数良

日大生産工(院) 〇菅谷 樹 日大生産工 加藤

日大生産工 野本 光輝

# 1. 緒 言

マグネシウム合金は、利点が多く、実用金 属中最軽量で比強度が高いために携帯用電子 機器や輸送機器などの種々な分野で用いられ ており注目が集まっている.リサイクルに関 する研究も進められており<sup>1),2)</sup>、主に溶解鋳 造法を用いるが、切屑のような重量に比較し て体積が大きいものは再溶解工程でドロスの 発生や浮き上がりが発生し膨大なエネルギー が消費される.

そこで、切屑を固化成形することで体積を 減少できれば省エネルギー化に貢献できると 考える.また、固化成形により直接使用可能 な成形体を得られればさらに効果的である.

固相リサイクルプロセスには、プレス加工 や ECAP 法などによる固化成形法が報告され ている<sup>3)~5)</sup>.著者らが提案した摩擦圧接を応 用した固化成形法は、工具と素材との摩擦熱 を利用するために加熱器が不要でエネルギー 効率が高く、今後期待できる方法である.著 者らは先に本方法により 1050 アルミニウ ム、6063 アルミニウム合金の切屑を用いて高 密度な成形体が得られることを報告した<sup>6),7)</sup>.

本研究では、マグネシウム合金の切屑を摩 擦圧接を利用して固化成形し、得られた成形 体の組織および機械的性質について検討した.

# 2. 供試材および実験方法

供試材には, AZ31 マグネシウム合金板材お よび AZ91D マグネシウム合金ダイカスト板材 を乾式でフライス加工により作成した Fig.1 に示す形状の切屑を用いた.母材および切屑 の機械的性質を Table 1 に示す.摩擦圧接に



(a) AZ31 (b) AZ91D Fig.1 Appearances of chips.

Materials		Tensile strength	Elongation	Hardness
		(MPa)	(%)	(HV0.1)
AZ31	Rod	249	28.7	56.9
	Chip	-	-	73.5
AZ91D	Rod	193	1.2	71
	Chip	-	-	83.3

Table 1 Mechanical properties of materials.

Materials			AZ31	AZ91D			
Rotational speed	Ν	(rpm)	2000				
Preheating pressure	P <sub>0</sub>	(MPa)	30				
Preheating time	t <sub>0</sub>	(s)	15	20			
Friction pressure	P1	(MPa)	200 , 300 , 400				
Quantity of filling chips	m	(g)	1.5	2.0			

Table 2 Friction welding conditions



Fig.2 Shapes and dimensions of tool.



Consolidation of Application of the Friction Welding using Magnesium Alloy Chips Tatsuki SUGAYA, Mitsuteru NOMOTO and Kazuyoshi KATOH よった固化成形には、全自動摩擦圧接機を使 用し、予備実験から選定した Table 2 に示す 条件とした.使用工具は材質 SUS304 ステンレ ス鋼を用いて Fig.2 に示す形状に機械加工し、 出口径 d は AZ31 の固化成形では 4, 5, 6mm, AZ91D の固化成形では 4mm とした.実験方法 は Fig.3 に示すようにダイに切屑を充填し、ス テムを回転させた状態でダイに挿入し、素材と 接触させて予熱圧力と回転摩擦により予熱を 与え、その後、摩擦圧力を付与しながら素材を 押出すことにより成形体を得た.

得られた成形体の評価は、外観観察,巨視的 および微視的組織観察,硬さ試験,引張試験を 室温で行った.引張試験片の平行部直径は成形 体直径から 1mm 切削により小さくし、長さは 10mm とした.

# 3. 実験結果および考察

# 3.1 AZ31 マグネシウム合金の固化成形

Fig.4に成形体の相対密度をアルキメデス法 により測定した結果を示す. 母材に対する成 形体の相対密度を算出した結果,出口径の変 化による影響はほとんどなかったが摩擦圧力 の増加に伴い相対密度は増加し,出口径 d= φ4mm,摩擦圧力 P1=400MPa の条件で最高値を 示し,母材密度 1.77g/cm<sup>3</sup>の 98.24%と高密度 な成形体が得られた. その他の条件において も相対密度は 98%と高い値が得られた.

Fig.5 に成形体の外観を示す. 全条件で成形体の先端部は切屑が固化せずにそのまま押出されたため切屑形状が確認できる状態であった. 成形体表面は出口径および摩擦圧力の増加に伴い著しく凹凸が大きい状態となり出口径  $d=\phi$  6mm の条件では摩擦圧力によらず成形体表面の凹凸が著しく大きくなった. また,  $d=\phi$  4mm,摩擦圧力 P1=400MPa の条件では,成形体終端部で破断した状態で押出されたものがいくつかあった. 成形体の長さは平均で出口径  $d=\phi$  4mm で約 30mm,  $d=\phi$  5mm で約 45mm,





Fig.6 Macrostructures of extruded specimen.







d=φ6mmで約60mmであり, 摩擦圧力の増加に 伴い若干ではあるが長くなった.

