



S. Matsuoka

マグネシウム合金の高生産性押出技術の開発

松岡 信一*

1. はじめに

マグネシウム合金の製造工程は、鑄造、ダイキャスト、チクソモーディングなどの熔融あるいは半熔融加工による方法が中心である。これに対して、生産性に優れ、多様な断面形状の型材が容易に得られる押出し加工が適用できれば、いろいろな部材、例えば、携帯電話、家電製品、福祉機器、軽量化が要求される自動車関連部品をはじめ各種の産業機器や建材等の幅広い分野への利用が期待できる。

ここでは、品質が安定したマグネシウム合金の量産化技術の開発を目的に、材料組成をはじめ種々の押出し加工法について検討した結果を紹介する。

2. 高生産性押出し加工の検討¹⁾⁻⁴⁾

2.1 ビレットの種類と均質化処理

高生産性を目的とした押出しでは、AZ31B合金を $\phi 45 \times 100\text{mm}$ に砂型鑄造したものを用いた。表1に、その化学成分を示す。

Table 1 Chemical composition of AZ31

| Al | Zn | Mn | Si | Cu | Ni | Fe | Mg |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 3.33 | 0.88 | 0.21 | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.003 | Bal. |

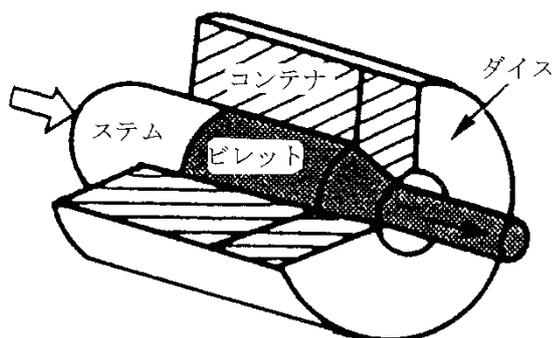


Fig.1 Schematic view of tool for extrusion

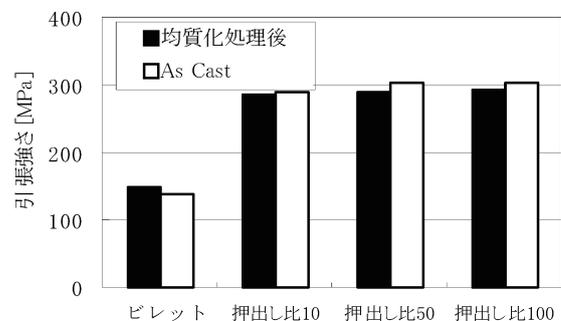
また、押出し加工性に及ぼす均質化処理の有無による影響を調べるため、鑄造したビレットおよび均質化処理したビレットの2種類を用いた。均質化処理の条件は、アルゴンガス雰囲気中でビレット温度 673Kに加熱後、36K sに保持し、ファン空冷した。ここで均質化処理の温度条件は、Mg-Al-Zn系合金の三元共晶温度より30K

低い温度とした。押出し用ビレットは、表皮層の影響を除外するため、 $\phi 40 \times 65\text{mm}$ に切削加工した。

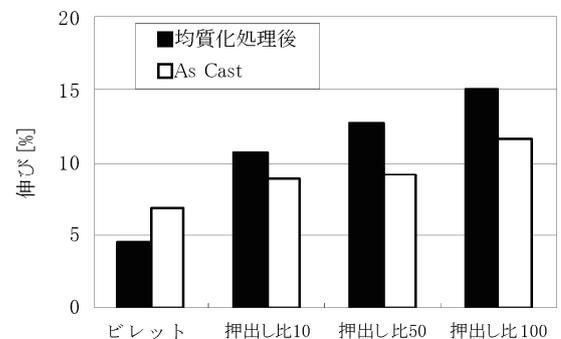
押出し加工は、図1に示す押出治具を、最大荷重2MNの圧縮試験機に組み込んで実施した。ビレットは電気炉で所定の温度に達するまで加熱した後、速やかにコンテナに挿入し所定の速度で押出しを行った。

