

平成 21 年 5 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560724  
 研究課題名（和文） ビレットのねじり調製を組み合わせた Mg 合金用低温・高速押しプロセスの開発  
 研究課題名（英文） Development of Extrusion Process at Low Temperature and High Speed for Magnesium Alloys prestrained by Torsion Working  
 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

## 研究成果の概要：

AZ31B マグネシウム合金にねじり調製押し加工を適用する場合の最適加工条件は、ねじり温度 623K、押し温度 523K、押し速度 1mm/s となった。ねじり調製した AZ31B マグネシウム合金は、押しの実操業温度である 623 K より 373 K もの押し低温化を実現できる可能性を示したことが本研究の最大の成果である。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
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。高速で押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、押し温度を低温に設定する方が微細なマイクロ組織が得られ、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

合金の特徴を活かしながら、押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) その一方、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ビ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ビ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ビレットでは、主に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。

## 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押し出し用ビレットの調製による低温・高速塑性押し出しプロセスを開発することが本研究の目的である。

(1) 押し出し荷重の効果的な低減と型材特性の向上をもたらす、温度、速度、角度の各パラメーターから成るねじり調製の最適条件を確立する。

(2) ねじりによるせん断変形と、押し出しによる高い静水圧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型材の創製を目指す。

(3) 一連のねじり調製押し出し加工の過程で低角粒界がいかにして高角化して微細粒に変化するのかという動的連続再結晶の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、さらなる結晶粒超微細化・マイクロ組織制御に向けたねじり調製塑性加工プロセスの設計指針を得る。

## 3. 研究の方法

### 3.1 ねじり調製とその評価

直径 10mm, 長さ 230mm の市販 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, 473K, 523K, 573K, 623K の 5 種類のねじり開始温度において、標点間長さ 150mm の試料が破断するまでねじり加工を行った。ねじりの回転速度は 1rpm である。ねじり破断した 5 種類の試料は、均質化処理状態のそれと共に、直径 10mm, 高さ 15mm の圧縮試験片に加工した。材料万能試験機による圧縮試験は、473~573K の温度にて、 $10^{-3}$ ~ $10^{-1}$ s $^{-1}$  のひずみ速度を用いて実施した。

圧縮試験後の試料は機械研磨の後、マイクロ組織観察と硬さ試験に供した。マイクロ組織観察は試料を機械研磨した後、観察面を 10% 硝酸エタノールで腐食させ、光学顕微鏡により実施した。硬さ試験では、圧下荷重 0.96N, 圧下時間 10s の試験による 12 点のデータの最大値と最小値を除いた 10 点の平均値をその試料の硬さとした。また、圧縮試験前の試料については、圧縮面とそれに垂直な 2 面について、それぞれ中心部と端部での X 線回折を行った。X 線回折パターンは回折角度 20~80° の範囲を 2.4° /min で走査し、CuK $\alpha$  線を用いて測定した。

### 3.2 押出し加工の実施と最適条件の導出

直径 30mm, 長さ 230mm の市販 AZ31B マグネシウム合金押出し丸棒に、673K, 72ks の均質化処理を施した。その後、片側回転式ねじり加工機を用い、室温, 473K, 523K, 573K, 623K の 5 種類のねじり開始温度において、標点間長さ 150mm の試料に対し、等量のせん断ひずみ約 0.6 を与える 270° ねじりと共に、試料が破断するまでねじり加工を行った。ねじりの回転速度は 1rpm である。

種々のねじり加工を施した試料は、その評点間部より 40mm 長さの試料を切り出し、押出し加工に供した。押出し装置は 400 トンプレス機に金属製コンテナやプランジャーを組み込んだものである。押出しは 473K, 523K, 573K, 623K, 673K の温度において、押出し速度を 1mm/s, 10mm/s, 30mm/s, 50mm/s に変化させた。なお、押出し比は 47 一定である。押出し型材の機械的特性は、ビッカース硬さ試験機による、圧下荷重 0.96N, 圧下時間 10s のビッカース硬さ測定により評価した。

