

補助事業番号 2018M-172

補助事業名 2018年度 高比強度を有する超微細粒アルミニウム的高速変形挙動の解明補助事業

補助事業者名 金沢大学 准教授・宮嶋 陽司

1 研究の概要

本研究では、次世代の高強度構造用金属材料として期待される、結晶粒径が数百nmである超微細粒金属の、高速変形を高解像・高速度カメラを用いて2次的に解析することを目的とする研究であり、以下を調査した。

- (1) 超微細粒金属の高速変形領域における均一変形の解析
- (2) 超微細粒金属の高速変形領域における不均一変形の解析

2 研究の目的と背景

構造用金属材料とは、鉄橋やビルの鉄骨、航空機、船舶、自動車等で用いられる、構造を維持する材料である。近年、従来の金属加工手法では付与できない大量の塑性ひずみを金属材料に与える巨大ひずみ加工によって、金属の結晶粒径を1 μm 未満に超微細化することが可能となった。その結果、結晶粒超微細化によって従来の合金化に匹敵する高強度化が実現可能となった。こうして作製された超微細粒金属の低速変形領域における機械的特性は明らかになっているが、交通事故や大地震における変形の様な高速変形領域における機械的性質は不明である。本研究では、高速・高解像度カメラとデジタル画像相関法を用いて、超微細粒金属の高速変形挙動を明らかにする。こうして得られた知見を元に、単位重量あたり強度(比強度)が極めて高い超微細粒アルミニウムの輸送用機器への応用を目指す。

3 研究内容

(http://materials.w3.kanazawa-u.ac.jp/main_Ja_tab.html)

(1)超微細粒金属材料の作製

図1(a)に示すような、直径10mm、長さ60mmの、よく焼鈍して結晶粒径を数十 μm 以上にした工業用純アルミニウム棒材に対して、巨大ひずみ加工の一種である Equal-channel angular pressing (ECAP)と呼ばれる特殊な塑性加工を8回施した。この巨大ひずみ加工とは、通常の塑性加工では与えることの出来ない量の塑性ひずみを与えることの出来る加工法である。この手法を工業用純アルミニウムに対して施すことで、通常は数十 μm 以上である結晶粒径を数 μm 未満に超微細化



図 1 (a) ECAP 加工前と(b) ECAP 加工後の工業用純アルミニウム棒材

出来る。巨大ひずみ加工の特徴の一つに、加工前後で形状がほぼ変化しないことが挙げられる。実際に、図1(b)に示す加工後の試料の形状は、加工前とほぼ同等の円柱状であることがわかる。

(2)高速・高解像度カメラのセットアップと力学試験

図2に、引張試験中の引張試験片の変形の様子を高速度カメラによって観察する際のセッティングを示す。高速度カメラはリースをすることで、より大きなメモリの機種を使用することが出来、結果として幅広い引張試験速度条件中に高速観察が可能となった。

図3に高速度カメラを使用して1000fps撮影した引張試験片の(a)引張前と(b)引張途中の画像を示す。なお、fpsとは1秒間に何枚の画像を処理できるかを示し、1000fpsの場合は、1秒間に1000枚、言い換えると、1/1000秒に1枚の画像を撮影可能となる。これは、従来用いていたカメラの性能(10fps)の100倍の高速撮影を実現できたことを意味する。

図4(a)に、画像から伸びを解析する自作プログラムの表示部を示す。この自作プログラムを利用して、画像から伸びを検出した場合のグラフを図4(b)に示す。なお、縦軸がひずみで、横軸が何枚目の画像かを示している。ここで、ひずみとは、最初の長さを1とした時に、長さがどれだけの割合で増えたかを示す指標である。図4(b)の場合は、超微細粒材料の為、ひずみが0.05程度で不均一変形を開始し、破断に至る。その為、ひずみが0.05程度で飽和していることがわかる。この様にして、均一変形中の変形挙動を解析した。その結果、超微細粒では粗大粒では見られなかった、引張方向に対して斜めに起こるせん断変形が観察されたことが判明した。また、このせん断変形は、ひずみ速度が大きくなるほど顕著に見られ、超微細粒材料の高速変形領域の特徴であると考えられる。

(4)超微細粒金属の高速変形領域における不均一変形の解析

また、図5に示すように、市販の画像相関プログラムを用いて不均一変形の解析を行った。図中の青の四角で囲まれている部分が最終的に破断した領域で、緑の四角で囲まれている部分は破断部から十分離れていると考えられる。これらの領域は、カメラで引張試験片を観察