2.2 均質化処理の効果

図2は、押出し材と比較のためのビレットの引張強さ(a)、伸び(b)を示す。押出し材の引張強さ、伸びはビレットのそれより大きく、押出し加工により機械的性質が向上することが分かる。またビレットの均質化処理の有無、および押出し比の大小に係わらず引張強さは約300MPaで一定である。これに対して伸びは均質化処理した方が大きくなる。押出し比の大小は、引張強さよりも伸びに効果が大きい。すなわち、押出し比が大きく、加工度が増加するにつれて、押出し材の結晶粒径は細かくなっており、伸びの増加は動的再結晶により結晶粒が微細化した効果と考えられる。



(a) Tensile strength



(b) Elongation

Fig.2 Relation between tensile strength(a), elongation(b) and homogeneity on various extruded

* 明治大学理工学部兼任講師 (元・富山県立大学教授)

2.3 ビレット温度と押出速度の影響³⁾

図3は、押し出し材の引張強さ(a)、伸び(b)に及ぼすビレット温度、ラム(押し出し)速度の影響を示す。ビレット温度の高い方が押し出し材の引張強さが若干低いことが

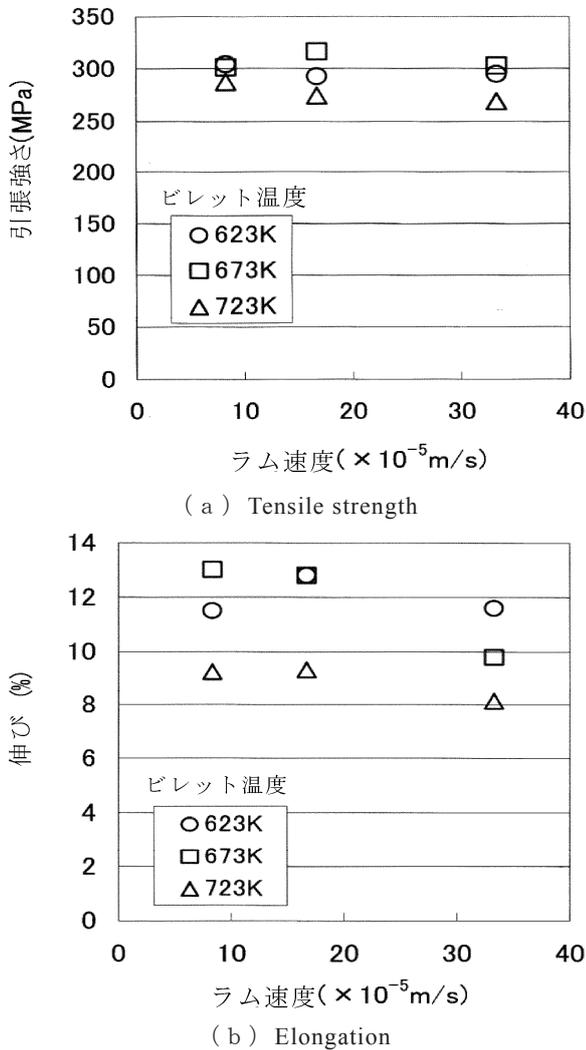


Fig.3 Relation between tensile strength (a), elongation (b) and ram speed on extruded AZ31 alloy

分かる。また同図(b)から、ビレット温度が高く、ラム速度が増大するにつれて伸びは減少する傾向である。

ここで押し出し材の内部組織写真は割愛したが、ビレット温度が低く、ラム(押し出し)速度が遅いほど結晶粒径は小さくなっている。このことはビレット温度が低いほど、またラム速度が遅いほど、押し出し材の伸びが増大する傾向と一致する。

2.4 高速押し出し用マグネシウム合金の開発⁴⁾

マグネシウム合金に限らず、一般に材料の押し出し性を評価する場合は、押し出し限界速度線図が用いられる。⁵⁾

図4に押し出し限界速度線図の模式図を示す。ビレット温度がある温度に達するまでは、ビレット温度の増加とともに材料の変形抵抗が小さくなるため、押し出し用プレスの加圧能力に依存して決定される限界押し出し速度は増大する。またビレット温度がある臨界値を超えると、限界押し出し速度は、押し出し材の表面に発生する欠陥によっ