## 4. 研究成果

### 4.1 ねじり調製とその評価

図 1 は圧縮温度 473K, ひずみ速度  $10^{-1}s^{-1}$  の圧縮試験より得られた真応力-真ひずみ曲線である。ねじりなし材の応力が激減している。これは、圧縮試験中に試料が座屈したためである。また、ねじりなし材に比べて室温ねじり材, 623K ねじり材は圧縮最大応力が低下した。

この最大応力を圧縮試験温度についてまとめた結果を図 2 に示す。ねじり加工した試料では、破線で表されるねじりなし材に比べて、圧縮最大応力が低下した。つまり、ねじり加工を与えることにより、その後の圧縮変形に要する応力を減少させることができる。事実、573K ねじり材を 523K で圧縮すると、ねじりなしの試料に比べて約 30%もの応力

低下が認められる。ただし、473K ねじり加工材を 473K で圧縮すると、圧縮最大応力はねじりなし材とほぼ同程度であった。

圧縮試験前の試料の端部と中心部におけるマイクロ組織を図 3 に示す。ねじりなし材は、端部, 中心部共に、細かい結晶粒と粗大な結晶粒の混粒組織を呈する。一方、ねじりを加えると試料全域に変形双晶が現れる。また、中心部の方が端部よりも多くの双晶が観察された。ここで見られる双晶はレンズ状であり、引張双晶であると考えられる。また、室温ねじり材と 623K ねじり材では、ねじりなし材には見られない微細な結晶粒が確認された。これはねじり加工中に動的再結晶が生じたためだと考えられる。

図 4 には圧縮試験前の試料断面の端部と中心部における平均結晶粒径の面積割合を示す。室温ねじり材では  $10\mu m$  以下の微細粒の面積割合が多いことに起因して、平均結晶粒径  $d$  が最も小さい。一方、図 2 の最大圧縮応力の結果に対応して、473K ねじり材はねじりなし材と同等な平均結晶粒径をもつ。ねじり材ではねじり温度が低いほど 6 つの平均結晶粒径範囲における面積割合が均一であり、ねじり温度の増加に伴って特に  $60\sim 70\mu m$  の面積割合が増加して、全体的に不均一となる傾向がある。

図 5 は 573K で圧縮試験した試料の断面端部と中心部におけるマイクロ組織を示す。せん断ひずみ  $\epsilon$  が 0 のねじりなし材では、端部と中心部のマイクロ組織の差が大きく、それに対応してビッカース硬さも有意差が確認される。一方ねじり材では、ねじり温度が低いほど端部と中心部のマイクロ組織の差が小さく、試料断面において均一なマイクロ組織を呈す。ねじり温度が最も高い 623K ねじり材では、特に中心部での結晶粒成長が顕著であり、端部と中心部のマイクロ組織の細かさはねじり

なし材と同程度になる。

図6は圧縮面端部のX線回折結果を示す。473Kねじり材と623Kねじり材では、ねじりなし材において検出されなかった双晶面である(1012)と(1013)面のピークが確認された。

