

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 27 日現在

機関番号：13201
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21560743
 研究課題名（和文）ねじり調製によりミクロ組織を制御した難加工材の高速・低温塑性加工プロセスの開発
 研究課題名（英文）Development of Plasticity Process at High Speed and Low Temperature for Poor Workability Materials prestrained by Torsion Deformation
 研究代表者
 古井 光明（FURUI MITSUAKI）
 富山大学・理工学研究部（工学）・准教授
 研究者番号：90262972

研究成果の概要（和文）：ねじり変形を与えることにより AZ31B マグネシウム合金の結晶方位がランダム化し、押し出しによる異方性が緩和される。また、最適なねじり調製を施すことにより、AZ31B マグネシウム合金丸棒を室温にて転造加工し、良好な M8 ねじを作製することに成功した。

研究成果の概要（英文）：The crystal orientation of AZ31B magnesium alloy was randomized by torsion working. It was succeed that high quality M8 screw was fabricated by the optimum torsion working preliminary thread rolling at room temperature.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：塑性加工

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年では、日本の産業を支える製造業においても、地球環境保全やコスト低減など社会ニーズへの対応を迫られている。押し出しをはじめとする金属成形産業においても他ではなく、省資源・省エネルギーはもとより、加工温度の低温化や加工速度の高速化による生産性の向上が至上課題となっている。例えば難加工材料であるマグネシウム合金の押し出し生産性は、マグネシウム合金の中では加工性が良好な AZ31 合金においても、6000 系アルミニウム合金に比べてかなり劣っている。高速で押し出し加工を行うことは、生産性向上やコスト低減につながると共に、ストレッチャーによる形状矯正が可能な温度以

上に型材温度が保持されるため、矯正加工が容易になるメリットがある。また、押し出し温度を低温に設定する方が微細なミクロ組織が得られ、型材の機械的性質が飛躍的に改善される。今後、情報家電製品のみならず、自動車をはじめとする輸送機器や福祉機器などの様々な産業分野にマグネシウム合金押し出し型材の利用を拡大していくためには、マグネシウム合金の特徴を生かしながら、押し出しの生産性や型材の品質などの問題を克服していかなければならない。

(2) 一方、工業的に実用化されているシンプルな塑性加工のひとつにねじり加工がある。ねじり加工は被加工材のねじり中心から表面に向けて、導入されるひずみ量が増加す

る原理的な特徴がある。このねじり加工を押し出しの前工程に組み込み、押し出しに先立ってピレットにねじり加工を施すと、多量のひずみを付与されたピレット表層部が押し出し時の雰囲気温度やコンテナ、ダイスとの摩擦による加工発熱によって局部的に動的連続再結晶を起こし、微細粒組織を形成する。最密六方格子構造に起因して加工性に乏しいマグネシウムはまた本質的に結晶粒径依存性が高い材料であり、結晶粒を微細化することによって延性が著しく改善される。すなわち、ねじりによって多量のひずみを表層部に蓄積したマグネシウムピレットでは、微細結晶粒組織の形成に伴う加工性の改善によって押し出し荷重が減少し、ひいては押し出しの低温・高速化や押し出し比の増加をはじめとする押し出し性の改善が図れる。また、押し出しコンテナやダイスの寿命向上、潤滑剤の無塗布も期待できる。事実、室温でわずか 270° ねじった AZ31B マグネシウム合金は押し出し時の最高荷重が劇的に低下し、250°C の押し出し温度においては、ねじり調製なしのピレットに比べて約 40ton (約 25%) の荷重減少が達成される。加えて、ねじり調製した試料は、AZ31B マグネシウム合金の押し出し実作業温度である 350°C より 150°C も低い 200°C においてでさえスムーズに押し出しできるのに対し、ねじり調製を行わない場合はダイスの最大許容荷重である 200ton を超えて押し出しできないことを明らかにしている。同様な最高荷重の顕著な低減は、高強度アルミニウム 7075 合金超々ジュラルミンでも起こることを報告している。

