

軽金属材料切削屑を用いた摩擦固化成形体の機械的性質に 及ぼす予熱過程の影響

日大生産工(院) ○萩原 正敬

日大生産工

加藤 数良, 前田 将克, 野本 光輝

1. 緒 言

近年, 環境問題の観点から資源のリサイクルが進められている. 研究対象としたアルミニウム合金およびマグネシウム合金は, 鉄鋼材料に比較して比強度に優れていることから需要は増加傾向にある. これらの金属は省エネルギーの観点からリサイクルの研究開発が進められている^{1),2)}. リサイクルは主に溶解鋳造法によっているが, 切削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浮き上がり, ドロスの発生によって消費エネルギーが増大することが問題となっている. そこで, 切削屑を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.

著者らは軽金属材料の切削屑などの小片体のリサイクル方法には摩擦固化成形法を提案し, 実用的に使用可能な固化成形体を得ることが可能なことを報告した³⁾. 本方法の主なパラメータとして押出比, 押出圧力, 予熱圧力および予熱時間がある. これまでの報告は押出比と押出圧力の条件を組合せたものであり, 予熱過程におけるパラメータである予熱時間および予熱圧力に関する報告はなく, 予熱過程と固化成形体の関係については明らかではないのが現状である.

本研究では, AZ31マグネシウム合金および2017アルミニウム合金の切削屑を用いて摩擦固化成形法による成形を行い, 予熱過程が成形体の組織および機械的性質に与える影響について検討した.

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および2017-T351アルミニウム合金板を切削速度82 m/min, 送り速度600 mm/min, 切込み0.1 mmとして乾式フライス加工により作製したFig. 1に示す状態の切削屑を用いた. 用いた板材および切削屑の機械的性質をTable 1に示す. 切削屑

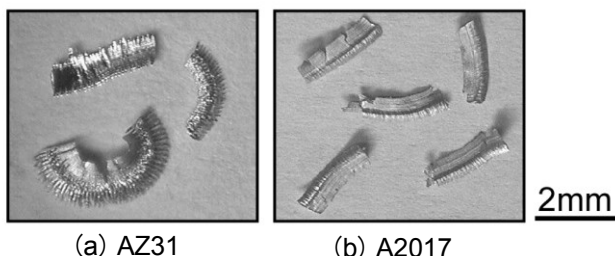


Fig.1 Appearances of chips.

Table 1 Mechanical properties of materials.

Materials		Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV0.1)
AZ31	Plate	249	28.7	56.9
	Chip	-	-	73.5
A2017	Plate	415	22.1	130
	Chip	-	-	151

Table 2 Processing conditions.

Materials		AZ31	A2017
Rotational speed	N (rpm)	2000	1000
Preheating pressure	P_0 (MPa)	20, 40, 60	
Preheating time	t_0 (s)	15, 30	
Extrusion pressure	P_1 (MPa)	200	
Quantity of filling chips	m (g)	10	15

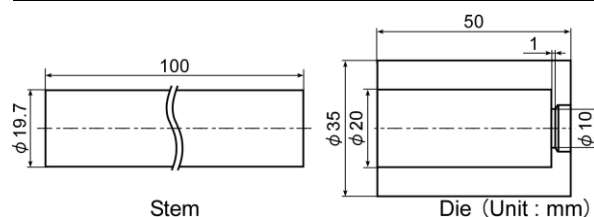


Fig.2 Shapes and dimensions of tool.

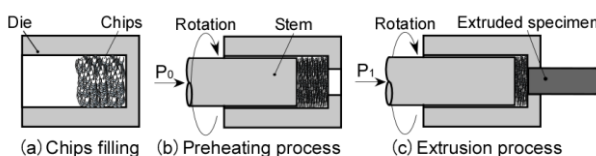


Fig. 3 Schematic illustrations of friction consolidation.