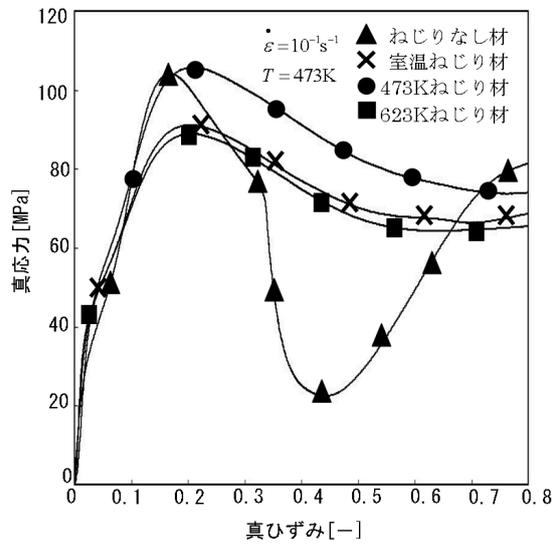


図1 真応力-真ひずみ曲線

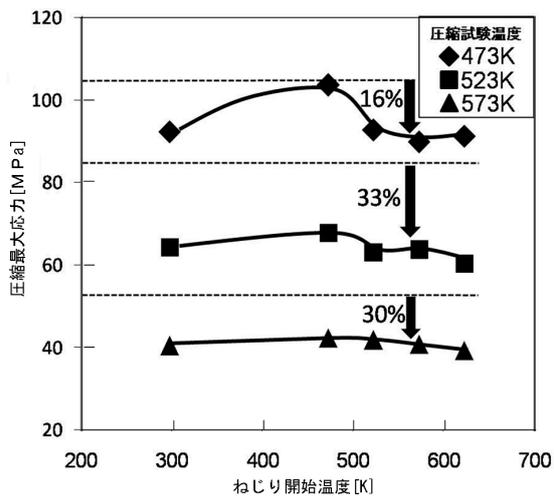


図2 圧縮試験より得られた圧縮最大応力

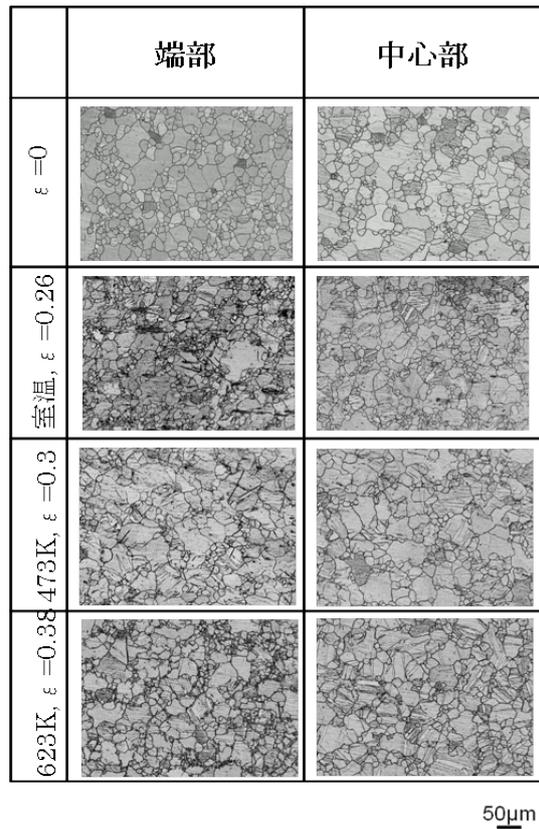


図3 圧縮試験前におけるマイクロ組織

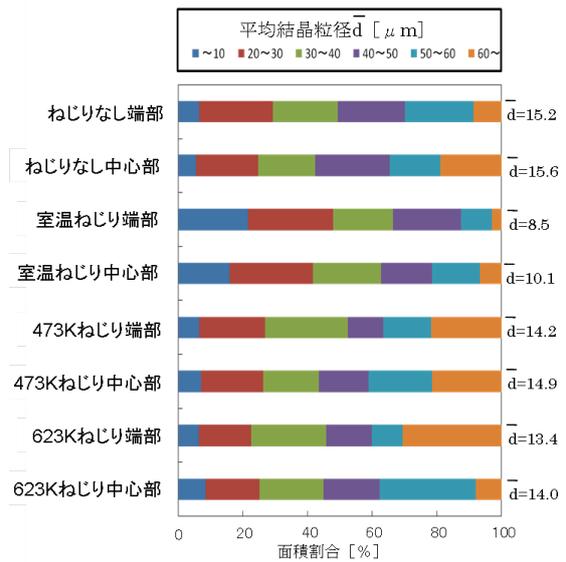


図4 平均結晶粒径の面積割合

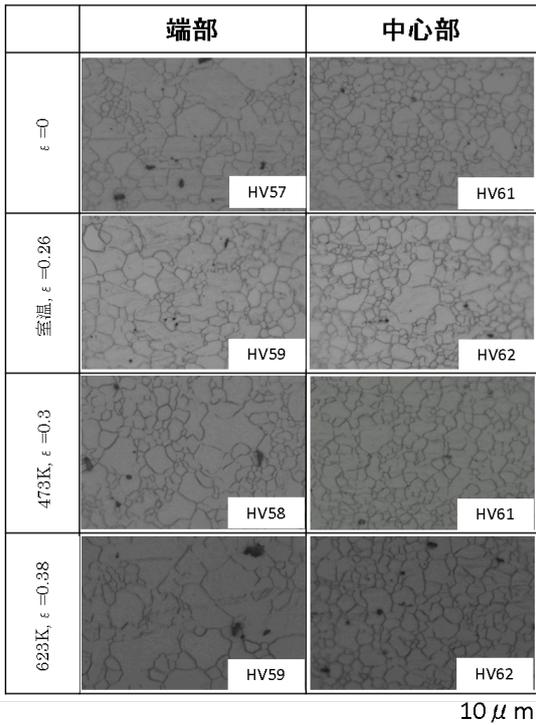


図5 圧縮試験後のマイクロ組織

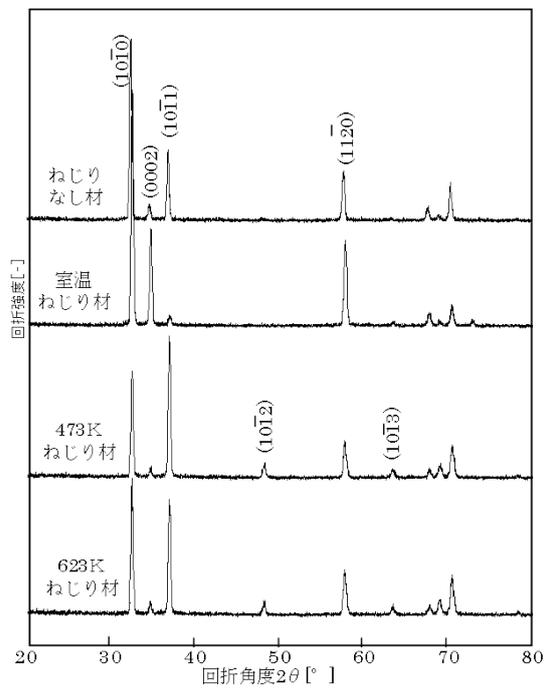


図6 X線回折パターン

#### 4.2 押出し加工の実施と最適条件の導出

室温、473K および 623K でねじりを加えた試料を種々の温度で押出し加工したときの最大圧縮応力をねじりなし材と比較した結

果を図7に示す。ここで押出し速度は1mm/s、押出し比はいずれも47である。473Kねじり材では、先の図2の最大圧縮応力の結果に対応して、得られる最大圧縮応力がねじりなし材のそれとほぼ同じであった。すなわち押出し加工に先立って、473Kで試料にねじり変形を与えても、押出しの高速・低温化につながるような応力減少は得られない。一方、623Kねじり材では押出し温度523Kにおいて約30%の顕著な応力低下が確認された。623Kねじり材の押出し温度523Kにおける最大圧縮応力は、ねじりなし材の押出し温度573Kにおけるそれにほぼ等しいことから、323Kの押出し低温化が達成されたことになる。