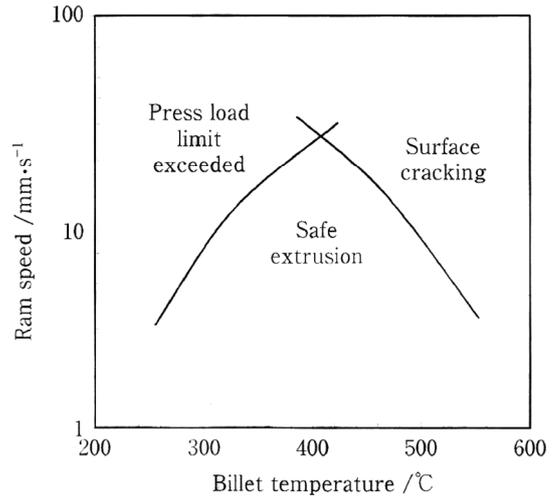


Fig.4 Limiting extrusion speed diagram

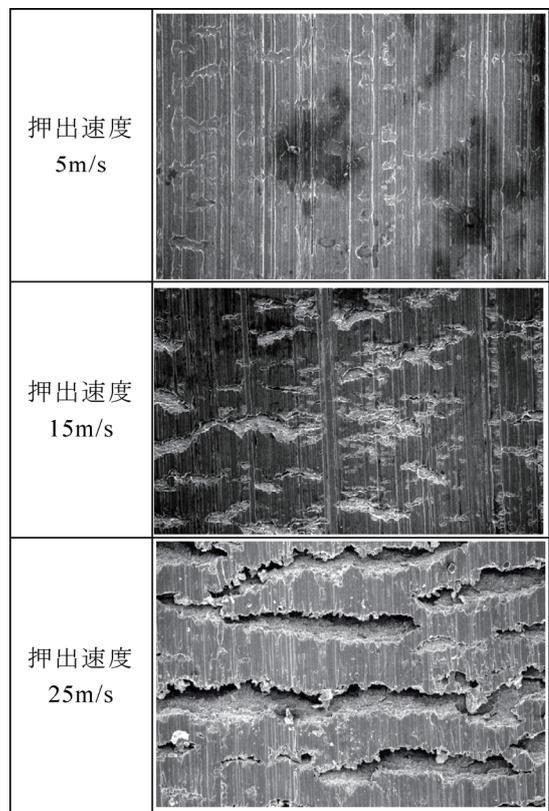


Fig.5 Relation between extrusion speed and surface cracking of AZ31 alloys

て決定される。マグネシウム合金の表面に発生する主な欠陥は、表面割れと表面酸化がある。限界押し出し速度線図で押し出し可能な領域が広いほど、押し出し性が良好な材料といえる。

図5は、AZ31合金をビレット温度400°Cで押し出したときの、押し出し速度と表面割れの関係を示したものである。表面割れの発生は、共晶融解が一つの要因であり、アルミニウムの含有量が高くなり、低融点の金属間化合物の量が増えるほど、表面割れ発生による限界押し出し速度は低下する。

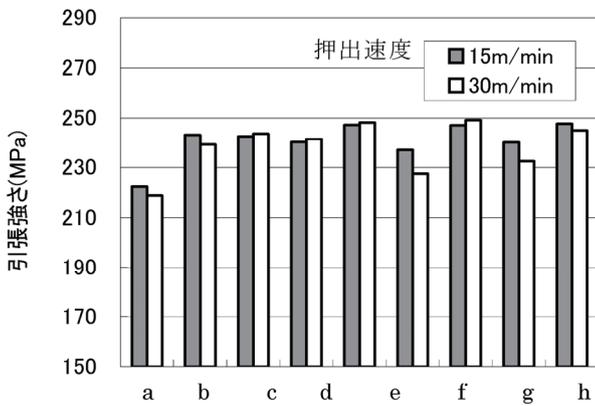
また、アルミニウム含有量の低いAZ系合金において、

高速押出しが可能な合金の試作を検討した結果（データは割愛），次のことが分かった。

アルミニウム含有量を 0.5, 1.0, 2.0mass% と低い値に設定し，亜鉛とマンガン含有量をそれぞれ，0~0.5mass%，0~0.3mass% の範囲で調整したビレットを試作し，同一条件で押出し，押出圧力に及ぼす合金元素の影響，および限界押出し速度を調査した．ここでビレット直径は 90mm，ビレット温度；400℃，押出比；89 で，チャンネル型のソリッド形状に押出した．また，比較のために，6063 アルミニウム合金を同一条件で押出し，最大押出圧力を比較した．