(3) 生産性の向上と共に、各種産業では機器装置の高性能化、使用環境の過酷化に伴い、強度、靱性、耐食性およびリサイクル性に優れる素形材のニーズが高まっている。塑性加工の分野でも、材質の改善を主とし、加工精度の超精密化、サイズの超微細化、形状の多自由化、加工表面の高機能化に対応すべく、形と特性の作り込みが実施されている。ねじや歯車を製造する転造加工の業界においても他ではなく、締め付けトルクが大きいねじの開発が鋭意進められている。軽量で大きなトルクのねじは部材の強度・信頼性を高めるだけでなく、合計 3000 本ものねじが使われている自動車など輸送機器の燃費向上に伴う省エネルギー・環境保全にも役立つ。研究代表者らは大トルクねじの製造にねじり調製プロセスを適用することを検討し始めている。本応募研究に先立って行った予備実験において、室温でわずか 270° ねじった AZ31B マグネシウム合金では、ねじり調製なしの場合に比べて、2 倍以上のねじりトルクを有することを明らかにしている。ねじり調製は塑性加工の低温・高速化のみならず、形材特性の向上にも効果的であることがわか

ってきた。

2. 研究の目的

環境調和性の高いプロセス制御型材料加工研究の一環として、ねじり加工を利用した素形材の調製による低温・高速塑性加工プロセスを開発することが本研究の目的である。

(1) これまでのねじり調製押し出しにおける成果や経験を活かして、加工荷重の効果的な低減と形材特性の向上をもたらすねじり調製転造の最適加工条件を確立する。

(2) ねじり調製と転造によるせん断変形のシナジー効果によって微細組織を形成し、高強度と高靱性、良好な表面性状と耐食性を併せ持つマグネシウム合金ねじの創製を目指す。

(3) ねじり調製の過程で結晶が微細・ランダム化するメカニズムを解明すると共に、それらによる知見に基づいて、さらなる結晶粒微細化・ランダム化に加えて、マイクロ組織制御に向けたねじり調製転造プロセスの設計指針を得る。

3. 研究の方法

直径 7.2mm、長さ 230mm の AZ31B マグネシウム合金押し出し丸棒に、673K、72ks の均質化処理を施した。片側回転式ねじり加工機を用い、室温にて標点間長さ 150mm の試料に対し、最大 3 回転 (1080°) の一方向ねじり加工を行った。ねじりの回転速度は 1rpm である。ねじ転造加工は丸ダイス CNC 転造装置を用いて、室温にて行った。ダイスの切込み速度は 1.1mm/s、回転数は 120rpm、切込み量は 0.575mm である。ねじり加工した試料は、マイクロ組織や結晶方位を確認するために、光学顕微鏡による観察や X 線回折を行った。X 線回折パターンは回折角度 30~80° の範囲を 2.4° /min で走査し、CuK α 線を用いて測定した。室温転造により得られた M8 ねじの山部や谷部の形状は、実体顕微鏡を用いて観察した。

4. 研究成果

(1) 種々の角度で一方向ねじり加工した AZ31B マグネシウム合金丸棒の表面からの距離に対するマイクロ組織の変化を図 1 に示す。いずれのマイクロ組織にも変形双晶が認められる。また試料表面付近およびねじり加工量が多いほど双晶が顕著に発現している。ねじり加工によるせん断ひずみの導入によって、結晶粒が微細化する傾向があり、3 回転の一方向ねじりを与えた試料では、その平均結晶粒径は 9 μ m となった。

(2) ねじり加工した AZ31B マグネシウム合金丸棒の表面からの距離に対する硬さの変化を図 2 に示す。試料表面近傍では回転角度によらずいずれも 65HV 程度の硬さを示す。

一方、試料表面から 1~2mm の位置では、ねじりにより導入されたせん断ひずみの量に準じて、3 回転のねじりを与えた試料が最も硬い。また、試料表面からの距離に対する硬さの変化は、ねじりによるせん断ひずみの量もさることながら、結晶粒径や変形双晶の量、結晶方位などにも影響されると考えられる。

