

## 高速ボス成形加工を施したマグネシウム合金の内部欠陥観察 Observation of cavity in Boss of magnesium alloys rapied formed by new technolog

早乙女 秀丸<sup>a</sup>, 行武 栄太郎<sup>a</sup>  
Hidemaru Sotome<sup>a</sup>, Eitaro Yukutake<sup>a</sup>

<sup>a</sup>茨城県工業技術センター  
<sup>a</sup>Ibaraki Prefectural Industrial Technology Center

高輝度・高エネルギーで平行度が高い SPring-8 の放射光を活用し、吸収と屈折コントラストを併用したマイクロ CT により、マグネシウム合金展伸材 (AZ31) に高速成形加工したボスの内部構造の可視化を行った。その結果、ボス内部に発生した螺旋状の微小欠陥を 3 次元モデルで可視化することに成功した。

キーワード：マイクロ CT, 可視化, マグネシウム

### 1. 背景と研究目的：

茨城県工業技術センター（以下当センター）では、中小企業及び大学と共同でマグネシウム製品のコスト低減と量産技術の開発を目的とした、マグネシウム合金成形加工に関する研究を進めている。その 1 つに、戦略的基盤技術高度化支援事業<sup>※1</sup>で開発した高速ボス立成形技術<sup>[1]-[3]</sup>がある。ボスとは、部品の組合せ及び締結等に使用される突起物のことであり、家電製品や携帯端末のカバーには必要不可欠な要素部品である。比強度、比剛性の高いマグネシウム合金板材はアルミニウム合金より軽量であり軽量化を目的に携帯情報端末機器への適用が増加しており、板材温間プレスフォーミングによりボスを有するカバー等を生産しているが、プレス成形速度が遅く（1～5分：加熱時間を含む）、潤滑剤や大型温間金型が必要であるため生産効率が低く高コストである。

しかし、今回開発した高速ボス立成形技術では、温間設備や潤滑油は全く必要なく、室温中で軸径φ5mm、高さ5mm程度のボスを1秒以下で成形でき、生産性が高く、コスト低下が見込めるため、難加工材への量産化技術として期待が大きいのだが、まだ実用化へは技術的な課題が残っている。それが内部欠陥である。この新技術は、大きな変形加工を短時間で行うため材料への負担が大きく、その結果ボス成形時に成形部内部に微小欠陥が発生し、強度の低下を引き起こしていると考えられる。これらの欠陥は非常に小さく、ボス全体に分布しており、顕微鏡等では空間的（3次元）な全体把握が困難である。しかし、ボス成形過程や微小欠陥発生の抑制方法を解明するためには、欠陥の空間的分布を知ることが必要不可欠である。

本研究では、空間分解能が約1μm程度と非常に高精度な測定が行える SPring-8 BL19B2 の X線イメージングカメラを使用し、ボスの内部微小欠陥観察を行うことで内部欠陥発生源及びボス成形過程を解明することを目的とする。

※1 戦略的基盤技術高度化支援事業：「難加工材の3次元精密順送プレス技術の開発」  
(H19~21年度) 山野井精機株式会社

## 2. 実験：

### 2.1 測定試料

測定試料となるボスの素材は、家電メーカーからの要望が多いマグネシウム合金 AZ31 (Al: 3%, Zn: 1% 添加) 圧延材を用い、板厚は 1.0mm とした。ボス部形状は  $\phi 5\text{mm}$ 、高さ約 10mm の円柱とした (図 1)。

成形条件の違いによる内部欠陥の発生と分布の違いを観察するために、ボス成形用回転ツール (穴径  $\phi 5$ ) を用いて、押し込み速度<sup>※2</sup> ( $L \cdot S \cdot H$ )、ツール回転速度 (1000~2000rpm) と各条件下でボス成形した (試験温度環境：室温)。

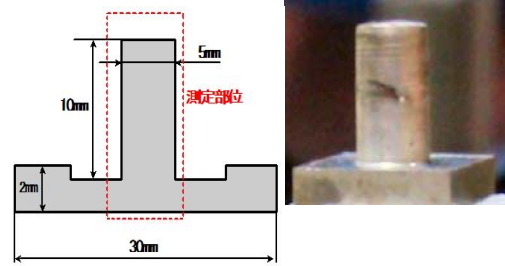


図 1. ボス外觀形状  
(左：模式図，右：実物)

※2 押し込み速度：L (通常速度の半分)・S (通常速度)・H (通常速度の 2 倍)

### 2.2 測定条件

ボス内部の構造 (微小欠陥など) を可視化するため、BL19B2 第 1 ハッチでマイクロ CT による断層撮影を行った。X線エネルギーは 25keV、試験片と X線 CCD カメラ蛍光面の距離は 100mm とし、図 2 の様にした。投影データは 0~180 度まで 0.5 度ごとに採取し、露光時間は 8 秒とした。また、画像再構成については Filtered Back Projection 法を用いて行った。

