはエリクセン値は10以上、すなわち175~200℃の温度で成形する必要がある。しかし、硬質材では冷間加工によって強さの増大をはかっているため成形する際高温に加熱すれば回復再結晶が起り強度の低下はまぬかれない。従って、強度の低下を防ぐためにできるだけ低温短時間で成形作業を行う必要がある。

4.3 深絞り加工

深絞り加工では、フランジ部は耐力が低く変形力が小さく、成形が終わったカップ側壁部は強度が高い方がよい。そのためには加工硬化により強度の向上と異方性による肉厚減少を防ぐ効果が期待される。n値、r値がともに大きいことが望まれる。伸びは関係なく、耐力が低く、引張強さが大きい材料が望ましい。しかし、マグネシウムの深絞りではフランジエッジ部からの割れという特殊な成形不良が発生し限界値を下げている。r値が1.5以上と大きな値が得られる割には限界深絞り比 ($LDR = D_0 / dp$) は低い。

(ここで D_0 は素板直径、 dp はパンチ径) 室温付近の温度におけるLDRは1.2程度でとても深絞りとはいえない

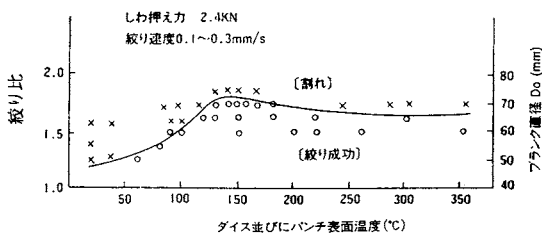


図7 全体加熱方式によるAZ31-H24材の絞り性³⁾

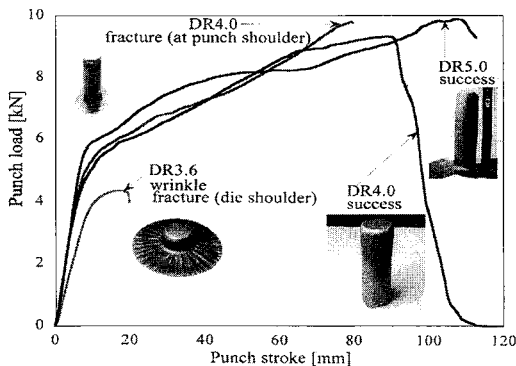


図8 加熱冷却方式におけるパンチ荷重—ストローク線図⁴⁾

い、アルミニウムのLDRは2.0以上でありエリクセン試験同様マグネシウムの常温での成形は厳しいものがある。従って、張出し成形と同様温度を変化させて成形性の改善を図りたいところであるが、張出しと異なって主変形部と成形力負担部とが場所的に異なっているためblank全体を加熱したのでは全体の变形抵抗が下がるだけで加工力は下がるがLDRの改善には際立った効果はない。図7は全体加熱の場合の成形限界をみたものである³⁾。150℃付近でLDR=1.8が得られているがアルミニウムの常温よりも劣っている。ただし、この温度付近で割れの形態が変わってきている。すなわち、フランジエッジ部の割れからカップ底の角部から割れている。

著者らも同じく、フランジ部加熱、パンチ及び側壁部冷却の実験⁴⁾ではLDR=5が得られた。図8は絞り比3.6、4.0、5.0におけるパンチ荷重—ストローク線図である。フランジ部温度は高めで400℃、パンチ速度200mm/min、潤滑はグラファイトである。実験装置は図9に示すようにパンチ冷却と絞り終わった側壁部を水噴射により冷却することが出来るようになっている。今回の実験ではパンチ冷却なしで直接blankに水を噴射する方式をとっている。パンチ冷却なしにした理由は荷重負担部であるパンチ頭部を冷やしすぎると脆性破断してしまうためである。変形中の材料の全ての部分を200℃以上にすることが成功への秘訣である。この点はアルミニウムに比べて成形が難しい。しわ押え力は図10及び表4に示すように可変で行った⁴⁾。しわ押えと水冷の条件をうまく組み合わせることが加工のノウハウになる。次にフランジ外縁からパンチ頭部角までの温度分布がどうあれば最適かの条件を探る実験を行った。実験は2枚のblankの間に熱電対を4本挟み込み加工中の温度を測定した。熱電対の位置