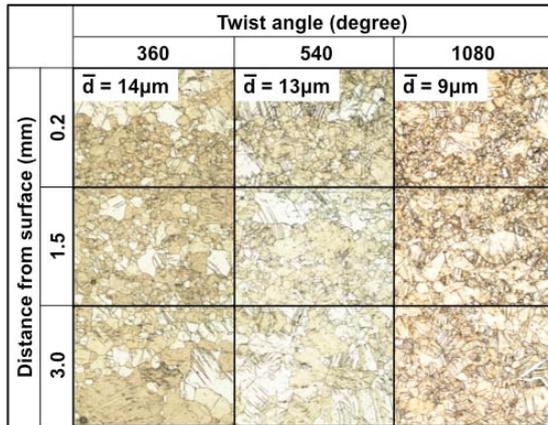


図 1 一方向ねじり加工した AZ31B マグネシウム合金丸棒のマイクロ組織

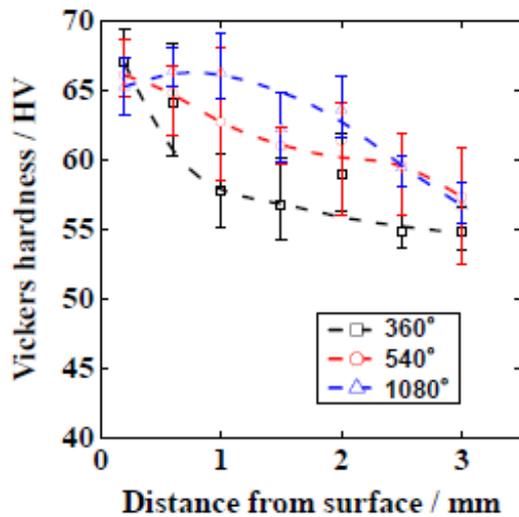


図 2 ねじり加工した AZ31B マグネシウム合金丸棒の表面からの距離に対する硬さの変化

(3) 図 3 は種々の状態における AZ31B マグネシウム合金丸棒の X 線回折図形を示す。(a) は押し出しま材、(b) は均質化処理材、(c) は 3 回転のねじり加工材の結果である。いずれも押し出し方向に対して垂直な断面について同定を行った。(a) の押し出材では(1011)面や(2021)面などの錐面も観察されたが、(1010)面での回折強度が著しく高く、主に柱面により構成されている。また、(b) の均質化処理を行うことで柱面である(1010)面のピークは減少した。一方、3 回転のねじりを与えた (c) では、柱面である(1010)面の回折強度が低下し、錐面である(1011)面の回折

強度が上昇している。また、押し出しま材では見られなかった底面の(0002)面や、錐面の(1012)面および(1013)面等のピークも現れている。すなわち、ねじり加工を施すことで結晶方位がランダム化し、押し出材の異方性が緩和されたことが示唆される。

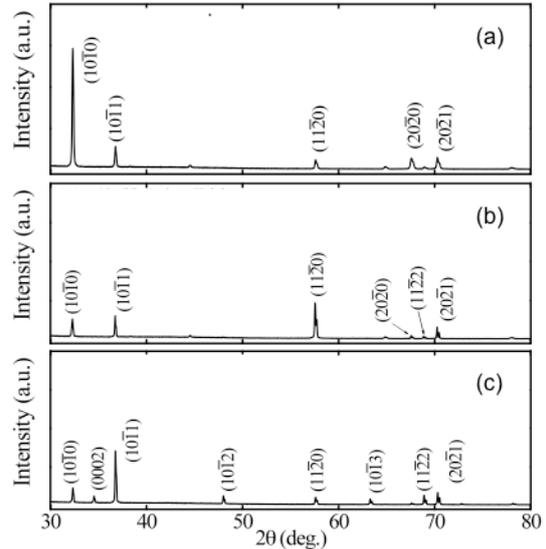


図 3 AZ31B マグネシウム合金丸棒の X 線回折図形 (a) 受入れ材、(b) 均質化処理材、(c) 3 回転ねじり加工材

(4) 転造ねじの山谷部形状に及ぼすねじり回転角度の影響を図 4 に示す。ねじり加工に伴う結晶方位のランダム化により、360° のねじり加工材ではねじ山頂部における欠けが減少した。一方、540 および 1080° のねじり加工材では、試料表層部の加工硬化によって、ねじ山頂部と谷底部分における割れが増加する傾向がある。