Effect of Preheating Process on Mechanical Properties of Friction Consolidated Light Metal Chips

Masahiro HAGIHARA, Kazuyoshi KATOH, Masakatsu MAEDA, Mitsuteru NOMOTO

の硬さが板材に比較して硬化したことは、切削加工の際に加工硬化したことによる。摩擦固形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。使用工具にはSKD61合金工具鋼を用いてFig. 2に示す寸法形状に機械加工したものを用いた。以後、回転側工具をステム、固定側工具をダイと称する。ステムとダイの間には焼き付き防止のために0.3 mmのクリアランスを設けた。実験方法はFig. 3に示すようにダイに切削屑を充填し(Fig. 3(a))、ステムを回転させた状態で挿入し、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(Fig. 3(b))、切削屑同士を接合させた後、押出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(Fig. 3(c))。得られた成形体の巨視および微視的組織観察、温度測定、硬さ試験、引張試験を室温で行った。引張試験片は平行部直径を5 mm、長さを10 mmとする。

3. 実験結果および考察

Fig. 4に温度測定位置を示すように、加工中の素材終端部から5 mm間隔に4点について、K種熱電対を用いて測定した。

Fig. 5に予熱過程開始からの温度履歴の一例を示す。温度は予熱過程開始から上昇し、押出過程終了時に最高温度を示した。押出過程において熱源であるステムが測定位置を通過した後も温度が上昇したのは、押出過程で素材がダイとステムのクリアランスに逆流し、ステム側面と摩擦したためと考える。

Fig. 6に予熱圧力と各条件での予熱過程終了時における測定位置(D)の到達温度の関係を示す。到達温度は予熱圧力および予熱時間の増加に伴い上昇した。このことから、予熱圧力の増加に伴い入熱量が増加していることが明らかとなった。

Fig. 7に予熱圧力と押出時間の関係を示す。押出時間は予熱圧力および予熱時間の増加に伴い短縮する傾向を示し、両素材で $P_0=60$ MPa、 $t_0=15$ sの条件で最短となり、AZ31では1.4 s、A2017は4.6 sであった。このことは、予熱圧力および予熱時間の増加に伴い入熱量が増大し、素材の軟化割合が大きくなったためと考える。

Fig. 8に成形体の外観を示す。成形体の全長は条件による差異は認められず、全条件で成形体の先端部は固化されずに押出されたため、変形した切削屑が観察された。A2017成形体は条件による外観上の差異は認められなかったが、AZ31成形体は予熱圧力および予熱時間の増加に伴い表面の凹凸が減少した。

Fig. 9に成形体横断面の巨視的組織を示す。全条件で先端部を除いて空隙のない健全な状

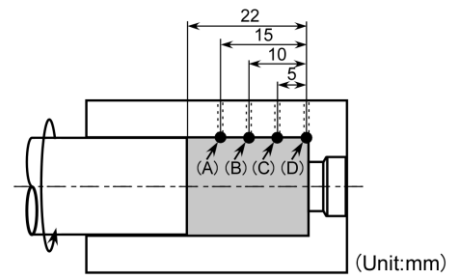


Fig. 4 Measuring positions of temperature.

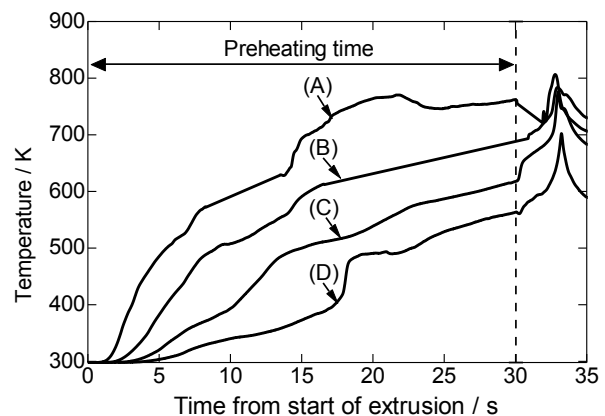


Fig. 5 Measuring results of temperature (A2017, $P_0=60$ MPa, $t_0=30$ s).

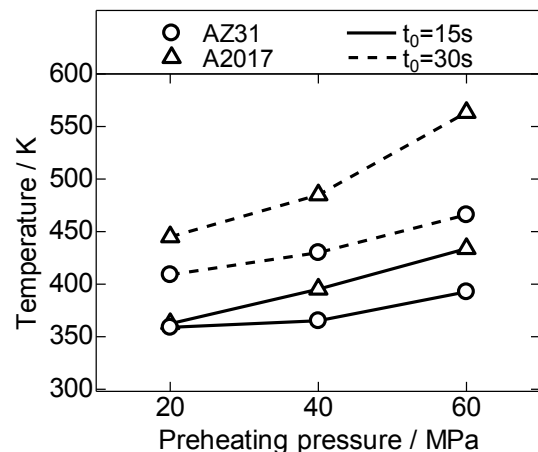


Fig. 6 Relation between maximum temperature and preheating pressure.

