

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

日大生産工(院) ○大塚 健太

日大生産工 加藤 数良

1. 緒言

アルミニウム合金は比強度、耐食性に優れ、輸送機器を初めとした種々の分野で用いられ、鉄鋼材料に次ぐ工業材料として需要も増加傾向にある。しかしながら日本のアルミニウムの新地金は電力価格が高いという問題から海外からの輸入に依存している。一方、リサイクルによるアルミニウムの再生地金は新地金の製造エネルギーに比較して格段に少なく、省エネルギーの観点からリサイクルが盛んに行われ、そのための研究開発も進められている¹⁾。

溶解鋳造法において切削屑は、浮上りドロスが大量に発生する。また、切削屑は体積が大きいため再溶解行程で膨大なエネルギーが消費されることが問題となっている。そこで、切削屑の固化成形により体積を減少、或いはそのまま素材として使用可能となれば、さらなる省エネルギー化に貢献できると考えられる。

切削屑の固化成形方法として、再溶解を必要としない固相リサイクルプロセスである圧縮ねじり加工法があり、十分な強度の成形体の作製が可能であることが報告されている²⁾。また、摩擦圧接は、加熱器が不要で、エネルギー効率が低い。著者らは1050アルミニウムで摩擦圧接法による固化成形が可能であり、成形時間が短時間であること、十分な強度の成形体であることを報告した³⁾。

本研究では、アルミニウム合金の中でも需要の多い6063アルミニウム合金の切削屑を摩擦圧接を利用して押出を行い、押出条件が押出材の特性に及ぼす影響を検討した。

2. 供試材および実験方法

供試材には6063-T5アルミニウム押出角棒(70.4HV0.01)をフライス加工(乾式切削)によったFig.1に示す切削屑(116.2HV0.01)を用いた。供試材の化学組成をTable 1に示す。

固化成形には数値制御全自動摩擦圧接機を使用し、加工条件は予備実験より選定したTable 2に示す条件とし、切削屑の充填量



Fig.1 Appearance of 6063 aluminum alloy chip.

Table 1 Chemical compositions of base metal.(mass%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.46	0.18	0.01	0.03	0.48	0.01	0.01	0.01	Bal.

Table 2 Processing conditions.

Rotational speed	N (rpm)	2000
Preheating pressure	P ₀ (MPa)	30
Preheating time	t ₀ (s)	20
Friction pressure	P ₁ (MPa)	200,300,400
Pushing depth of stem	d (mm)	15

Consolidation of 6063 Aluminum Alloy Chip by Friction Welding

Kenta OTSUKA, Kazuyoshi KATOH

は 3g とした。使用工具には SUS304 ステンレス鋼を用い、Fig.2 に示す形状に機械加工したものを用い、出口径 D を $\phi 4\text{mm}$ 、 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 6\text{mm}$ とした。以後回転工具をステム、固定側工具をダイと呼ぶ。

摩擦圧接による押出方法の概略を Fig.3 に示す。押出はダイ内に切削屑を充填し、ステムを回転させた状態で押し込むことにより、他方より押出丸棒を得るものである。

得られた押出材はアルキメデス法による相対密度の測定、外観観察、組織観察、硬さ試験、引張試験を室温で行った。引張試験は初期ひずみ速度を $8.33 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$ とし、押出材の両端が平坦となるように切削し、試験に供した。

3. 実験結果および考察

図は示さないが押出中に供試材の飛散はなく、押出後に工具の変形および摩耗は認められなかったが、ダイおよびステムにアルミニウムの付着が若干認められた。

Fig.4 に押出材の成形時間を示す。摩擦圧力および出口径の増加に伴い成形時間は減少することが認められ、摩擦圧力 400MPa では出口径に関係なく押出時間は約 0.1s であった。

Fig.5 に押出材の相対密度を示す。摩擦圧力の増加および出口径の減少に伴い相対密度は増加し、摩擦圧力 400MPa、出口径 $\phi 4\text{mm}$ で最高値 99.98% を得た。

Fig.6 に押出材の外観を示す。全条件において先端部付近では切削屑が固化せずそのまま押し出されたため、切削屑のままの状態が観察された。先端部以外の表面には欠陥は無く外観上は良好な押出材が得られたが、摩擦圧力 400MPa、出口径 $\phi 6\text{mm}$ の条件のみ表面は若干粗く

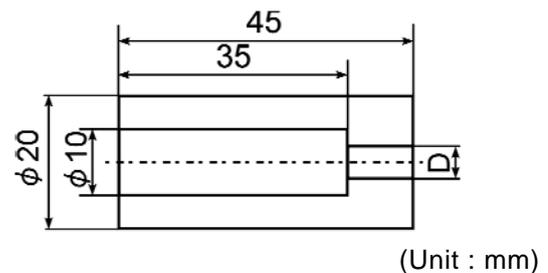


Fig.2 Shape and dimensions of tool.

