

# 琉球大学学術リポジトリ

## ねじり押し出し法による純アルミニウムの高強度化の試みに関して

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2008-09-02 キーワード (Ja): キーワード (En): Grain Reference, Strengthening, Equal-Channel Angular Pressing, Strain hardening, Torsion, Extrusion 作成者: 国吉, 和男, 山根, 琢矢, 近藤, 了嗣, 真壁, 朝敏, Kuniyoshi, Kazuo, Yamane, Takuya, Kondou, Ryouji, Makabe, Chobin メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/7068">http://hdl.handle.net/20.500.12000/7068</a>

## ねじり押し出し法による純アルミニウムの高強度化の試みに関して\*

国吉 和男<sup>1</sup>, 山根 琢矢<sup>1</sup>, 近藤 了嗣<sup>2</sup>, 真壁 朝敏<sup>2</sup>

## Strengthening of Pure-Aluminium Specimen by Application of Extrusion with Torsional Deformation

Kazuo KUNIYOSHI<sup>1</sup>, Takuya YAMANE<sup>1</sup>, Ryouji KONDOU<sup>2</sup> and Chobin MAKABE<sup>2</sup><sup>1</sup>Okinawa Industrial Federation, 1831-1 Oroku, Naha, Okinawa, 901-0152, Japan<sup>2</sup>Mechanical Systems Engineering Department, University of the Ryukyus, 1 Nishihara, Okinawa, 903-0213, Japan

## Abstract

New grain refinement and strengthening technique by referring ECAP (equal channel angular pressing) technique was developed. ECAP technique is effective hot working technique for grain refinement and strengthening of metal material. This technique is able to give the high shear plastic strain for the material without transformation of specimen geometrically. However, traditional ECAP technique restricts material type and shape, especially length. Such kind of restricts caused various problem for practical use. In the present study, traditional ECAP dies was modified and a process of cold working was proposed to give the high plastic strain for long length pure-aluminum specimen. The effectiveness of present method for improvement mechanical property was confirmed by hardness test.

**Key words:** Grain Reference, Strengthening, Equal-Channel Angular Pressing, Strain hardening, Torsion, Extrusion

## 1. 緒言

一般に利用されている金属材料は多結晶であり、構成要素である個々の結晶粒が微細である程、高強度な機能材料になることが知られている。このことから、従来、材料の靱性の向上や超塑性特性を再現するため、結晶粒微細化処理技術が注目を集めている。特に、塑性加工を利用した技術は、加工硬化や回復、再結晶を利用することで、材料の種類の制約を受けず、しかも、成形と同時に微細化処理を行うことも可能である。更に、圧延や押し出し加工技術を応用した技術ならば、既存の集合組織制御との並行が期待できるため、材料の組織制御技術として極めて有力な手段となる。

ECAP (Equal-Channel Angular Pressing) 法<sup>(1-6)</sup>は、被加工材料を金型内部で交差する同径の二つの溝孔 (Channel) から押し出す方法で、単純な機構で実現でき

る上に、加工前後で材料の断面形状をほぼ変化させることなく、強ひずみ与えることができるため、近年、新しい集合組織制御技術<sup>(1)</sup>、結晶粒微細化処理技術<sup>(2)</sup>として着目を集めている。しかしながら、従来の ECAP 法においては、適用材料の形状・寸法が制限されており、また、目的とする結晶粒度の結晶組織を得るために、複数回の工程を必要とした。本報告では、従来の ECAP 法とは異なり、一度 (或いは、少数回) の工程で、材料に効率的に強ひずみを与え、しかも、適用材料の種類や長さに制限が生じない新しい結晶粒微細化処理方法を提案すると共に、純アルミニウムに、本手法を適用し、材料の結晶粒径の測定と Vickers 硬度の測定結果を通して、本手法の実現性を検討した結果を述べる。なお、本報告においては、加工手法を紹介することが目的であるので、本加手法の実現性の可能性を検討した結果を述べるにとどめる。また、ECAP 法では均一強度特性を有する微細結晶材料の開発を目指しているのに対して、本研究手法による材料は、部材の表面と内部で強度特性が傾斜した疲労に強い材料の開発を目指している。そのため、結晶組織に関しては本研究では、まだ検討していないことを予め

受理2008年2月19日

2005年11月4日、日本機械学会材料力学カンファレンスで発表済み

\*工学部機械システム工学科

(Mechanical Systems Engineering Department)