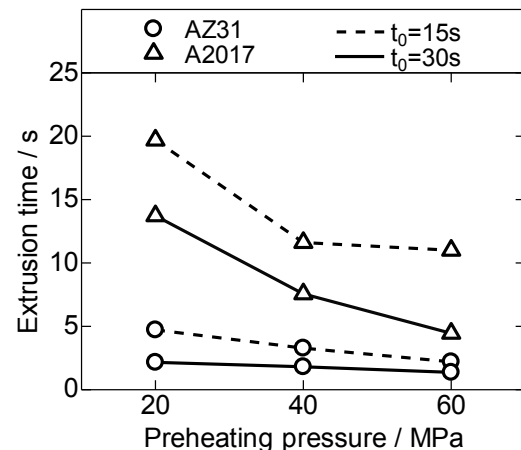


Fig. 7 Relation between preheating pressure and extrusion time.

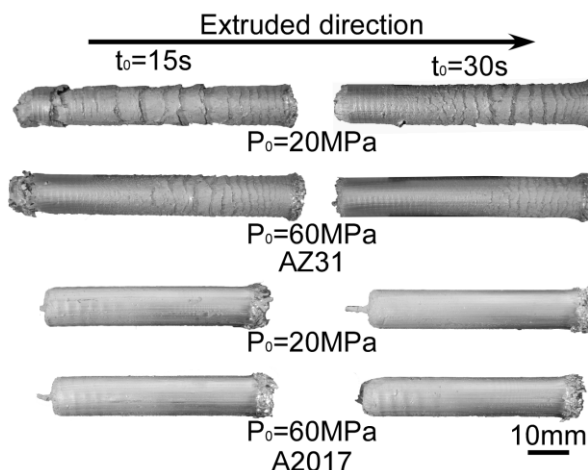


Fig. 8 Appearances of consolidated rod.

態であり、図は示さないが、成形体の相対密度は99.5 %以上の高密度な成形体を得られた。成形体は軸対称の組織を示し、AZ31成形体は先端部から約20 mm、A2017成形体は約13 mm離れた位置から終端部にかけて楕円状の組織が観察された。この組織は一般的な押出加工においても類似した組織が観察されている。先端部では押出方向に凸となる層状の組織を呈した。このことは、素材とダイ内壁面との間に摩擦が生じることで、素材外周部の流動が中心部に比較して遅れたためと考える。

Fig. 10にAZ31の成形体横断面微視的組織を示す。先端部(A)では母材に類似した組織を呈し、切削屑同士の接合界面が明瞭であった。このことは、先端部は終端部に比較して予熱過程でのステムからの距離が遠いため、熱および回転の影響が小さいためと考える。楕円状組織部(B)ではステムによる回転の影響を受けて母材に比較して微細な組織を呈し、予熱圧力の減少に伴い結晶粒は微細になる傾向を示した。また、図には示さないが、楕円状組織の終端部は中央部に比較して微細な組織を呈した。このことは、終端部は予熱過程におけるステムからの距離が近いこと、ステムによる回転の影響を受けたためと考えられる。

Fig. 11にA2017の成形体横断面の微視的組織を示す。先端部(A)はAZ31成形体と同様に母材に類似した組織および切削屑の接合界面が観察された。楕円状組織部(B)では等軸晶の再結晶組織が観察され、結晶粒は予熱圧力の減少に伴いわずかに微細化した。

Fig. 12にAZ31成形体中央部の硬さ試験結果を示す。硬さは全測定位置で母材、切削屑に比較して低い値を示した。このことは、切削加工による素材の加工硬化が回復したためと考える。また、巨視的組織で観察された楕円状組織部では先端部に比較して硬化が認められ、予熱