Fig.6 に成形体の巨視的組織を示す. 先端部 を除く部分でほぼ空隙のない成形体が得られ, 押出方向を軸としてほぼ対象な組織を示した. 成形体中央部には A1050 および A6063 合金の 固化成形体<sup>6), 7)</sup>に認められた楕円状の組織と 類似した組織が不明瞭ではあるが観察された. その他は特徴的な組織は認められなかった. また,摩擦圧力の増加に伴い成形体後方に著 しいくびれが生じた.

Fig.7 に成形体の中央部と先端部の微視的 組織を示す.成形体中央部(A)では,ステムに よる撹拌の影響のため母材と比較して微細な 組織が観察され,押出材先端部(B)では熱およ び圧力が不十分であったため切屑の界面が明 瞭に観察された.この微細な組織は,出口径の 増加および摩擦圧力の増加に伴い不均一な組 織となった.

Fig.8 に成形体中央部の硬さ試験結果を示 す.摩擦圧力 P1=400MPa の条件では成形体の 先端から終端までの硬さに大きな変化は認め られなかったが,摩擦圧力の減少に伴い巨視 的組織で観察された成形体中央部の楕円状の 組織近傍で硬さは増加し,母材とほぼ同等の 値を得た.このことは,巨視的組織で観察さ れた組織の変化と一致していることから,結 晶粒微細化による硬化と考える.また,出口 径の違いによる硬さの変化はなかった.

Fig.9 に引張試験結果を示す.出口径の減少および摩擦圧力の増加に伴い引張強さは向上する傾向を示したが、出口径 d=φ5mm、摩擦圧力
P1=400MPa の条件では引張強さが低下した.d=φ4mm、摩擦圧力 P1=400MPa の条件で最高値
221MPa を得た.この値は母材の約 89%であった.
3.2 AZ91D マグネシウム合金の固化成形

Fig.10 に成形体の相対密度を示す. 成形体の 相対密度は、摩擦圧力の増加に伴い相対密度







は増大し,摩擦圧力 P<sub>1</sub>=400MPa の条件で最高 値で約 101%が得られた.このことは,ステム による攪拌時に,母材に内在していたポロシ ティなどの鋳造欠陥が消滅したためと考える.

Fig.11 に成形体の外観を示す.前述した AZ31 合金切屑の固化成形体と同様に,全条件 で成形体の先端部は切屑が固化せずにそのま ま押出され切屑形状が確認できる粗い状態を 示した.終端部は表面の凹凸が著しく粗くな ったが,摩擦圧力の増加に伴い凹凸は小さく なった.

Fig.12 に成形体の巨視的組織を示す. AZ31 合金切屑の固化成形体で観察された成形体中 央部の楕円状の模様と類似の模様が不明瞭で はあるが観察された.また,先端部は押出方 向に凸となるような組織の流れが認められた.

**Fig.13**に成形体の微視的組織を示す.先端 部(A),(B)では鋳造材特有のデンドライト組 織が観察され,中央部(C),終端部(D)ではス テムによる撹拌を受け微細な組織となった.

Fig.14に成形体中央部の硬さ試験の結果を 示す.摩擦圧力の増加に伴い硬さは増加した. また,全条件で終端部から先端部にかけて硬 さが増加する傾向を示した.このことは,出 口部でせん断ひずみが大きく付与され,終端 部はステムによる摩擦熱のためひずみが消滅 したものと考える.

**Fig.15** に引張試験の結果を示す. 全条件で 母材の強度を上回り, 摩擦圧力 P<sub>1</sub>=300MPa で



Fig.15 Results of tensile test.

最高値 302MPa を示し,母材の 1.56 倍の値を 得た.このことは,微視的組織で観察された 組織の変化と一致していることから結晶粒の 微細化と鋳造欠陥が消滅したことによるもの と考える.

#### 参考文献

- 1)木村浩一,"マグネシウム筐体のリサイクル 技術",成形加工,16(2004),163-167.
- 2)千野靖正,馬渕 守,"熱間押出を利用した マグネシウム合金切削屑の新再生法",軽金 属,57(2007),250-255.
- 3)高橋 崇,久米祐二,小橋 眞,金武直幸, "圧縮ねじり加工によるアルミニウム合金切 削屑の固相リサイクル",軽金属,59(2009), 354-358.
- 4) 會田哲夫,高辻則夫,松木賢司,鎌土重晴, 小島 陽, "AZ31 マグネシウム合金チップの ECAP 均質固化成形",軽金属,54(2004), 532-537.
- 5) 近藤勝義, Tachai LUANGVARANUNT, 相澤龍 彦, "AZ91D マグネシウム合金チップの固相 リサイクルプロセス", 軽金属, 51(2001), 516-520.
- 6) 大塚健太,加藤数良,"摩擦圧接法による 1050 アルミニウム切削屑の固化成形",軽金 属学会第120 回春期大会概要,(2011),71.
- 7)大塚健太,加藤数良,"摩擦圧接法による
  6063 アルミニウム合金切削屑の固化成形",
  日本金属学会 149 回秋期大会概要,(2011),
  CD-ROM.