アルミニウム含有量の大小に係わらず，いずれの組成においても，最大押出圧力は 6063 合金と同等あるいはそれ以下であった．

図 6 は，上記の合金の限界押出速度と引張強さの関係を示す．アルミニウム含有量が 1% の AZ10 相当の合金では，限界押出速度が 70m/min と良好な押出加工性を有し，その上，6063 合金と同程度の機械的性質を有することが分かる．



| | a | b | c | d | e | f | g | h | I |
|----------------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|
| Al | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| Zn | 0 | 0.25 | 0.5 | 0 | 0.25 | 0.5 | 2.0 | 0.25 | 0.5 |
| Mn | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 2.0 | 0.1 | 0.2 |
| 押出限界速度 (m/min) | 70 | 40 | 50 | 60 | 70 | 20 | 20 | 15 | 20 |

Fig.6 Relation between tensile strength and limiting extrusion (ram) speed on fusible aluminum alloys

また，高速で押出し加工を行うことは，コスト低減に繋がり，さらに押出し加工後の形材温度も矯正加工が可能な温度以上であるなどの利点もある．

AZ系マグネシウム合金は，アルミニウム含有量が減少するにつれて，耐食性や冷間での加工性が劣る欠点があり，AZ10 相当の合金を，AZ31 と同一環境下で使用するには，表面処理や加工法の面から，欠点・弱点を克服する工夫が必要である．

3. 合金チップの圧縮成形ビレットによる押出し加工⁶⁾

溶製材の押出し加工が難しいとされる AZ91 合金につ

いて，同合金のチップを圧縮成形したビレット（予備成形体）を用いて押出し加工を行った．その結果，押出し性や押出し材の機械的性質等について新しい知見を得た．

図 7 のように，同チップを 32 メッシュで選別し，チップ断面径が 0.7mm 以上の大きいものを L とし，それより小さいものを S とした．それぞれのチップを加熱圧縮成形（250℃，440MPa，）し，押出し用ビレット（φ40×65L）を作製した．押出工具は図 1 と同様で，押出比：20，押出温度：300~400℃，押出速度：0.2mm/sec の条件で押出した．

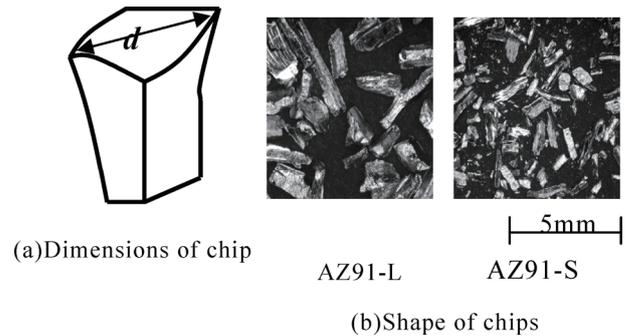


Fig.7 Optical micro-photograph of Mg alloy chips

3.1 ビレット成形温度の効果

図 8 は，AZ91-L のチップを用いて常温（RT）と温間で圧縮成形したビレットの外観を示す．250℃で成形（Pc：440MPa）したビレットは，他の成形体より高さが若干（約 7.2%）低い．これは加熱温度（250℃）の効果に加え，チップの接触面の箇所が多くなり，加圧力の増加とともにチップ間の相対すべりが生じ緻密に成形されて空孔が少なくなり，高密度（成形品密度 97.4%）になったものと考えられる．なお，このビレットを均質化処理（400℃×48hour）しても形状は崩れなかった．

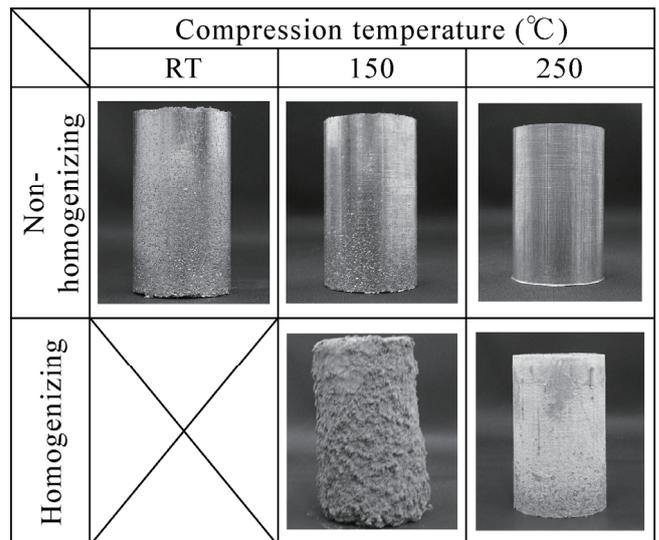


Fig.8 Sample of compaction molding billets (AZ91-L)