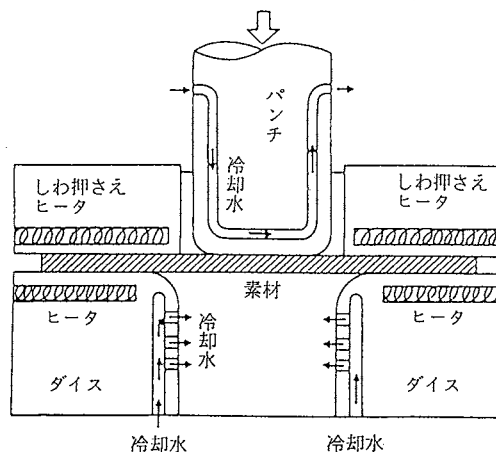


図9 製作した加熱冷却深絞り装置⁴⁾

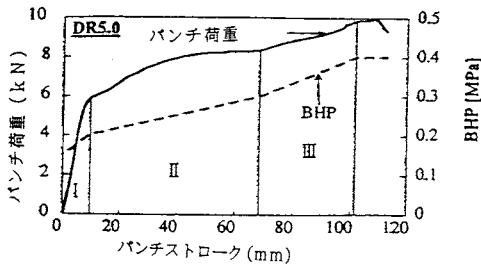
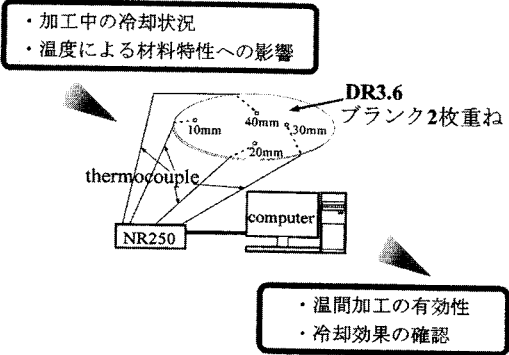


図10 パンチ荷重・しわ押え圧力とパンチストロークとの関係⁴⁾

表4 しわ押え圧力と冷却水のパターン⁴⁾

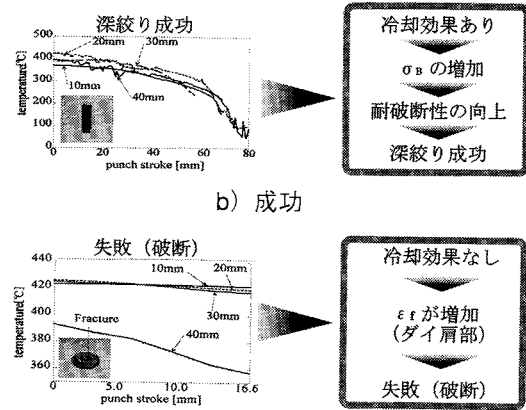
領域	しわ押え圧力 (MPa)	冷却水 (カップ側壁へ直接噴射)
I	0.15~0.20	少量
II	0.20~0.30	中量
III	0.30~0.40	多量

温度分布



a) 温度測定位置

温度分布



b) 成功

c) 失敗

図11 深絞りにおけるブランク内温度分布⁴⁾

はブランク外周から10, 20, 30, 40mmの位置である。図11は深絞り成功した場合と失敗した場合における温度の変化を示している。成功した例ではパンチストローク60mmの間全ての部分が200℃以上になり、60mmを超えた成形終期では200℃以下になるがこの部分では温度の影響は少ない。一方失敗した例では、40mmを除くとほとんど冷却されていないために、加工力を受け持つべきダイ肩部の強度が足りなかったために破断する結果になったものと思われる。

4.4 穴広げ加工

張出し加工と同じような傾向があるものと推測される加工法である。穴縁部での円周方向引張り変形と穴縁部から半径方向へのひずみの勾配が成形限に影響を及ぼす。マグネシウム合金の穴広げ加工限界(伸びフランジ性)は穴広げ試験で評価する。スチール、アルミニウム板材についてはKWIの試験法がある程度確立されている。但し、JISには規定されていない。マグネシウム合金では、試験法の検討から入らなければならない。工具条件が大切ではあるが、常温での脆性的な破壊形態からパンチ、型のアル、穴径などの検討が大切である。但し、常温から300℃まですべての条件に適合する試験法を提案するのは難しそうである。伸