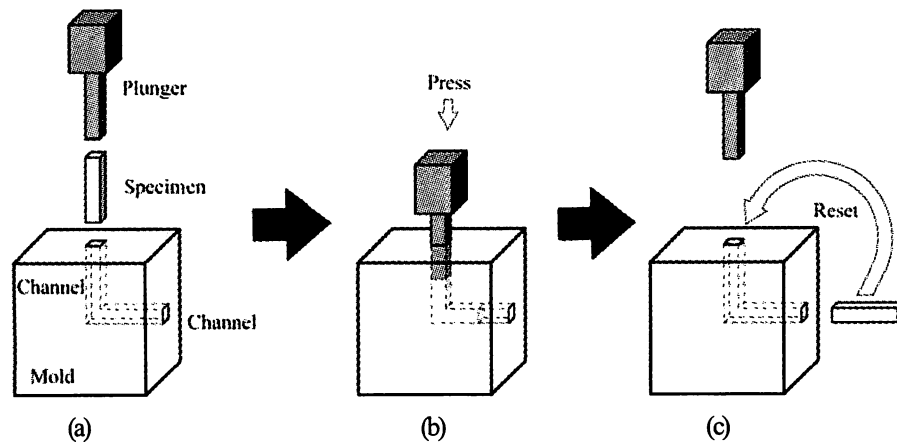


Fig. 1. Schematic illustration of process of ECAP (equal-channel angular pressing) technique. (a): insertion of the specimen in the channel (b): process of extrusion by using plunger and (c): reset the specimen in the channel.

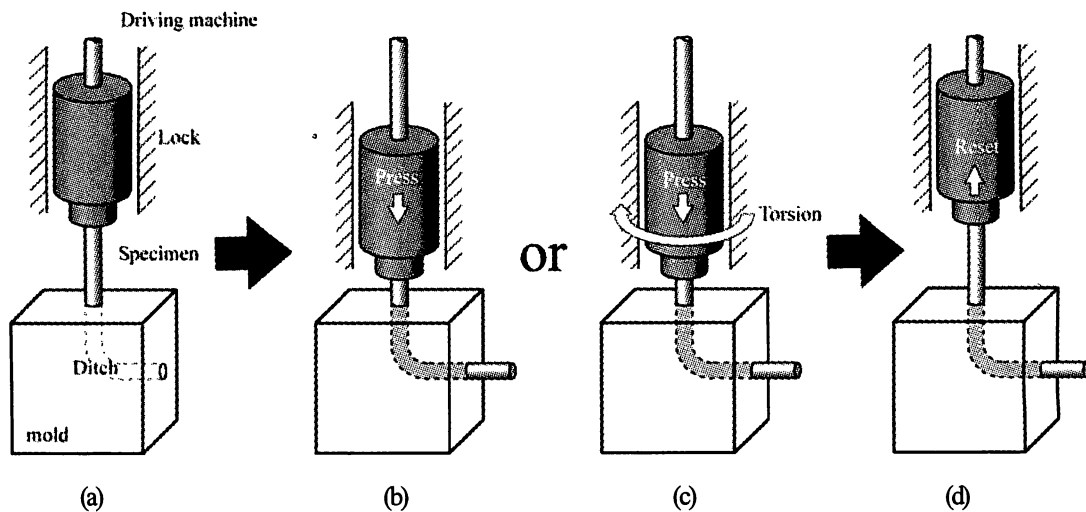


Fig. 2. Schematic illustration of new grain refinement technique by using present method's mold and material testing machine. (a): lock of the specimen by driving machine, process of (b): extrusion, (c): extrusion with torsion and (d): reset the position of the driving machine.

め述べておきたい。

## 2. 実験方法

**2-1 ECAP機構の応用について** 従来のECAP法による結晶粒微細化処理工程の概略図を図1に示す。その手法における金型は、同径の二つの矩形溝孔 (Channel) が内部で交差している。そして、金型に材料を挿入し、プランジャーで押出すことで、溝孔交差部で材料にせん断変形を与える機構となっている<sup>4,5</sup> (この加工方法では、材料を挿入する側の溝孔長さよりも、寸法が長い材料には適用することができない)。その手法では、せん断変形後の結晶組織は、被加工材の軸心に対して傾斜した分布に偏重するため、均一な結晶組織に制御するためには、被加工材を軸心に対し  $90^\circ$  回転させて、最低でも4回は押出す必要がある。そのため、結果的に適用材料は展性に優れた純銅などに限定される。そこで、ECAP法の