3.2 押出し加工性

各種ビレットについて押出温度 350℃で押出したときの押出荷重—ストローク線図を図 9 に示す．図中の数字はビレット作成時の成形温度である．

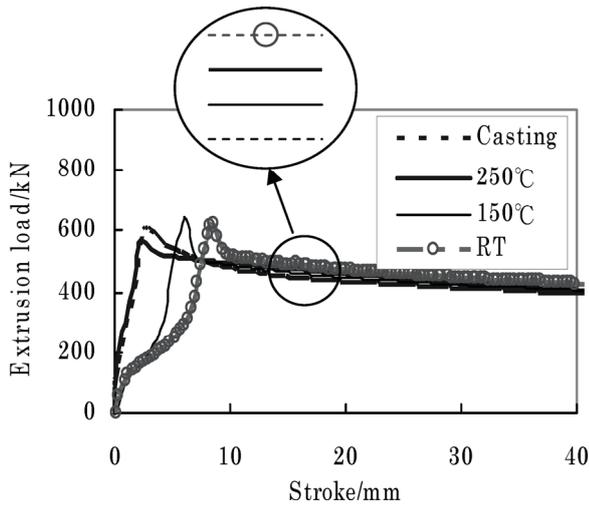


Fig.9 Load-stroke curves in extrusion of compacted solidified products (Extrusion temperature:350°C)

ピレット成形温度の高低により押出しの最大荷重に達するまでのストロークに差が生じる。すなわち空孔を押し潰している時間（ストローク）である。例えば、ピレット作製時の成形温度の高い方が成形品密度も97.4%と大きく、緻密に成形されているため、ストロークが減少する。これに対して、常温（RT）および成形温度の低いものは成形品密度が低く、空孔が多いため押し潰す時間が長くなると考えられる。また、加熱圧縮成形によって作製したピレットは、従来の溶製材と比べ何の遜色もない良好な押し出し加工ができることが分かった。

3.3 押し出し材の機械的性質

前節の250°Cで作製した各ピレットによる押し出し温度と押し出し材の引張強さ、伸びの関係を図10に示す。

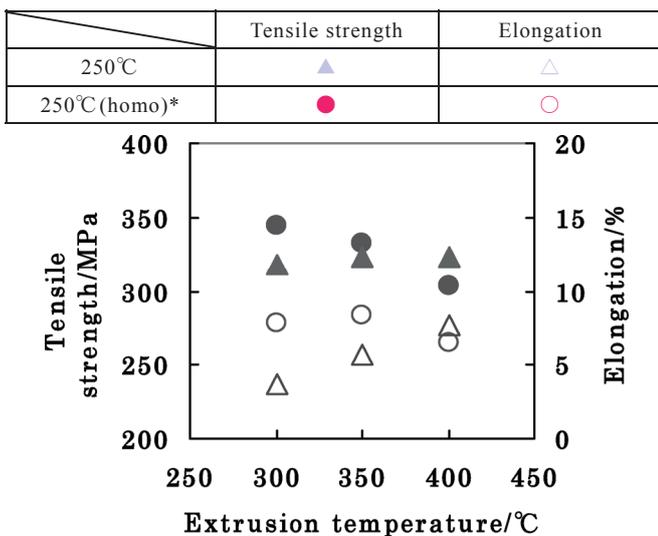


Fig.10 Relation between tensile strength, elongation and extrusion temperature of AZ91-L billets (Heat treatment temperature;410°C, 48hour)

押し出し温度が高くなるにつれて引張強さは低下する。これに対して、伸びは増加する傾向を示す。また押し出し前にピレットを均質化処理しても同様の傾向である。

他方、組織観察写真は割愛したが、300°Cで押し出したものは、全面に結晶粒の微細化とMg₁₇Al₁₂が析出し、400°Cでは、結晶粒が粗大化し、Mg₁₇Al₁₂の粒界への析出が確認された。