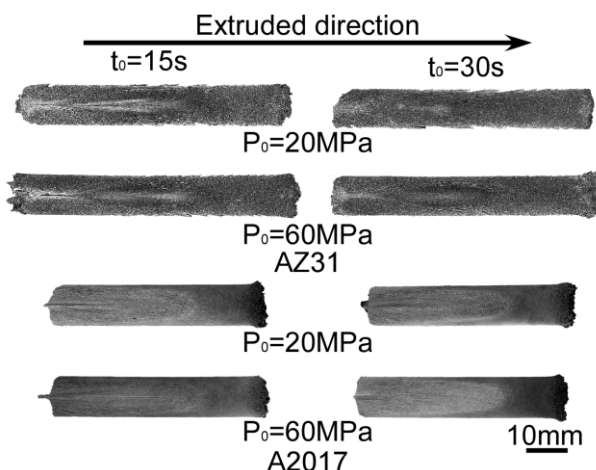


Fig. 9 Macrostructures of consolidated rod.

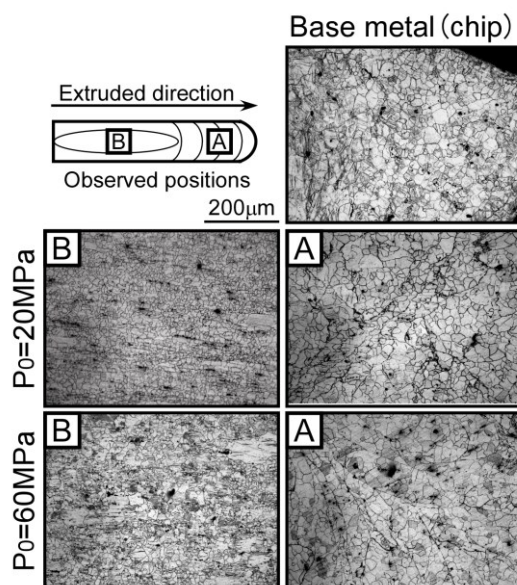


Fig. 10 Microstructures of consolidated rod (AZ31, $t_0=30s$).

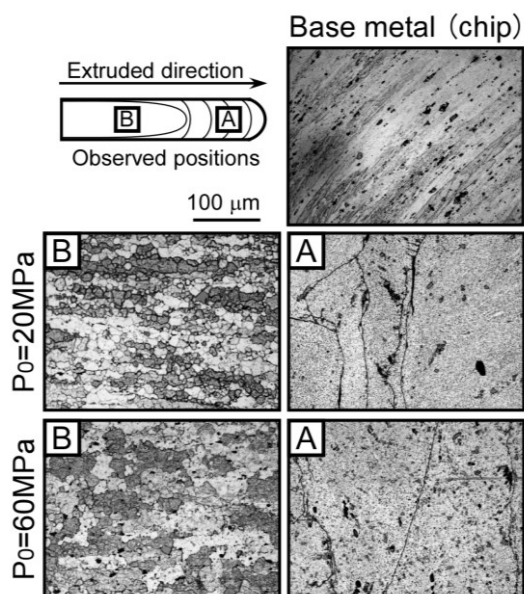


Fig. 11 Microstructures of consolidated rod (A2017, $t_0=30s$).

圧力の減少に伴いわずかに硬化した。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、結晶粒の微細化による硬化と考える。

Fig. 13に成形後14日間経過後のA2017成形体中央部の硬さ試験結果を示す。硬さはAZ31成形体と同様に全測定位置で母材に比較して軟化したが、先端部と楕円状組織部の硬さの差異はAZ31の成形体に比較して拡大した。また、予熱圧力の変化による硬さの差異は認められなかった。

Fig. 14に成形後14日間経過後の引張試験結果を示す。AZ31成形体の引張強さは予熱圧力の増加に伴いわずかに低下したが、全条件で母材と同等の値を示した。最高値は $P_0=20$ MPa, $t_0=30$ sの条件で274 MPaを示し、母材を上回る強度の成形体を得られた。A2017成形体の引張強さは $t_0=15$ sの条件では予熱圧力の減少に伴い増加する傾向を示し、 $t_0=30$ sの条件では予熱圧力による大きな差異は認められなかった。最高値は $P_0=40$ MPa, $t_0=15$ sの条件で387 MPaを示し、母材の93 %の値が得られた。図は示さないが、全条件で破断位置は楕円状組織部であり、伸びを伴わない脆性的な破断であった。