機構を参考にして、別の機構で材料を加工し長い寸法の材料にも適応が可能な手法を検討した。

本研究で提案する新しい加工方法の概略図を図2に示す。本研究の段階では、結晶粒の微細化の検討までは至らず、加工による機械的性質の改善の検討を行っている。これらは、試験片を挿入装置、押し込み装置、ねじる装置、改良型ECAP金型およびこれらの固定台から構成される。本研究では、図2のような機構で駆動する実験装置を新たに開発することなく、材料の押し込み、ねじり、及び、固定台には、一般的な材料試験機 (軸力ねじり試験機) と旋盤を用いた。

押し込みと同時に材料にねじりを与えるため、金型の溝孔断面は丸穴、溝孔交差部は曲線路とした。なお、本報告は、押し込みと同時にねじりを与えた場合の有効性を検討するため、溝孔直径10mmに対して、曲率半径10mmに一工程辺りの変形量を緩和させた。図3には旋

Table 1 Chemical composition (mass, %).

Charge Num	Al	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	V	Ti	Other
W7574	99.8	0.10	0.06	0	0	0.01	0	0.01	0.01	≤0.03

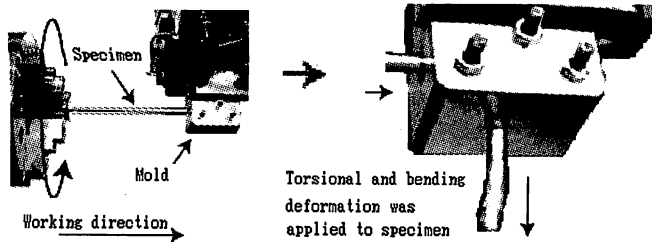


Fig. 3. Observation of working process of the present method.

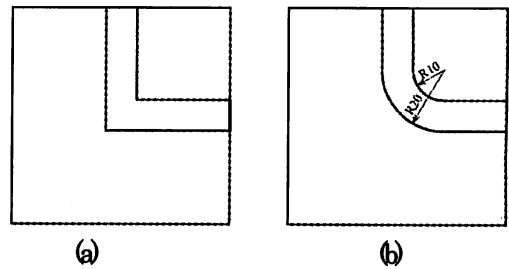


Fig. 4 Shape of cross section of mold. (a):ECAP mold, (b):Present mold.

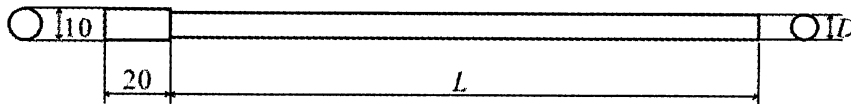


Fig. 5. Geometry of specimen:  $D=9\text{mm}$ ,  $L=150\text{mm}$ .

盤を用いて加工を施した場合のつかみ部と金型の様相を示した。図4は、従来の ECAP 法で用いられている金型と本研究手法で用いた金型断面の概略図である。本実験では丸棒を用いるために交差する2つの溝には角がなく滑らか曲線で連結した形状となっている（詳細な寸法は省略するが金型は割形となっており、2つの型を合わせることによって中心部に溝を持つ形となる）。

**2.2 試験片と試験条件** 実験材料(被加工材料)には、純アルミニウム (A1070BDH14) の直径 10mm の丸棒材を用いた。その化学成分を表 1 に示す。試験片形状を図 5 に示す。本報告で提案した手法により、適用材料の種類、及び、試験片長さの制限は回避できることを期待して実験を進めた。本実験では加工手法の提案を目的としており、押し出し部の長さが  $l=150\text{mm}$  に対して、押し出し部の断面直径は  $D=9\text{mm}$  とした。なお、予備実験を行って金型の溝の孔径 10mm に対する本実験の最適試験片直径は、 $D=9\text{mm}$  であることが分かった(次節に示すように、予備実験では  $D=8\text{mm}$ ,  $8.5\text{mm}$ ,  $9\text{mm}$  そして  $9.5\text{mm}$  について検討している)。

加工時には強制的に試験片を金型の溝に押し込むので、金型溝壁面と試験片の接触部の摩擦が生じる。本実験ではそれを軽減するため、潤滑剤として二硫化モリブデンを試験片表面と溝部に塗布した。

Table 2: Working conditions (Specimen No. 1~7)

Specimen	S (rpm)	F (mm/r)	S/F
No. 1	0.1	50	0.002
No. 2	1	140	0.007
No. 3	2	140	0.014
No. 4	3	140	0.021
No. 5	4	140	0.029
No. 6	5	140	0.036
No. 7	6	140	0.043