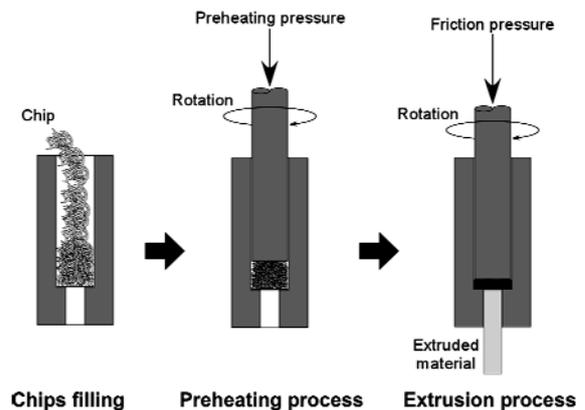


Fig.3 Schematic illustrations of extrusion method of friction welding.

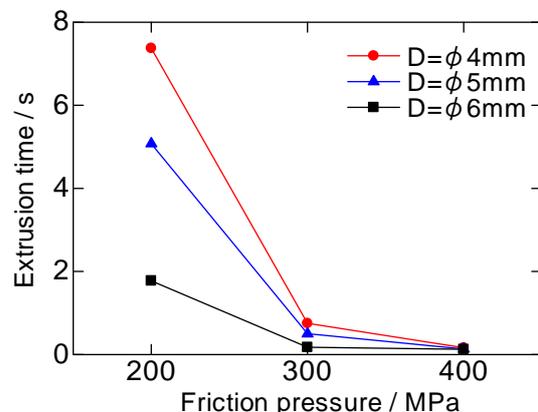


Fig.4 Relation between friction pressure and extrusion time.

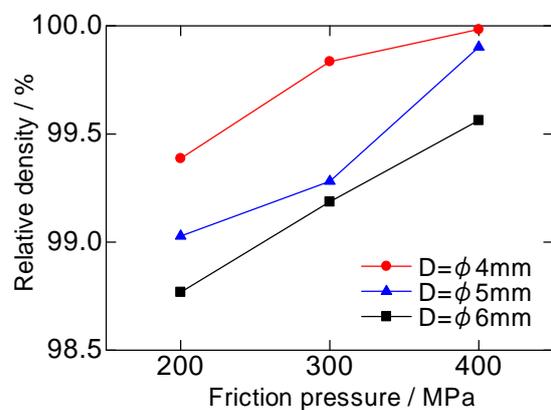


Fig.5 Relative density of extruded material.

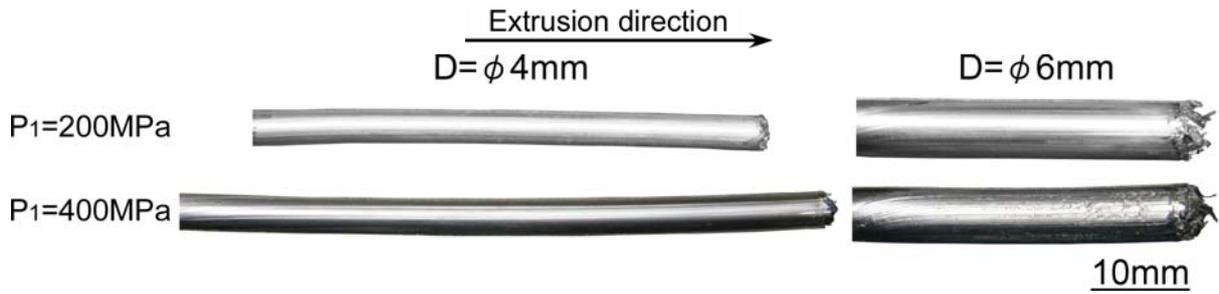


Fig.6 Appearances of extruded material.

