

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04766

研究課題名（和文）表面せん断押出による強度傾斜アルミニウム材料の創製

研究課題名（英文）Production of strength-graded aluminum by surface shear extrusion

研究代表者

紙川 尚也（Kamikawa, Naoya）

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：30530894

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、表面せん断押出という加工方法により、丸棒試験片の半径方向に不均一な変形組織を導入し、試料内部に強度の不均一性を意図的に形成した強度傾斜材料の創製を目的に立案されたものである。アルミニウム棒材に対して、高摩擦条件下での押出加工を施すことにより試料表面に大きなせん断変形を導入し、試料内部から表面に掛けて、組織・硬さ分布の異なる材料を創製することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、金属材料の強度・延性の両立を実現することを目的に、立案されたものである。実験では、丸棒試験片に対して高摩擦条件下で押出加工を施すことにより、金属材料の内部に不均一な変形組織を導入し、試料内部に不均一な組織・力学特性の分布を意図的に形成することに成功した。本手法は、金属材料の力学特性のさらなる改善を実現する有効な手段になると期待できる。

研究成果の概要（英文）：This research was motivated to produce strength-graded aluminum rod, where deformation distribution through the radius is heterogeneous, by surface shear extrusion. The aluminum rod sample was deformed by extrusion under high friction condition, which introduces very large shear strain near the surface area. As a result, sample with heterogeneous distribution of microstructure and hardness through the radius was obtained.

研究分野：塑性加工、組織制御

キーワード：押出加工 組織制御 力学特性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

平均結晶粒径が  $1\ \mu\text{m}$  以下の超微細粒金属材料は、粗大結晶粒材料の 2~4 倍という非常に高い強度を示す一方で、延性が非常に乏しいという欠点がある。特に、超微細粒材料の引張試験における均一伸びは数%程度と非常に小さいことが報告されている。超微細粒材料の引張試験における乏しい均一延性は、塑性不安定条件の早期発現により説明できる。結晶粒超微細化に伴い材料の強度が著しく高くなる一方で、超微細粒内の加工硬化能が低下するため、早期にくびれ変形が発生してしまうためである。超微細粒材料における延性の改善は、材料の高強度と高延性を両立するための大きな課題の一つである。

### 2. 研究の目的

本研究では、金属材料における高強度・高延性の両立を目指して、表面せん断押出を利用した強度傾斜材料の創製を試みた。丸棒状試験片に対して、高摩擦条件下で押出変形を施すと、試料表面に大きなせん断ひずみが導入される結果、試料の半径方向にひずみ分布が導入される。その後の焼鈍により再結晶をさせると、試料表面に超微細粒、試料内部に粗大粒が形成された強度傾斜材料を作製できる可能性がある。その結果、試料表面の超微細粒が高い強度を、内部の粗大粒が延性を担う、高強度・高延性を両立した力学特性を実現できると期待される。

そこで本研究では、高純度アルミニウムの丸棒試験片を用いて、表面せん断押出加工を施し、半径方向に形成される不均一変形組織の形成過程を明らかにすることを目的に実験を行った。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 供試材

本研究では、純度 99.99 % の高純度アルミニウム (4N-Al) を用いた。この試料に含まれる不純物元素の濃度は、0.004 mass % Si、0.003 mass % Fe、0.001 mass % Cu である。平均粒径  $58\ \mu\text{m}$  の完全再結晶組織を有する試料を出発材として用いた。

#### 3.2 表面せん断押出

図 1 に押出装置の外観写真と押出ダイス部の模式図を示す。直径 8 mm、長さ 35 mm の丸棒試験片を上部ダイスに挿入し試料上部からパンチで押し込み、入口直径 8 mm、出口直径 5 mm、ダイス半角  $15^\circ$  の押出ダイスに通過させることにより加工を施した。押出速度は  $0.5\ \text{mm/s}$  で一定とした。また、試料が押出ダイス内に留まらないように試料上部にダミー材を挿入して加工を行った。本実験では、ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) による潤滑押出と、潤滑剤を使用しない無潤滑押出の 2 種類の押出加工を施し、試料内部に導入されるせん断ひずみの制御を試みた。