加工条件を表 2 に示す。表中の記号の S は毎分の回転数、F は一回転当たりの送り速度であり、それらの比 S/F の値も示した。試験片 No.1 は球材料試験機を用いた場合であり、No. 2~7 は旋盤を用いて加工した場合である。加工条件からわかるように、S/F 値に着目すると旋盤を用いて加工した場合においてより効率的な作業ができたことになる。本報告ではお述べないが、試験片の直径を大きくすると S/F 値はさらに大きく設定できる。表 2 に示した条件で加工した試験片について、機械的性質の改善を調べるため、硬さの比較検討を行った(実験には Akashi 製 Vickers 硬度試験機 (MVK-G1) を用いた)。

押し出し前後における試験片断面上の Vickers 硬さ値の測定は、測定間隔 500 $\mu\text{m}$  で等間隔に行い、試験片断面上の硬さ分布から検討を行った。この場合、試験片断面内の測定点数は 400 点以上に及ぶため、硬さ分布を求めるに当り、十分な測定点数が含まれていると考えられる。全ての試験片において、実験結果は定性的には同様なものとなった。本報告では、その概要を紹介する。

### 3. 実験結果と考察

3-1 ねじり押し出し加工における成形について 提案した新しい加工法において、加工途中での試験片の外形変化を検討した例を図 6 に示す。この結果は予備実験を行って得られた結果である。試験片をねじりながら、金型に押し込み、曲経路を通過させると試験片直径によって、試験片は湾曲したり、挫屈したりした。図 6 に示した試験片は実験中折し、金型を分割して試験片を取り出した後の写真である。

図 6(a), (b) に示すように、溝孔直径 10mm に対して試験片断面直径が過小の場合、押し出し後の（溝通過後の）試験片形状に反りが生じた。この理由としては、溝孔と試験片側面と隙間が大きい場合は、試験片の変形にせん断変形よりも曲げ変形の影響が大きくなるため、試験片形状に反りが生じると考えられる。そして、図 6(c) の場合の試験片断面直径が 9mm の場合において良好な結果が得られた。この場合、溝側面と試験片に働く拘束等に関して、加工後の形状が直線的になっていることが考えられる。図 6(d) に示すように試験片と溝側面との隙間が過小の場合、試験片側面と溝孔間に働く摩擦が大きくなり、試験片握み部と金型の間で（溝を通過する前）に、試験片が挫屈している。この結果から、本実験では試験片断面直径を 9mm とした。そして、本研究手法によって、ECAP 法（金型の溝形状に対応して、矩形断面の棒に適用されている）に類似した結晶強化のための塑性加工が

丸棒材でも可能であることが期待できる。なお、表 2 に示したすべての実験条件において試験片直径を  $D=9\text{mm}$  にするとねじり押し出し後も、図 6(c) と同様に試験片が直線的で曲がったりせず、良好に加工された。なお、試験片の断面を溝鋸型にした場合には、加工によって試験片にせん状の凹凸が生じるため、その影響によって回転速度を 20rpm 以上の高回転にすると試験片がねじ切れることがあった。したがって、ねじり押し出し加工を施す場合の試験片断面形状は矩形では問題が生じることが明らかであり、断面形状は円形にする必要がある。

3-2 機械的性質（硬さ）の変化について 図 6(c) に示した試験片の場合に関して、試験片断面の Micro-Vickers 硬さ分布を調べた結果を図 7 に示す。なお、同図中の上部が孔溝曲経路の内側、下部が孔溝曲経路の外側に位置している。なお、硬さ値の表示範囲は、比較のために HV25~HV55 に固定している。なお、結果は省略するが、加工前における試験片断面の硬さ分布は HV36 でほぼ均一であった。この結果においては、同図中の下部の局所的な領域において硬化が進行していることから、曲経路の外側の側面との接触部で硬化が進行していることがわかる。また、図 7 の結果から、材料の材料中心部から試験片表面層部に向かって硬さが上昇する傾斜機能特性をもった材料が作成できていることがわかる。他の実験でも同様な結果が得られており、特に試験片 No.7 においては表面の硬さが HV65 の硬さに達している部分があった。本実験では ECAP 法において得られるような材料内部における均一変形は生じておらず、試験片側面と孔溝側面に働く摩擦の影響により、不均一変形が生じていることが示唆される。