びフランジ試験に関する研究は少ないが我々の研究結果を示す。パンチ寸法と形状はφ33の平頭と60°円錐、穴径を4~24mmとして、常温から300℃までの範囲で穴広がり限界を求めた。実験条件を表5と図12に示す⁵⁾。ダイアールはスチールやアルミニウムではR1であるがマグネシウム合金であることを考慮してR5とした。実験結果を図13に示す⁵⁾。温度の影響で見ると200℃を超えると成形限界は極端に向上してまったく問題のない加工が出来る。パンチ形状で見ると平頭パンチでは、直接穴縁を広げる力を加えることが出来ない。穴径が小さい場合には穴が広がらずに側壁部の張出し変形によって破断が生じるので穴広げ試験にはならない。円錐パンチでは直接穴を広げるので小径の穴であっても広げることが出来る。初期穴径 d_0 によ

表5 穴広げ試験条件⁵⁾

パンチ (mm)	平頭パンチ $d_p = \phi 33$ $r_p = 5$ 円錐パンチ $d_p = \phi 33$ 60°
ダイ (mm)	$d_d = 36$, $r_d = 5$
ブランク (mm)	D_0 : 外径 d_0 : 穴径
	$D_0 = \phi 70$ $d_0 = 4, 8, 12, 16, 20, 24$
潤滑	MoS ₂ (パンチ側のみ)
しわ押え力 (kN)	20
パンチ速度 (mm/s)	0.2
試験温度 (°C)	25, 100, 200, 300

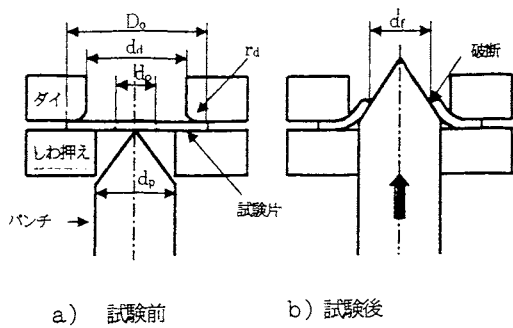
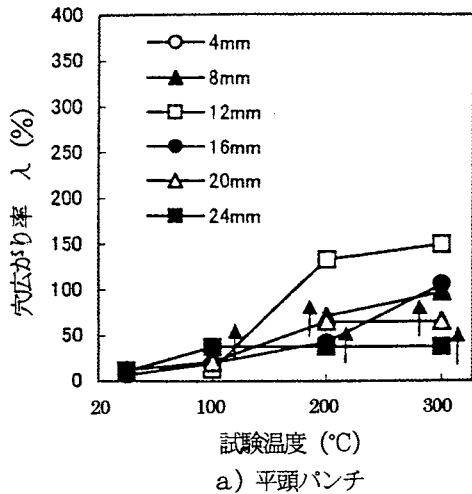
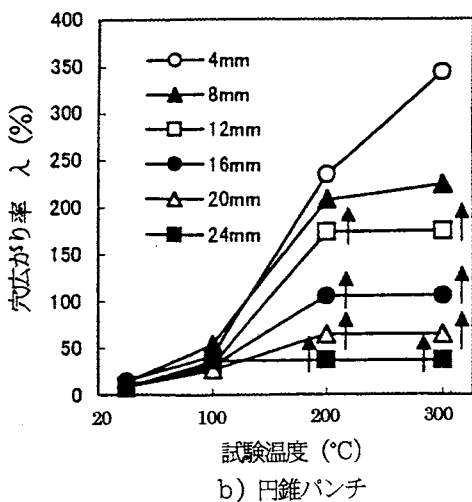


図12 穴広げ試験工具 (円錐パンチ)⁵⁾



a) 平頭パンチ



b) 円錐パンチ

図13 穴広げ試験結果⁵⁾

らず穴縁からの破断または破断なしに広がってしまう変形 (バーリング) となる。穴径の影響は平頭パンチでは4mmの穴径ではすべての温度でダイ肩部破断となり穴広げにならない。また、24mmでは100°C以上で破断なしに穴が広がってしまうバーリング加工になる。円錐パンチでは8mm以下ですべての温度で穴広げ試験が可能で12mm以上では温度の上昇と共にバーリングになる。しかし、すべての条件で穴広がり率が一定にはならず、最適な穴径は見つかっていない。パンチは