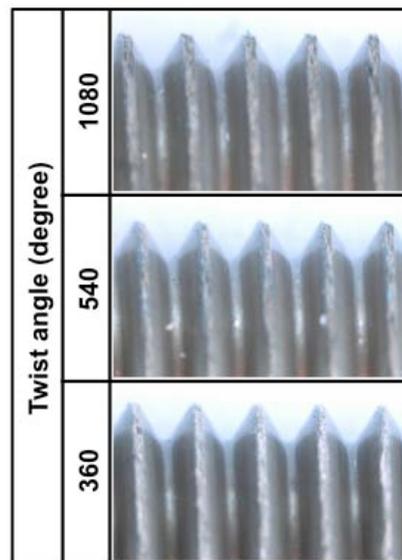


図 4 転造した M8 ねじの山谷部形状に及ぼすねじり回転角度の影響

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① M. Furui, T. Morita, T. Aida and H. Anada, Microstructure Evolution of AZ31B Magnesium Alloy pre-strained by Torsion Working during Warm Compressive Deformation, Proceedings of the 8th International Conference on Magnesium Alloys and Their Applications, 2009, pp. 326-330.
- ② K. Aoyama, M. Furui and S. Ikeno, Microstructure Evolution in AZ31 Magnesium Alloy worked by Torsion at Warm Temperature, Materials Science Forum, Vol. 654-656, 2010, pp. 727-730.
- ③ K. Kume, M. Furui, S. Ikeno, Y. Ishisaka and M. Yamamoto, Screw Form Rolling of Beta Type Titanium Alloy preliminary worked by Torsion, Materials Science Forum, Vol. 654-656, 2010, pp. 906-909.
- ④ M. Shinsen, M. Furui, S. Ikeno and T. Nagae, Deformation Characteristics in Alpha Type Brass worked by Torsion, Materials Science Forum, Vol. 654-656, 2010, pp. 1251-1254.
- ⑤ K. Mizushima, T. Aida, N. Takatsuji, M. Furui, M. Ohta, Y. Ishisaka and M. Yamamoto, Effects of Back-Torsion Working on Thread Rolling Workability at Room Temperature of AZ31B Magnesium Alloy, Proceedings of the 10th International Conference on Technology of Plasticity, 2011, pp. 100-102.

[学会発表] (計 17 件)