また、チップ断面径の大小（L・S）による押し出し性や機械的性質等に大きな差は認められなかった。

4. 合金チップの直接押し出し加工⁷⁾

前節の合金チップを圧縮成形したピレットの押し出し加工に対し、ここでは、チップの圧縮成形を省き、直接マグネシウム合金チップの押し出しを試み、その効果を実証した。

4.1 直接押し出し加工の概要

図11に押し出し加工時のコンテナ内部の概略を示す。コンテナにAZ61合金チップを装填する際、ダイス孔からチップの流出防止のために、コンテナ下部にAZ61合金鑄造製（φ40mm, t:1.0, 5.0, 10.0mmの円板）のプレート（蓋）を設け、その上からチップを投入した。チップとプレートは同成分の合金で、総重量はチップ圧縮成形ピレットと同様の147.4gとした。また、押し出し加工は、押し出し比:20, 押し出し温度:300°C, 400°C, ラム速度:0.2mm/sec一定で行った。

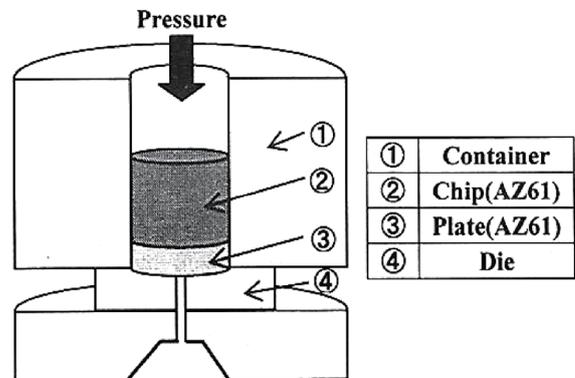
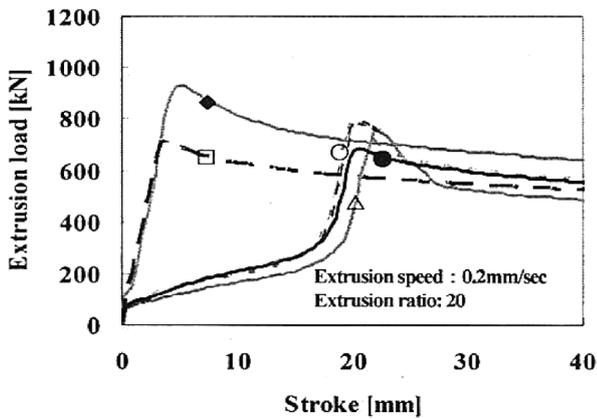


Fig.11 Schematic view of tool for direct extrusion

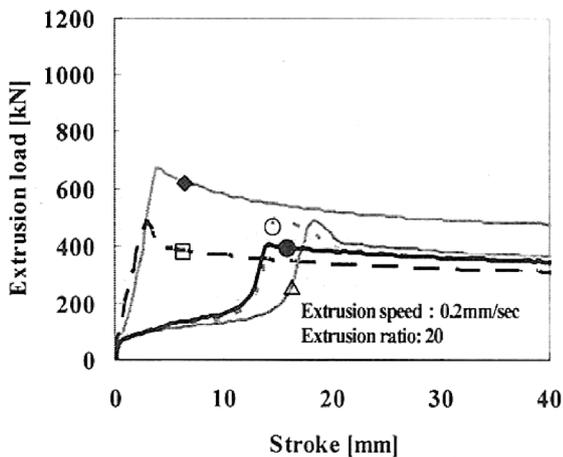
図12は、AZ61合金チップの直接押し出し（DE）、チップ圧縮成形ピレット（CM）、および比較のための鑄造ピレット（C）の各押し出し加工（押し出し温度300°C, R:20, v:0.2mm/s）における押し出し荷重—ストローク線図を示す。押し出し温度に関係なくDE, CMはCに比べて最大押し出し荷重が低減する。また直接押し出し（DE）は加圧初期の段階ではチップを圧縮するため、押し出し開始まで幾分、時間を要する傾向である。この傾向は押し出し温度の高い方が短く（約25%）なる。

一方、プレートの厚さについては、厚い（10.0）方が押し出し開始までに幾分、時間を要する傾向である。これに対して極端に薄い（1.0）場合は、早期に押し出しが開始することが明らかになった。

| symbol | | | |
|--------|-------------------------|------------------------------|-----------|
| C | Casting | | —◆— |
| CM | Chip Compaction Molding | | - - □ - - |
| DE | 10.0 | Chip(124.9g)/Plate(h:10.0mm) | ⋯○⋯ |
| | 5.0 | Chip(136.4g)/Plate(h:5.0mm) | -△- |
| | 1.0 | Chip(145.8g)/Plate(h:1.0mm) | —●— |



(a) Extrusion temperature at 300°C



(b) Extrusion temperature at 400°C

Fig.12 Load-stroke curves in direct extrusion, chip compaction molding and casting of AZ61.