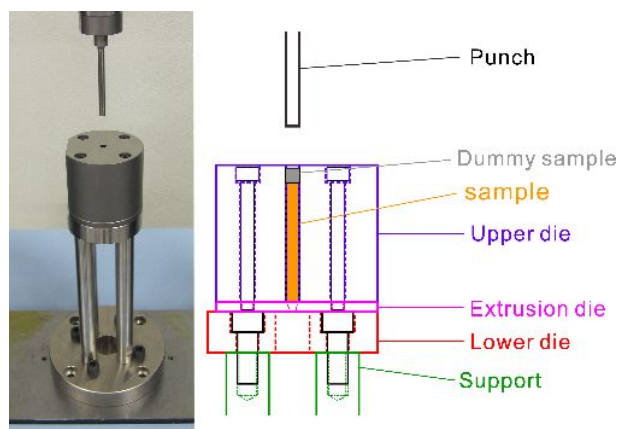


図 1 押出加工装置の外観写真と押出ダイス部分の模式図。

#### 3.3 組織観察

出発材および押出加工材の丸棒試験片の縦断面が観察面となるように、光学顕微鏡による組織観察を行った。

#### 3.4 ビッカース硬さ試験

出発材および押出加工材の丸棒試験片の縦断面が測定面になるように、ビッカース硬さ試験を行い、半径方向の硬さ分布を測定した。

#### 3.5 引張試験

出発材および押出加工材に対して引張試験を行った。押出加工材では、押出方向と引張方向が平行になるように、直径 5 mm、標線間距離 10 mm の丸棒試験片を切り出した。出発材では、直径 8 mm、標線間距離 10 mm の丸棒試験片を切り出した。室温、初期ひずみ速度  $8.3 \times 10^{-4}\ \text{s}^{-1}$  の条件で試験を行った。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 荷重・変位曲線

出発材に対して押出加工を施した時に得られた荷重・変位曲線を図2に示す。PTFEによる潤滑押出に比べて、無潤滑押出における荷重が著しく高いことがわかる。これは、無潤滑押出加工では試料とダイスとの摩擦が大きく、試料表面に大きなせん断変形が導入されていることを示唆する結果である。

##### 4.2 光学顕微鏡組織

押出加工材の光学顕微鏡組織写真を図3に示す。出発材は平均粒径が58 $\mu\text{m}$ の等軸再結晶粒組織を有していたが、潤滑条件に関わらず、初期結晶粒が押出方向に大きく伸長している様子が観察される。潤滑押出材では、半径方向の組織分布は比較的均一で、いずれの位置においても扁平した初期結晶粒の形状が判別でき非常に潤滑の良い均一押出加工が導入されていることがわかる。一方で、無潤滑押出材の組織分布は非常に不均一で、特に、表面付近の領域では、初期結晶粒の形状が判別できないほど大きなせん断変形を受けていることがわかる。また、丸棒の中心部にもある程度のせん断変形が導入されていることが示唆される。

##### 4.3 硬さ分布

出発材および押出加工材の半径方向の硬さ分布を図4に示す。出発材の硬さはHV22で半径方向にほぼ一定である。押出加工により材料の硬さは増加しているが、潤滑押出材の硬さは、多少のばらつきはあるものの、HV30~40の範囲に分布しており、比較的均一である。一方で、無潤滑押出材の硬さ分布は半径方向に不均一で、表面付

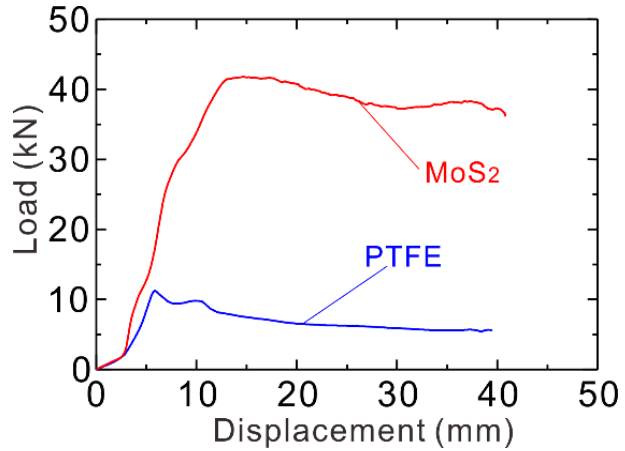


図2 押出加工における荷重・変位曲線.