通常使用される金属材料の多くにおいては、疲労き裂が材料表面から発生し、それが進展していくことによ

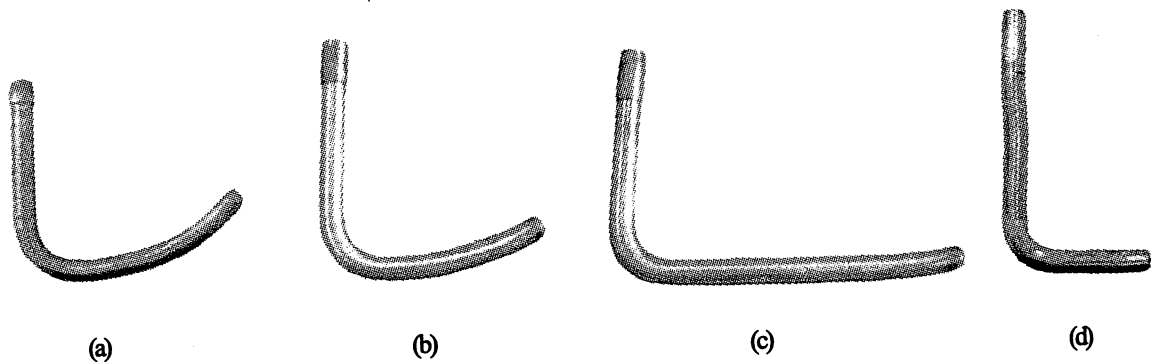


Fig. 6. Relationship between diameter and geometry of pure-aluminum specimen after the pressing with torsion by present method. (a)  $D=8\text{mm}$ , (b)  $8.5\text{mm}$ , (c)  $9\text{mm}$  and (d)  $9.5\text{mm}$ .

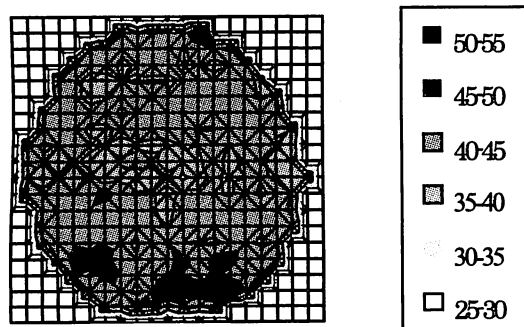


Fig. 7. Example of distribution of Vickers hardness after the extrusion with specimen No. 1

て破壊が生じる。また、一般的に材料の硬さが硬い場合には、疲労き裂が発生し難く、逆に発生した疲労き裂は材料が軟らかいと進展し難い。したがって、き裂の発生しやすい表面で硬く、内部で軟らかい傾斜機能特性を有する材料を開発すると、疲労に関して良好な材料が得られることになる。そのようなことから、図7から検討した限り、本実験手法によって疲労に対して抵抗力がある材料が開発できることが期待される。

#### 4. 結 言

ECAP (Equal-Channel Angular Pressing) 法の応用および用いる金型の工夫によって、適用材料の種類や長さ制限が生じない新しい塑性加工方法について検討した。主な結果は以下のとおりである。

- (1) 本研究で提案した新しい加工方法で、純アルミニウム等の結晶粒の微細化および材料の高強度化が行えることが期待できる。

- (2) Vickers 硬さ試験の結果から、押し込みと共にねじりを与えることによっても結晶粒の微細化が進行し、硬化することが期待できることがわかった。
- (3) 被加工材の硬さ分布から本加工手法を用いると、材料の中心部から表層部に向かって硬さが上昇する傾斜機能特性をもった材料が作成できる。そして、それは疲労に強い材料が開発されることを示唆している。

最後に本研究に対して、多大な助力を賜った当時琉球大学工学部学生、小塚貴司氏に感謝申し上げます。また、本研究は科研費 (18560083) の助成を受けたものであり、ここに記して感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- (1) V. M. Segal, *Materials processing by simple shear*, *Mater. Sci. Eng.*, **A197**, (1995), 157-164
- (2) R. Z. Valiev, *Structure and mechanical properties of ultra fine-grained metals*, *Mater. Sci. Eng.*, **A234-236**, (1997), 59-66
- (3) Y. Iwahashi, J. Wang, Z. Horita, M. Nemoto and T. G. Langdon, *Principle of equal-channel angular pressing for the processing of ultra-fine grained materials*, *Scripta Mater.*, **35-2**, (1996), 143-146
- (4) K. Nakashima, Z. Horita, M. Nemoto and T. G. Langdon, *Influence of channel angle on the development of ultrafine grains in equal-channel angular pressing*, *Acta. Mater.*, **46-5**, (1998), 1589-1599
- (5) Y. Wu and I. Baker, *An experimental study of equal channel angular extrusion*, *Scripta Mater.*, **37-4**, (1997), 437-442
- (6) P. B. Prangnell, C. Harris and S. M. Roberts, *Finite element modeling of equal channel angular extrusion*, *Scripta Mater.*, **37-7**, (1997), 983-989