4.2 押出し材の機械的性質

図 13 に、300°Cで押出した形材の引張強さを示す。同図より、DEがCM、Cと遜色ない引張強さ、および0.2%耐力が得られることが分かる。また、破断伸びはCに比

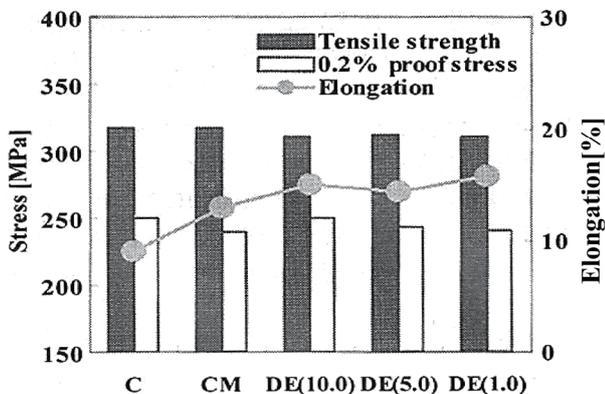


Fig.13 Relation between process of manufacture (billet) and tensile characteristics.
(Extrusion temperature:300°C)

べてCM、DMの方が幾分、高い値を示している。また、DMにおいてはプレート厚さに関係なく、ほぼ一定の機械的性質が得られることが分かる。なお、押出温度400°Cの形材も同様の傾向である。

5. まとめ

マグネシウム合金の材料組成や各種の押出し加工法について検討した結果、次の項目が明らかになった。

高生産性押出し加工の分野では、

- ① 本研究の範囲では、ビレット熱処理（均質化）の有無は、押出し材の引張強さにほとんど影響しない。
- ② ビレット温度を高くすると、引張強さが低下する。また結晶粒の粗大化が認められる。
- ③ Mg-Al-Zn系合金の押出し加工において、Zn、Mn量が増加すると、押出し材の表面割れが発生しやすくなり、限界押出速度が低下する。

圧縮成形ビレットによる押出し加工では、

- ④ 加熱圧縮成形したビレットは、成形品密度も大きく、押出し性は良好であり、鋳造材（溶製材）に比べても遜色ない加工性が得られる。
 - ⑤ 250°Cで圧縮成形したビレットは、チップ断面径の大小に係わらず機械的性質等に大きな差が見られない。
- 直接押出し加工の分野では、
- ⑥ チップ直接押出し加工は、チップ圧縮成形法や鋳造法のビレットに比べ押出荷重が低減でき、また得られた押出し材の引張強度はほぼ同等の値である。
 - ⑦ 押出し温度やプレート厚さが大きいものほど、形材も安定し、健全な押出し加工ができる。

以上のように、いろいろの押出し加工技術について検討したが、同合金がさらに広範な分野で適用されるためには、何よりも量産技術体制の確立と低コスト化が望まれる。

終わりに、本研究の一部は（財）天田金属加工機械技術振興財団・平成14年度研究開発助成（AF-2002008）を受けて実施し、併せて三協立山アルミ（株）との共同研究により遂行したものであり、関係各位に感謝申し上げます。

参考・引用文献

- 1) 村井・松岡・宮本・沖：軽金属，51-10，(2001)539
- 2) 村井・松岡・宮本・沖：軽金属学会100回春期大会講演概要，(2001)273
- 3) T.Murai, S.Matsuoka, S.Miyamoto, Y.Oki:Materials Processing Technology, 141 (2003)207
- 4) T.Murai, H.Oguri, S.Matsuoka: Materials Science Forum Vols: 488/489(2005), 515
- 5) Davis,C, Barnett,M: JOM,(2004),22
- 6) 松岡・江川・村井：機論A(ノト)，74-738 (2008) 121
- 7) 松岡・伍嶋・村井：機論A(ノト)，76-766 (2010) 50