円錐パンチの使用を薦める。

5. マグネシウム合金板の成形条件

マグネシウム合金板の成形における条件として、型材、型設計、潤滑、加工温度、加工速度、しわ押えなどの選定が重要である。これらの条件の中にはマグネシウム独特な条件もある。以下にこれらの条件について述べる。

a) 型材

パンチ、ダイ、しわ押えプレートなどの材料を選定することが必要である。成形が室温で行われるか温間で行われるかによって型材は異なる。一般には焼き入れした工具鋼が耐摩耗性から見てベストである。しかし、軟鋼、鋳鉄、アルミニウムなど軟質材も用いることができる。

b) 型寸法

成形にあたって型の寸法を設計しなければならない。型の強度を確保するためにダイプレートの厚みがプランク寸法との関係で表6に示す値が推奨されている。ダイ肩アール、パンチ肩アールの推奨値、パンチとダイのクリアランスの推奨値をそれぞれ表7と表8に示す。

c) 潤滑

潤滑は型と材料の焼き付きを防ぐために極めて重要である。室温から100°Cまでの温度では、鉱物油、グリース、ワックス、が用いられる。メカニカルプレスで早い加工速度の場合で温度が190°C以下の場合には石鹸タイプの固形潤滑材が薦められる。温度が250°Cを超える場合にはコロイド状のグラファイトが望ましい。素材の表面は後の脱脂のためにミルフィニッシュ仕上げが酸洗いよりも薦められる。200°C以上での絞りでは20%牛脂を含むグラファイトまたは高温用グリースとグラファイトの50/50%の混合材が推奨されている。ダイの表面は常に拭わなければならない。ダイが腐食しないために5~10%塩酸溶液を用いることがよい。

d) 加工温度、加工速度と絞り率

前述したように張出し性、深絞り性ともに温度を上げることにより劇的に改善される。深絞りにおいては、フランジ部加熱、パンチ頭部冷却方式が望ましい方式である。また、温度の上昇とともに絞り性の速度依存性も高まってくる。この方式による絞り性の温度と速度との関係を表9に示す。この表の値は実用的な設計に用いられる値でチャンピオンデータではない。

表6 ダイプレートの厚さ⁶⁾

最大ブランク直径 (mm)	最大ダイプレート厚さ (mm)
0~356	38
356~559	51
559~762	64
762以上	76

表7 絞り型の寸法⁶⁾

パラメータ	円筒	角筒
ダイ肩半径 rd(mm)	4t~7t	4t~7t
パンチ肩半径 rp(mm)	3t	3t
ダイコーナー半径 (mm)		1/20d ~1/12d

t:板厚 d:絞り深さ

絞り比は1.1から2.7まで極端な改善が見られる。速度についても温度が260℃の場合、6m/minから2.4m/minの間で2.7から2.2まで低下するが十分な絞り性を有するものと思われる。この速度はメカニカルプレスであっても速い方でSPMに換算して100を超えているものとする。

e) 加工力

深絞りの加工力の計算は一般の金属材料と同じく、一番大きく見積もった場合で

$$P_{max} = \pi \cdot dp \cdot t \cdot \sigma_B$$

実際の加工では次式で見積もるのがよい。

$$P = \pi \cdot t \cdot \sigma_B (D_0 / dp - K)$$

ここでdpはパンチ径、tは板厚、 σ_B は引張強さ、 D_0 はブランク径、Kは定数でマグネシウムでは $K = 0.8 \sim 1.1$ である。

f) しわ押え力

マグネシウムの絞りでは、しわ押え力を広い範囲で変えることができる。しわ押え力に影響を及ぼす因子として製品の形と深さ、ダイラジラス、パンチの形状、ブランク径と板厚、絞り温度、潤滑などである。

これらの因子を考慮しながらしわ押え力を決めなければならない。かなりの試行錯誤と経験を要する作業である。大きすぎれば破断し、小さすぎればしわが発生する。実際の工程では、最大しわ押え力として加圧面に対し5kPaを考慮し、なるべく小さな値にすることを試行しながら選んで行く。一般の加工では0.35~1.4kPaが用いられる。図14に絞り力に及ぼすしわ押え力の影響について示す³⁾。しわ押え力を増すと最大絞り力を大きくすることになり、パンチ角部の負担を増やし絞り性を低下させる。ただ、潤滑を良好にすればしわ押え力の影響は小さくなりそれだけ作業条件は楽に

表8 絞り型のクリアランス⁶⁾

板厚 t (mm)	クリアランス (mm)
0.40以下	1.07~1.09t
0.40~1.3	1.08~1.10t
1.3~3.2	1.10~1.12t
3.2以上	1.12~1.14t