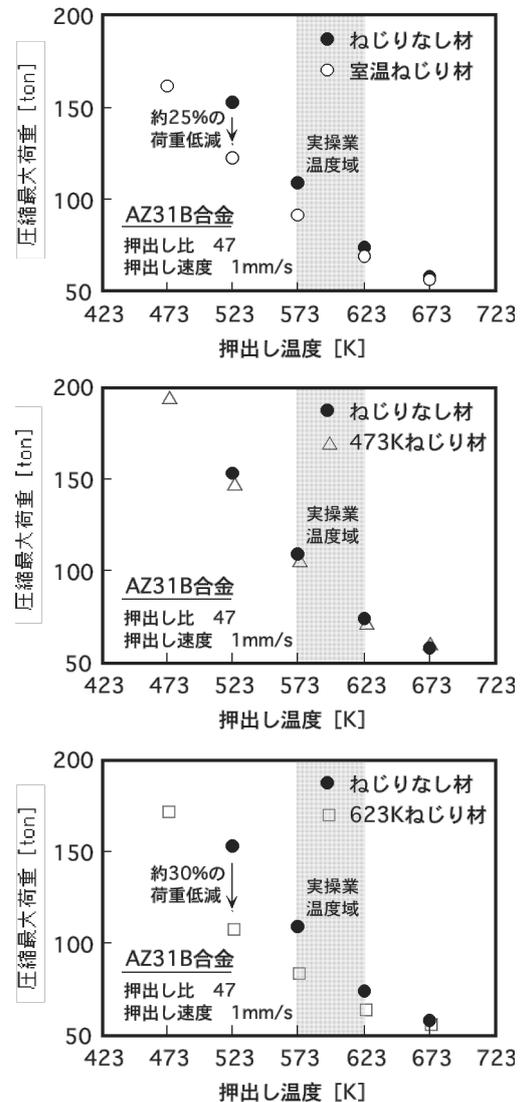


図7 圧縮最大応力と押出し温度の関係

表1には623Kねじり材を523Kで押し出し加工したときの最大圧縮応力の減少割合を押し出し温度で整理した結果である。図7にあるように、押し出し速度1mm/sでは、ねじりなし材に対する応力減少割合は30%であり、それは押し出し速度の増加に伴って小さくなる傾向がある。

表1 押し出し速度と応力減少割合の関係

押し出し速度(mm/s)	1	10	30	50
応力減少割合(%)	30	18	10	7

以上の結果をまとめると、AZ31Bマグネシウム合金にねじり調製押し出し加工を適用する場合の最適加工条件は、ねじり温度623K、押し出し温度523K、押し出し速度1mm/sとなった。特に押し出し温度の低温化を実現できることを見出したことが本研究の最大の成果である。今後は最大圧縮応力の減少割合に対する押し出し比の影響や、他の難押し性材料への適用などが課題である。

## 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1件)

①會田哲夫、森田崇広、古井光明、高辻則夫、穴田博、ねじり加工によりせん断ひずみを導入したAZ31Bマグネシウム合金の温間圧縮変形特性、塑性と加工、Vol. 49、(2009)、査読あり、掲載決定

[学会発表] (計4件)

①森田崇広、會田哲夫、古井光明、穴田博、ねじり加工したAZ31Bマグネシウム合金の温間圧縮変形とマイクロ組織、日本金属学会北陸

信越支部・日本鉄鋼協会信越支部 平成19年連合講演会、平成19年12月1日、福井工業大学

②森田崇広、會田哲夫、古井光明、穴田博、ねじり加工したAZ31Bマグネシウム合金の温間圧縮変形とマイクロ組織、軽金属学会 第114回春期大会、平成20年5月10日、愛媛大学

③森田崇広、會田哲夫、古井光明、穴田博、ねじり加工したAZ31Bマグネシウム合金の圧縮変形抵抗に及ぼす結晶粒径と双晶の影響、日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会信越支部 平成20年連合講演会、平成20年12月6日、信州大学

④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21日、登別グランドホテル

## 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