

強ひずみ加工によるアルミ合金切削屑の固化成形

小船 諭史*¹⁾ 神田 浩一*²⁾ 渡辺 茂幸*²⁾

Solidification of aluminum alloy chips by severe plastic deformation

Satoshi Kobune*¹⁾, Koichi Kanda*²⁾, Shigeyuki Watanabe*²⁾

キーワード：強ひずみ加工，粉末押出し成形，せん断変形，固相リサイクル，アップグレードリサイクル

Keywords：Severe plastic deformation, Powder extrusion process, Shear deformation, Solid-state recycling, Upgrade recycling

1. はじめに

実用金属の中で 2 番目に供給量が多いアルミニウムのリサイクルは，廃材を再溶解して，ダイカストや鋳造用地金などに再利用する方法が一般に用いられている⁽¹⁾。この方法よりも省エネルギーなリサイクル方法の一つとして，溶解を伴わない固化成形法が考えられる。熔融を伴わない固化方法としては，焼結法及び強ひずみ加工法に分けることができる。強ひずみ加工法では，これまでに，金属粉末や切削屑に圧縮荷重と同時にねじりモーメントを負荷する方法⁽²⁾⁽³⁾，熱間あるいは冷間で押し出し成形する方法⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾，圧縮荷重と同時にせん断荷重を負荷する方法⁽⁷⁾，摩擦を付加した押し出し方法⁽⁸⁾などが試みられてきた。本研究では，純アルミ粉末及びアルミ合金切削屑を固相状態で板材へ成形する際に，強ひずみ加工を施すことで，成形した板材の機械的強度を向上させることを目的とした。

2. 成形方法

成形方法の断面模式図を図 1 に，成形体と凹金型の一例を図 2 にそれぞれ示す。コンテナにディスクアトマイズ法により製造された粒子径 45 μm 以下の純アルミ粉末，あるいは市販の A1050H24 板材にフライス加工を施して得られた切削屑を投入し，パンチを介して押し出し圧力 $P=400$ MPa を加えた。これと同時に，コンテナ出口において，凹金型を押し出し方向と直角方向に速度 $V=50$ mm/min で駆動することにより，材料にせん断ひずみを導入した。成形前後の材料の断面積比を押し出し比 R とし，成形体の厚みが一定になるように，コンテナ及びパンチの断面積を変えることで， $R=15\sim 30$ となるように制御した。なお，成形体寸法は板厚 $t=0.5$ mm，幅 $w=10$ mm，長さ $l=100$ mm の短冊形状とした。

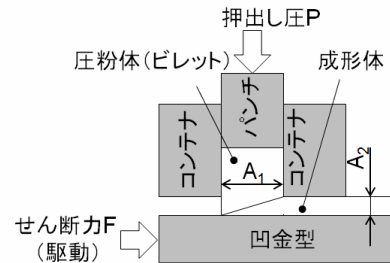


図 1. 成形方法の断面模式図

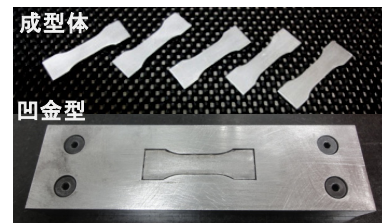


図 2. 成形体と凹金型の一例

3. 結果及び考察

3. 1 材料の変形挙動 成形中の材料がどのように流動するかを調べるために，本成形法を A1050 板材及び C1100 板材を交互に積層して作製したビレットに適用した。作製した成形体断面の光学顕微鏡写真を図 3 に示す。図 3 のように，成形体はせん断角を境界にして，積層方向の転回ならびに押し出し比 R に応じた板圧減少を伴いながら塑性流動していた。せん断角度から求められる相当ひずみは，押し出し比 R と共に上昇し， $R=20$ 時に相当ひずみ $\epsilon=12$ もの巨大なせん断ひずみを導入することができた。また，図 4 のように，純アルミ粉末を用いた場合の成形時に材料に負荷されるせん断力を測定した結果，押し出し比 R と共にせん断力が上昇することを確認した。

3. 2 純アルミ粉末の固化成形 アルミ合金切削屑をリサイクルする前段階として，基本的な特性を把握するため

事業名 平成 25 年度 基盤研究

*¹⁾ 実証試験セクター*²⁾ 光音技術グループ

に、純アルミ粉末を用いた成形実験を行った。成形体の断面組織から、成形体内部に目立った空隙は存在せず、粒子同士が良好に接合されており、また、相対密度は99%以上と真密度に近い状態であった。更に、腐食後の微視組織を観察したところ、粒子表面の酸化被膜が随所で消失し、粒子同士が結合していた。機械的性質の調査として引張試験を実施した。引張試験で得られた応力-ひずみ線図の一例を図5に示す。図5のように、押し出し比Rの上昇に伴い、引張強さが上昇し、延性は低下することが分かった。

3.3 アルミ合金切削屑の固相リサイクル フライス加工を施すことで得られた切削屑形状は、全長約2mm程度のせん断型切削屑であった。原料には、この切削屑を直接、あるいはボールミルで粉砕、整形したものを用いた。押し出し比R=20で作製した成形体は、切削屑がせん断ひずみを加