Fig. 15に各条件での予熱過程終了時の測定位置(D)における最高温度と引張強さの関係を示す。AZ31成形体の引張強さは加工温度の増加に伴いわずかに低下する傾向を示したが、条件範囲内では母材を超える値が得られた。A2017成形体の引張強さは加工中の最高温度が445 K以下の場合には母材の90 %以上の値を示したが、それ以上の加工温度の場合には引張強さは低下する傾向を示した。

4. まとめ

- 1) 予熱圧力および予熱時間を減少させることで加工温度は低下し、成形体の機械的性質が向上した。
- 2) 成形体の引張強さは加工温度の低下に伴い向上する傾向を示し、AZ31マグネシウム合金を用いた場合は466 K以下、2017アルミニウム合金を用いた場合は445 K以下の温度で固化成形することで、母材と同等の強度を持つ成形体を得ることができた。

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) 大西忠一, “アルミニウム材料のリサイクル環境とその課題”, 軽金属, 46(1996), 525.
- 3) 例えば, 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.

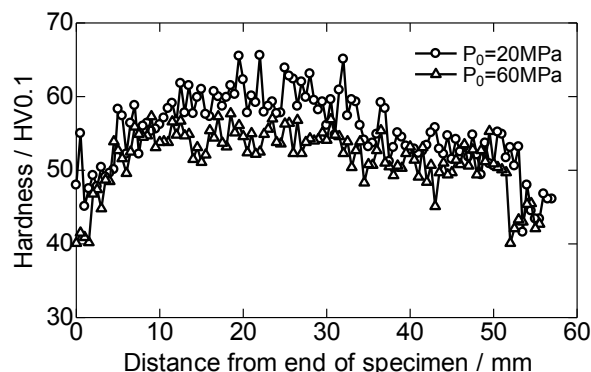


Fig. 12 Hardness distributions of consolidated rod (AZ31, $t_0=30$ s).

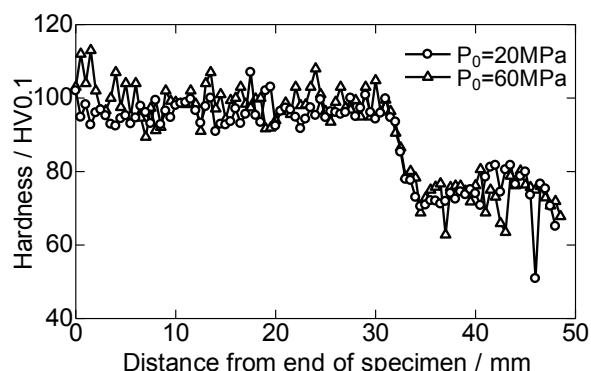


Fig. 13 Hardness distributions of consolidated rod (A2017, $t_0=30$ s).

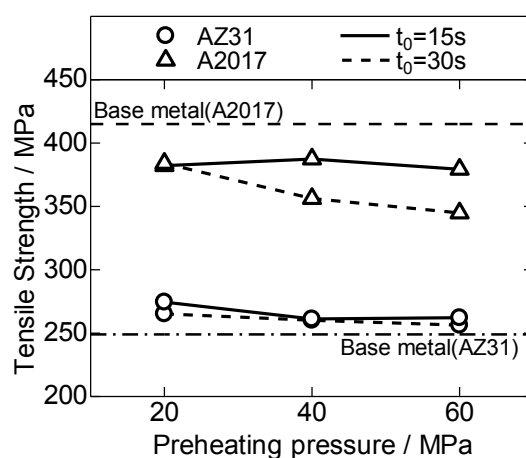


Fig. 14 Results of tensile test.

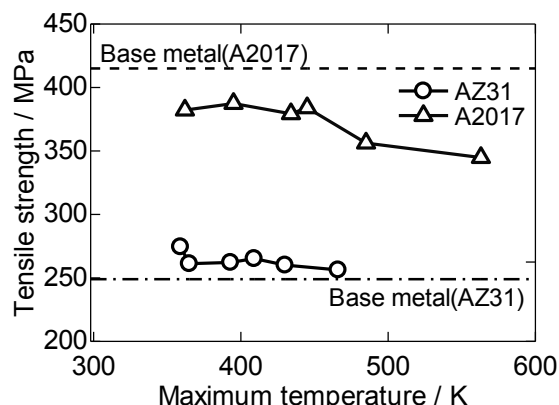


Fig. 15 Relation between Maximum temperature and tensile strength.