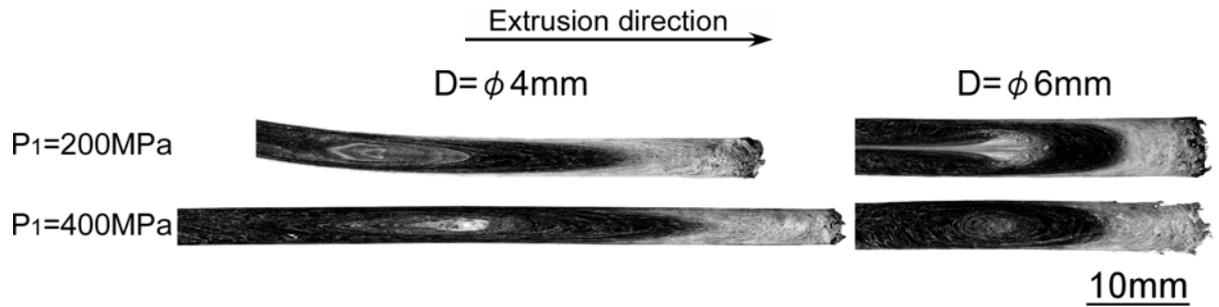


Fig.7 Macrostructures of extruded material.

なった。摩擦圧力 200MPa, 出口径 ϕ 4mm の条件の押出材が短いのはダイに多量にアルミニウム合金が残存したためである。

Fig.7 に押出材の巨視的組織を示す。全条件で先端部を除く部分で空隙の無い押出材であることが確認され、押出方向を軸として対称な組織を示した。先端部付近には押出方向に凸状の強く腐食された領域が観察された。中心部では 1050 アルミニウムでも観察された楕円状の組織³⁾が全条件で観察された。この楕円状の組織は摩擦圧力の増加に伴い不明瞭となった。

Fig.8 に押出材の微視的組織を示す。先端部付近 (A) では切削屑が残存した状態が観察され、摩擦圧力および出口径の増加に伴い切削屑は不明瞭となった。しかしながら切削屑周辺には空隙は認められなかった。このことは、摩擦圧力の増加により切削屑が圧縮されたためである。楕円状の組織近傍 (B) では攪拌により微細な組織を呈し、摩擦圧力および出口径の減少に伴いより微細となった。外周部 (C) では切削屑の界面が

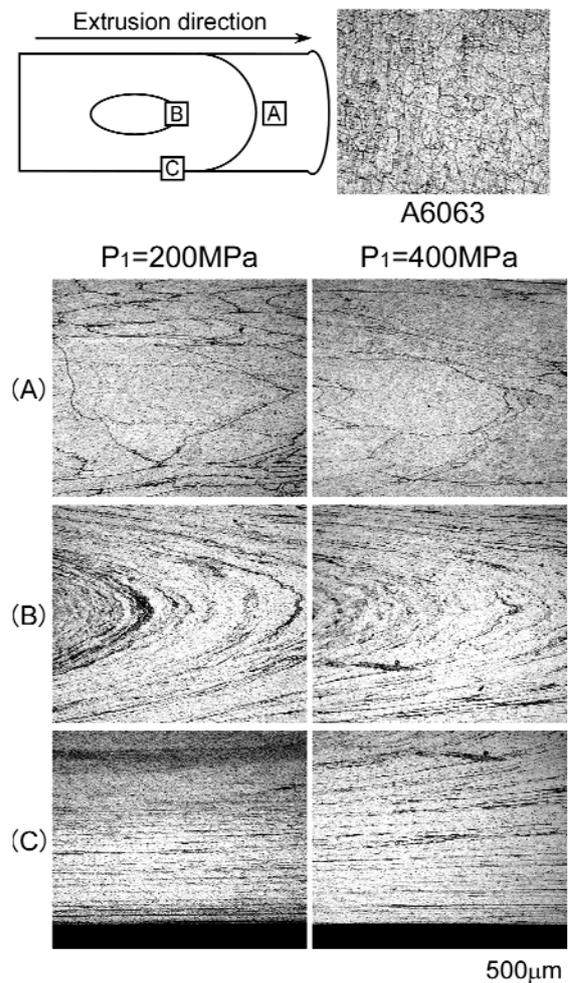


Fig.8 Microstructures of extruded material. (D= ϕ 4mm)