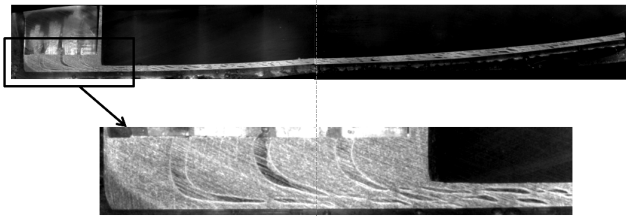


図3. せん断角周辺における材料の変形挙動

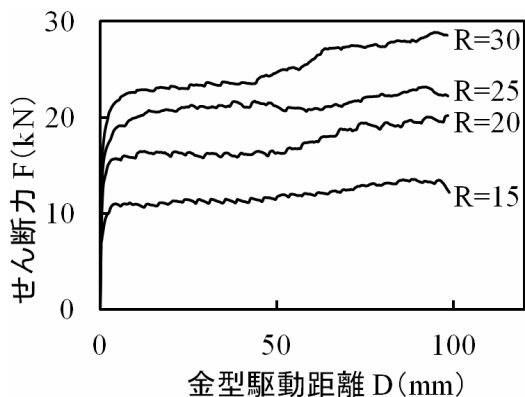


図4. 材料に負荷されるせん断力と押し出し比Rの関係

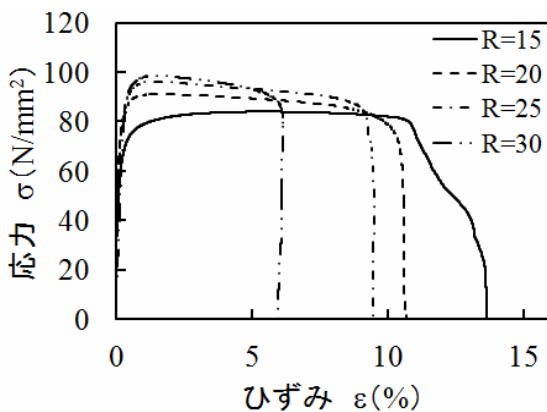


図5. 純アルミ粉末成形体の応力-ひずみ線図

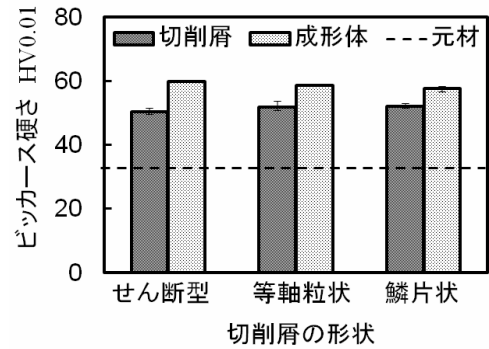


図6. リサイクル材のビッカース硬さ

えた方向に大きく伸張し、空隙を埋めるように成形されていた。相対密度は、切削屑の形状によらず99%以上であった。引張試験の結果、成形体の引張強さを元の材料より最大で2倍程度の211 N/mm²に向上させることができた。図6にリサイクル材のビッカース硬さ試験結果を示す。硬さについても、元の材料の約2倍とすることができた。これら機械的強度の向上は、成形時のひずみに加え、切削加工時に切削屑にひずみが導入されるためと考えられる。ただし、機械的強度が向上する一方、成形体の伸びは、元材より著しく低下しており、延性の改善が今後の課題となった。

4. まとめ

室温での強ひずみ加工により、アルミ合金切削屑の固相成形を試みた。その結果、切削前の材料と比較して引張強度が向上した成形体を得ることができた。今後、アルミ合金切削屑のアップグレードリサイクル手法として、更なる検討を行っていく予定である。

(平成26年7月7日受付, 平成26年8月15日再受付)

文 献

- (1)中村崇：「金属素材リサイクルのシステムと技術」日本エネルギー学会誌第87巻, pp.242-246 (2008)
- (2)久米裕ら：「圧縮ねじり加工による展伸用および鑄造用アルミニウム合金切削屑の固相リサイクル」第17回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2009) 講演論文集, p.304 (2009)
- (3)堀田善治：「巨大ひずみ加工による超微細組織制御」, 軽金属, 第60巻, 第3号, pp.134-141 (2010)
- (4)中村多聞ら：「冷間押し出しと圧延によるアルミニウム合金切削屑の平板状バルク材への再生」, 日本機械学会北越支部第47期総会講演会講演論文集, p.906 (2010)
- (5)山崎太郎：「マグネシウム合金 (AZ91D) の切削屑のリサイクル」, 富山県工業技術センター技術情報 95, p.5 (2004)
- (6)菅谷樹ら：「マグネシウム合金切削屑の摩擦圧接を応用した固相成形」, 日本大学生産工学部第46回学術講演会講演概要, pp.659-662 (2013)
- (7)武石洋征ら：「常温圧縮せん断法による結晶粒微細固相成形」, 日本材料学会誌 Vol.54, No.3, pp.233-238 (2005)
- (8)中村保ら：「金属薄板の摩擦押し出し成形法の開発」, 日本機械学会論文集 (C編) 59巻, 557号, p.193 (1993)