- ① 青山剛士、會田哲夫、古井光明、穴田博，ねじり調製による Mg-Li 合金の低温押出し，軽金属学会第 116 回春期大会，平成 21 年 5 月，登別グランドホテル
- ② 山田洋司、會田哲夫、古井光明、穴田博，引張応力を付加してねじり加工した AZ61 マグネシウム合金の温間圧縮変形，軽金属学会第 116 回春期大会，平成 21 年 5 月，登別グランドホテル
- ③ 足立大樹、會田哲夫、古井光明，ねじり戻し加工による 7075 合金棒の微細組織変化，軽金属学会第 117 回秋期大会，平成 21 年 11 月，電気通信大学
- ④ 青山剛士、古井光明、池野進，温間ねじり加工したアルミニウムおよびマグネシウムのマイクロ組織変化，日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会北陸信越支部平成 21 年度連合講演会，平成 21 年 12 月，長岡技術科学大学
- ⑤ 久米一弘、古井光明、池野進、石坂祐輔、山本将之，ねじり・ねじり戻し加工した β 型チタン合金棒の形状変化とマイクロ組織，日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会北陸信越支部平成 21 年度連合講演会，平成 21 年 12 月，長岡技術科学大学
- ⑥ 水島和俊、會田哲夫、古井光明、高辻則夫、中野昭三、山本将之，AZ31B マグネシウム合金押出材の室温機械的性質に及ぼすねじり加工と熱処理の影響，日本塑性加工学会第 19 回北陸支部講演会若手技術者・研究者-産学官研究交流会，平成 22 年 3 月，富山大学
- ⑦ 久米一弘、古井光明、池野進、石坂祐輔、山本将之，ねじり・ねじり戻し調製した β 型 Ti 合金のねじり変形特性とねじ転造，軽金属学会第 118 回春期大会，平成 22 年 5 月，関西大学
- ⑧ 足立大樹、柳翔吾、古井光明、會田哲夫，温間ねじり加工による 7075 合金丸棒の微細組織変化，軽金属学会第 118 回春期大会，平成 22 年 5 月，関西大学
- ⑨ 青山剛士、古井光明、池野進，温間ねじり加工した AZ31B マグネシウム合金のマイクロ組織変化，日本金属学会 2010 年秋期 (第 147 回) 大会，平成 22 年 9 月，北海道大学
- ⑩ 久米一弘、古井光明、池野進、石坂祐輔、山本将之，ねじり・ねじり戻し調製によるねじり変形特性とねじ転造性，日本金属学会 2010 年秋期 (第 147 回) 大会，平成 22 年 9 月，北海道大学
- ⑪ 足立大樹、古井光明、會田哲夫，ねじり/ねじり戻し加工に伴う A7075 合金丸棒の微細組織変化，日本金属学会 2010 年秋期 (第 147 回) 大会，平成 22 年 9 月，北海道大学
- ⑫ 水島和俊、會田哲夫、高辻則夫、古井光明、太田昌幸、山本将之、石坂祐輔，AZ31B マグネシウム合金押出材の室温機械的性質に及ぼすねじり戻し加工の影響，塑性加工学会第 61 回連合講演会，平成 22 年 10 月，山形大学
- ⑬ 青山剛士、古井光明、池野進，ねじり加工した AZ31 マグネシウム合金のマイクロ組織変化に対する加工温度の影響，軽金属学会第 119 回秋期大会，平成 22 年 11 月，長岡技術科学大学
- ⑭ 久米一弘、古井光明、池野進、會田哲夫、石坂祐輔、山本将之，ねじり・ねじり戻し調製による β 型 Ti 合金の強度特性とねじ転造，軽金属学会第 119 回秋期大会，

- 平成 22 年 11 月，長岡技術科学大学
- ⑮ 吉田克英、會田哲夫、足立大樹、古井光明、高辻則夫，Al-Mg-Si 系アルミニウム合金の機械的性質に及ぼす押しねじり加工条件の影響，軽金属学会第 119 回秋期大会，平成 22 年 11 月，長岡技術科学大学
- ⑯ 青山剛士、古井光明、池野進，恒温ねじり加工に伴う AZ31B マグネシウム合金のミクロ組織変化，日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会北陸信越支部平成 22 年度連合講演会，平成 22 年 12 月，富山大学
- ⑰ 久米一弘、古井光明、池野進、會田哲夫、石坂祐輔、山本将之，ねじり・ねじり戻し調製による変形特性とねじ転造性，日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会北陸信越支部平成 22 年度連合講演会，平成 22 年 12 月，富山大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

研究成果の一部は下記のウェブページにて公開している。

<http://www3.u-toyama.ac.jp/forming/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古井 光明 (FURUI MITSUAKI)

富山大学・大学院理工学研究部 (工学)・准教授

研究者番号：90262972

(2) 研究分担者

會田 哲夫 (AIDA TETSUO)

富山大学・大学院理工学研究部 (工学)・准教授

研究者番号：20283062

(3) 研究協力者

Terence G. Langdon

南カリフォルニア大学・航空・機械工学および材料科学科・教授