表9 限界絞り比に及ぼす速度と温度の影響⁷⁾

成形温度 (°C)	6000 (mm/min)	15000 (mm/min)	24000 (mm/min)
20	1.2	1.2	-
120	1.4	1.4	-
200	2.4	2.3	2.2
260	2.7	2.6	2.2

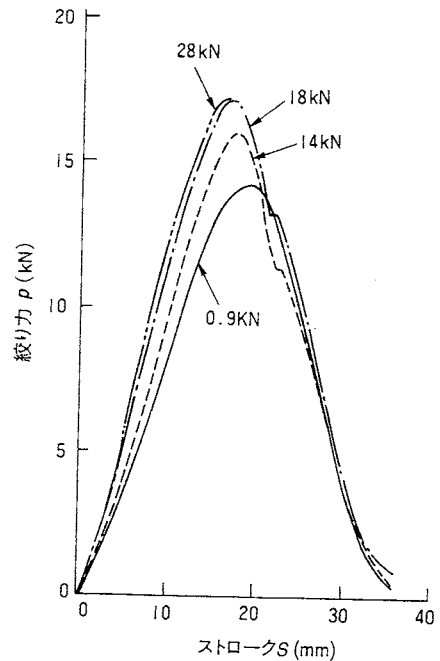


図14 しわ押え力を変えた場合の絞り力曲線³⁾
(AZ31-H24, ブランク径70mm,
フランジ部温度150℃, パンチ径36mm)

なる。マグネシウムの絞りでは潤滑剤の選定は大きな技術課題である。

6. マグネシウム円管の曲げ加工

AZ31マグネシウム合金管材は少量ながら生産されている。管材は軽量化構造部材として自動車車体を中心に多く用いられるようになってきた。加工は曲げが多く断面の偏平化が問題になっている。アルミニウムでは押し出し材の曲げ製品が自動車のスペースフレームなどに用いられるようになってきた。成形上の問題点は、偏平化のほかに、われ、屈服、しわなどがある。

曲げ法にはプレス、回転押し曲げ、引張り曲げ、などがあるが生産性から見ればプレス曲げが優れているが成形限界は低い。一般的には回転押し曲げ、CNC押し曲げなどが用いられている。ここでは、曲げの中ではもっとも難しいマグネシウム円管の常温におけるプレス曲げについて若干の実験データを紹介する。材料はAZ31-F外径 $D_0=25\text{mm}$ 、内径 $D_i=22\text{mm}$ である。引張強さ 230MPa 、圧縮の耐力 145MPa 、伸び 11% である。温度は常温で曲げ半径 $R_0=75\text{mm}$ で $R_0/D_0=3$ の曲げを行った。曲げ角度は 90° で中子にはピアノ線の束を用いた。これは、偏平化と屈服を防止するのが目的である。実験はまず中子の効果を見るために中子なしで曲げてみた。比較のためにA6063-T5材の曲げも平行して行った。63合金では曲げ角 5° でしわが発生しそのしわが発達しながら最終的には中央部で屈服した。一方、AZ31合金では同じ時期にしわが発生するがそのしわは発達せずやがて消失した。偏平化もAZ合金のほうが少ない。図15は中子なしの条件で63合金とAZ合金を 90° まで曲げたあとの軸方向ひずみ分布である。63合金では中央部に屈服による圧縮ひずみのピークが見られるがAZ合金ではそれがなくひずみは一様に分布している。図16は曲げ製品の写真である。ピアノ線の中子を入れてある。スプリングバックは大きいもののわれ、しわは発生していないことが分かる。

つぎに円管のまま軸方向に圧縮試験を行ってみた。63合金では軸端部に座屈による膨らみが見られるがAZ合金にはそれが見られないでひずみは一様に分布

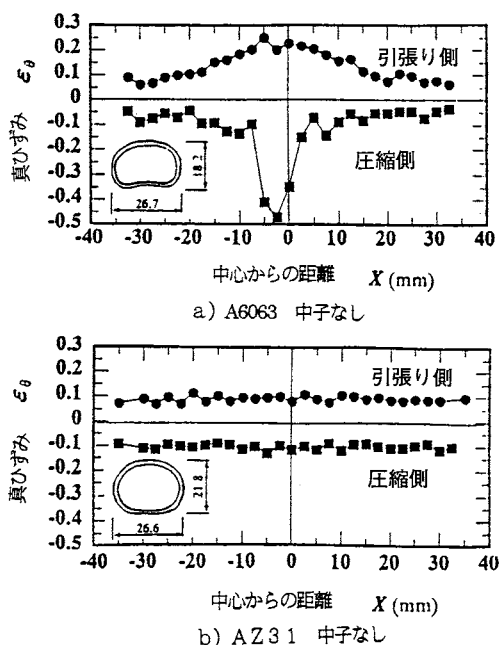


図15 A6063合金とAZ31合金円管の曲げひずみ分布⁸⁾(中子なし)