図 2 引張試験の高速度カメラを用いた測定のセッティング。なお、3 脚の上に固定されているのが高速度カメラである。

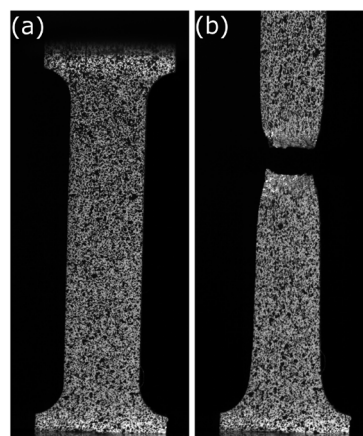


図 3 1000fps で撮影した、試験片の画像。(a)引張前と(b)引張後。

しているため、破断時の様子から逆算して設定した。また、オレンジの縦線が図中に描かれているが、これは自作プログラムで解析したのと同様の解析を行うための指標を表したものである。

自作プログラムでは、ある特定の数点だけを追跡していたが、市販の画像相関プログラムでは、薄い橙色で表されている、引張試験片の平行部とR部の全領域の変形を追跡することが出来た。こうして、高速・高解像度カメラを用いて取得した全画像に対して処理を行い、引張方向のひずみ、せん断方向のひずみ、相当ひずみの3種類のひずみを導出して比較、検討を行った。

すると、くびれが生じて破断に至る図5において青の四角で示した領域と、くびれが生じず均一変形のみが起こった図5で緑の四角で示した領域では、ひずみの成分が異なることが判明した。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究から、巨大ひずみ加工を施して作製した超微細粒に対して種々のひずみ速度にて引張変形を施すと、その均一変形と不均一変形は通常使われている粗大粒材とは異なる事が明らかとなった。今回の研究では、従来の引張試験とはことなり、高速度・高解像度カメラを用いて試験片の表面の変形を2次元的に解析

することが可能であった。そのため、従来は、 σ - ϵ カーブ上で最大引張強度後の不均一変形とだけ扱われていた領域において、具体的に超微細粒材料がどのような変形をしているかが明らかになった。具体的には、引張方向のひずみやせん断方向のひずみの割合が、不均一変形を起こしていない領域とは異なることが明らかになった。新規構造用材料としての応用が期待されている超微細粒材料の高速変形に関する知見は、今後の実用化を考える上で必須である。また、超微細粒材料の加工を考える上で、均一変形領域と不均一変形領域で、引張ひずみとせん断ひずみの割合が異なるという結果は、粗大粒材料と比べると均一伸びが比較的小さいものの、プレス成形等が可能である可能性を示唆しており、極めて興味深い。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者は、構造用金属材料の力学特性の研究を行っている。従来は、応力-ひずみ曲線だけで評価されている超微細粒金属材料の力学特性を、変形の2次元的な解析へと発展させることが出来た。

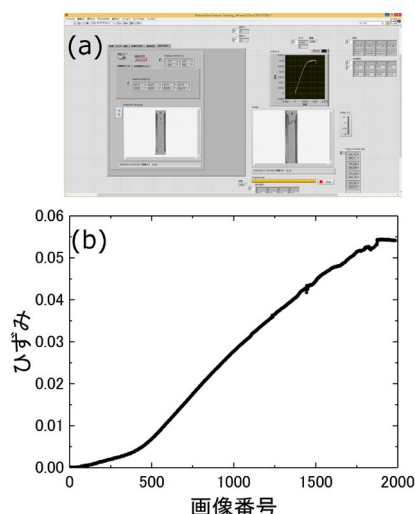


図 4 (a)自作した、引張中の画像からひずみを測定するプログラムのインターフェースと、(b)得られたひずみのデータ。

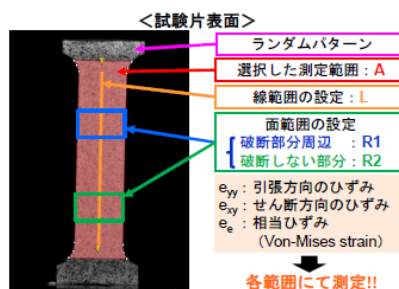


図 5 購入した市販の画像相関プログラムを用いて不均一変形を解析する様子。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. 超微細粒材の変形挙動のハイスピードカメラによる観察と解析, 泉 寿享, 石川 和宏, 宮嶋 陽司, 日本金属学会2019年春季大会
2. FCC金属のUFG材における変形挙動のハイスピードカメラによる解析, 泉 寿享, 石川 和宏, 宮嶋 陽司, 日本金属学会・日本鉄鋼協会北信越支部総会
3. FCC金属におけるUFG材の高速変形解析, 泉 寿享, 石川 和宏, 宮嶋 陽司, 日本金属学会 2020年春季大会

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

報告HP (<http://materials.w3.kanazawa-u.ac.jp/ringring.html>)

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 金沢大学理工研究域機械工学系

(カナザワダイガクリコウケンキュウイキキカイコウガクケイ)

住 所: 〒920-1192

金沢市角間町

担 当 者: 准教授 宮嶋陽司(ミヤジマヨウジ)

担 当 部 署: 知的材料システム(チテキザイリョウシステム)

E - m a i l: yoji-miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

U R L: <http://materials.w3.kanazawa-u.ac.jp/>