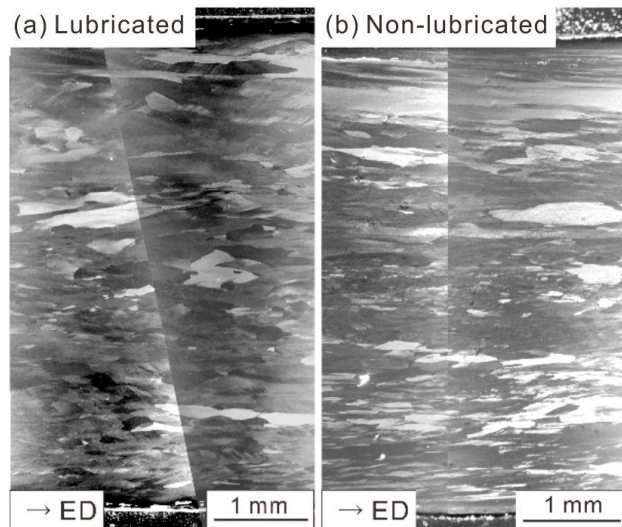


図3 押出加工材の光学顕微鏡組織.  
(a) 潤滑押出材、(b) 無潤滑押出材.

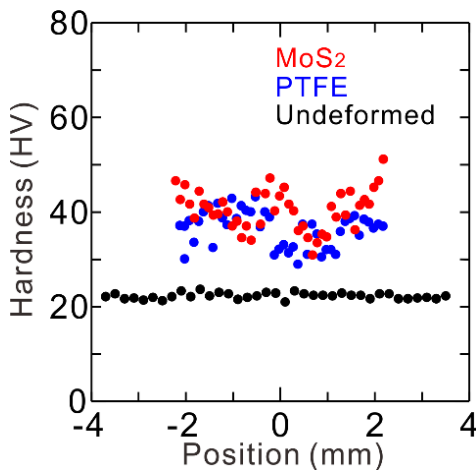


図4 出発材および押出加工材の硬さ分布.

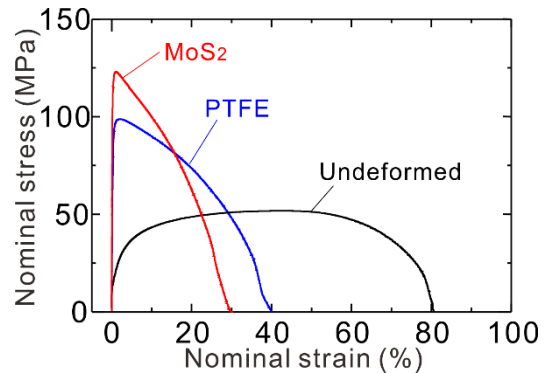


図5 押出加工材の公称応力・公称ひずみ曲線.

近と中心付近で HV40 ~ 50 程度の高い硬さを示す領域が存在する。これらの結果は、図 3 で示した組織分布と概ね一致している。無潤滑押出加工材では、試料表面付近に大きなせん断変形が導入された結果、結晶粒超微細化が促進されていることが示唆される。

#### 4.4 応力ひずみ曲線

出発材および押出加工材の公称応力・公称ひずみ曲線を図 5 に示す。押出加工材は、いずれも出発材に比べて著しく高強度化されていることがわかるが、潤滑押出材に比べて、無潤滑押出材の強度が高くなっている。やはり、無潤滑条件では、試料表面付近に導入される大きなせん断変形により結晶粒超微細化が促進され、試料表面の強度が高くなり、試料全体がより高強度化されたと理解できる。

#### 結言

表面せん断押出加工を利用すると、半径方向に不均一な組織・強度分布を持つ丸棒試験片を製作できることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 紙川尚也、駄賃場秀平、長谷川諒
2. 発表標題 表面せん断押出を施された純アルミニウム丸棒における半径方向の組織分布
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------