している。圧縮試験でも変形の一様性が高いことが証明された。それが n 値の大きさによるものであると考えるのが普通であるがマグネシウムの場合、他の成形(張出し、伸びフランジ)では n 値の大きさのわりには成形性が低いこともあり性急に結論をだすことは差し控えたい。

7. マグネシウム合金板塑性加工の問題点・課題

- ① せん断切り口面の状態は悪い。せん断面ほとんどなし、レーザー切断条件も悪い。
- ② 曲げ加工におけるスプリングバックは大きいがある程度の曲げは可能。
- ③ 常温での張出し性は悪い。200℃で5000系アルミニウム並み。
- ④ 絞り加工は難しい。常温では無理、200℃以上で銅板並み、板面内での温度制御が必要。
- ⑤ 対向液圧成形、ゴム圧成形は有効。精度が向上し、張り剛性が増す。
- ⑥ 伸びフランジ性は常温では悪いが200℃を超すと改善される。試験法の標準化も大切である。
- ⑦ 鍛造はやさしい。圧縮応力場での加工は推奨できる。インパクト加工も好結果が予測される。
- ⑧ パイプの曲げは予想以上に良好な結果が得られた。アルミニウムよりも一様変形能が大きく、 $R_0/D_0=3$ 、曲げ角度 90° の範囲で、しわ、破断の発生はない。
- ⑨ 従来のプレス成形性指標では成形性を予測できないことが多い。 r 値、 n 値は大きく、伸びもそこそこあるのに絞り、張出し性は悪い。しかし、

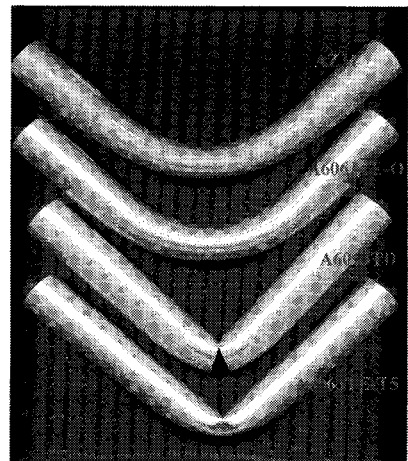


図16 A6063合金とAZ31合金円管の曲げ製品⁸⁾(中子あり)

パイプの曲げ性はよい、圧縮の耐力が小さいことの影響なのか理由を解明中である。r 値が大きいことは板厚方向のひずみが大きくなれず、2 軸引張りにおける延性の低下を招く。その結果、張出し性、伸びフランジ性は極端に悪い。n 値が大きくても加工硬化（硬さの上昇）は見られない。ひずみの一様性も見られない。n 値が0.25もありながら繰り返し曲げ変形(双晶変形が生じている)を与えてもひずみは累積しないで破断することなく何回でも曲げられる。

以上マグネシウムの塑性加工では研究すべき課題が山積している。今後の研究を期待する。

文献

1. マグネシウム協会編：マグネシウム技術便覧、カロス出版（平12-5）。
2. 長田直樹，勝田基詞ほか：軽金属，50-2，（平12-2），60。
3. 軽金属協会，マグネシウム委員会：マグネシウム合金展伸材の標準性質の測定に関する研究，（昭和37年），34。
4. 吉原正一郎，枝広崇夫，西村尚，藤城良夫：軽金属学会第100回春期講演会，（平13-5），45-46。
5. 長谷川収，西村尚，山本弘圀：第52回塑性加工連合講演会（平13-10）。
6. 軽金属協会マグネシウム委員会編：マグネシウム製品設計，軽金属協会（昭和63年），102。
7. 日本マグネシウム協会用途開発委員会資料，No.9702：FORMING MAGNESIUM，Part1，p5，Part2，p6。
8. 長谷川収，真鍋健一，西村尚：軽金属，52-7，（平14-7）298。