押出方向に平行な層状となり，出口径の減少に伴い層の間隔が細くなった。

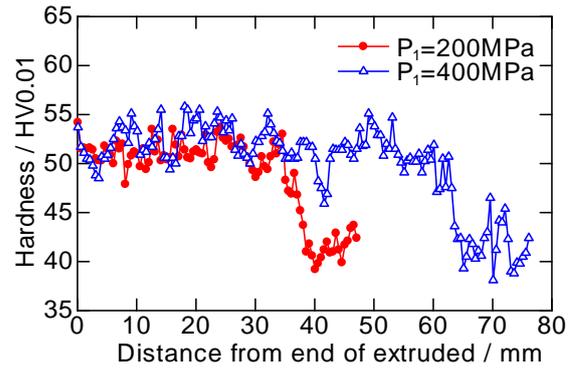
Fig.9 に押出材中央部の硬さ分布を示す．全条件で先端部の強く腐食された領域に相当する場所で，硬さは低い値を示した．この領域より終端部側では高い値を示したが，A6063-T5 に比較して低い値であった．このことは熱影響により軟化し，終端部側では結晶粒微細化により軟化割合が減少したものと考えられる．押出条件による硬さの違いは認められなかった．

Fig.10 に引張試験結果を示す．出口径 ϕ 4mm および ϕ 6mm では摩擦圧力の減少に伴い引張強さは向上したが，出口径 ϕ 5mm では摩擦圧力 400MPa で最高値を示した．本実験条件範囲内における引張強さの最高値は摩擦圧力 200MPa，出口径 ϕ 5mm で 150MPa を得た．これは A6063-T5 に比較して低い値であるが，A6063-T1 と同程度の強度⁴⁾であり，実用上問題ない強度であると考えられる．

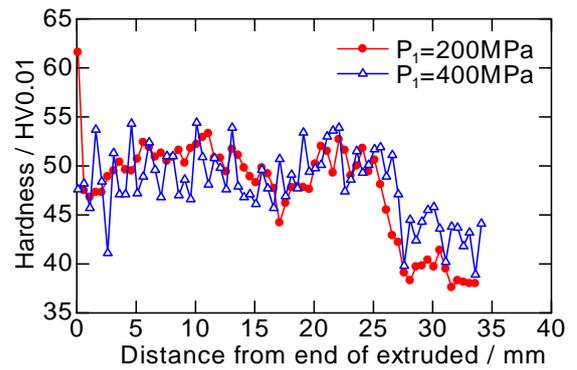
Fig.11 に引張試験後の試験片の巨視的組織を示す．破断位置はほとんどの条件で先端部付近で押出方向に凸状に破断した．

参考文献

- 1) 大西忠一，アルミニウム材料の環境リテラシー，軽金属，53(2003)，454-456.
- 2) 例えば，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切削屑の固相リサイクル，軽金属，59(2009)，354-358.
- 3) 大塚健太，仲間 大，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 回春期大会講演概要(2011)，71-72.



(a) $D = \phi$ 4mm



(b) $D = \phi$ 6mm

Fig.9 Hardness distributions of extruded material.

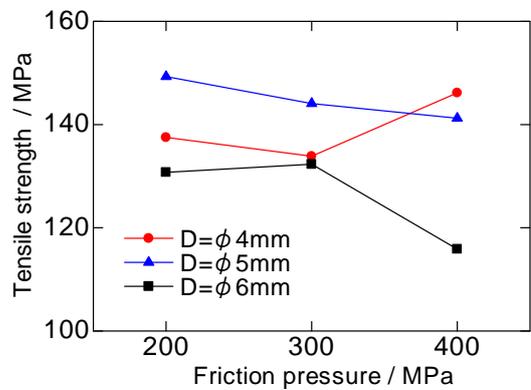


Fig.10 Results of tensile test.

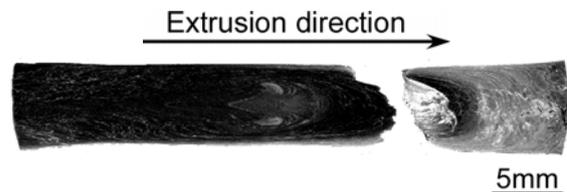


Fig.11 Macrostructure of tensile tested specimen. ($P_1=200\text{MPa}$, $D = \phi$ 6mm)

- 4) 40 周年記念事業実行委員会記念出版部会編，アルミニウムの組織と性質，軽金属学会，(1991)，480.