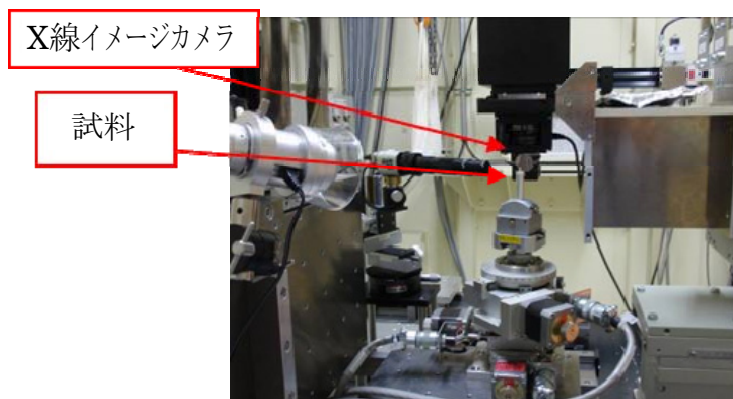


図 2. 試料と X 線 CCD カメラの位置関係

## 3. 結果および考察：

高速ボス成形を行ったマグネシウム合金圧延材についてマイクロ CT による断層撮影を行うことで、ボス部内部欠陥を非破壊で観察することに成功した。回転ツール速度 1500rpm でボス成形を行った場合、中心部に大きな内部欠陥が観察された。欠陥形状は層状の薄い欠陥がボス中心軸を中心にねじれるように観察された。また、その欠陥はボス底部から約 5mm 付近に集中している。その他のボス成形条件では内部欠陥は観察されない。押し込み速度を変化させても 1500rpm でのみ内部欠陥が観察された。このことから、ボス成形には回転速度が影響すると推測できる。

図 3 は欠陥部の断面写真であり、図 4 は欠陥をつなぎ合わせ 3D モデルにした結果である。大きな内部欠陥が中心部に成長している。ボス成形時、回転ツール穴内側と接触しているボス部側面とボス部内側での変形速度差によりボス内部に大きなねじれが発生し、小さな内部欠陥が連結し大きな内部欠陥に成長したと推測される。回転ツール速度 1000rpm では内部欠陥が観察されない。1000rpm と 1500rpm ではボス成形時に発生する最大発熱量 (摩擦熱) が異なる。1500rpm では約 400°C に対し 1000rpm では約 250°C である。マグネシウム合金は 250°C 付近で変形能が著しく変化する。200°C 付近で再結晶が始まり 250°C では完全に再結晶する。300°C を超えると再結晶粒の成長が起きる。また、ボス成形では通常プレス加工に比べ大きなせん断応力が負荷されるため、積極的に再結晶が変形中に起きる (動的再結晶) ため変形抵抗の著しい低下が起きると同時にひずみの開放が著しく加工硬化しない。よって、1000rpm では著しい強度低下が起きないため内部

欠陥が発生しないと考えられる。回転ツール速度 2000rpm では 1500rpm と比べ発熱量が多いが内部欠陥が観察されないものの、ボス部側面では回転ツールとボスとの接触で発生したバリにより形成された欠陥が観察された。

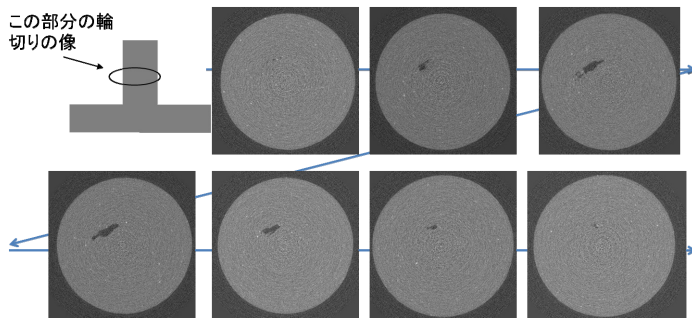


図 3. 20  $\mu$  m 間隔の欠陥部断面写真



図 4. 3D モデル

#### 4. 今後の課題：

今後、これら貴重な観察結果をふまえ、ボス成形シミュレーションと実験データを比較し素材の塑性流動における内部欠陥発生メカニズムを解明し、欠陥の無いボス成形を可能とする最適な加工条件を決定し製品のさらなる高品質化を目指したい。また、まだ製品実績の少ないマグネシウム合金を用いた製品用途開発に今回の結果を反映させ信頼性の高いマグネシウム製品開発を展開していきたい。

#### 参考文献：

- [1] 行武栄太郎, 根岸繁夫, 本橋嘉信 ; 平成 21 年度塑性加工春季講演会(2009), 227-228
- [2] E.Yukutake, Y.Motohashi, S.Negishi ; 8<sup>th</sup>International Conference on Magnesium Alloys and their Applications, Germany, (2009)
- [3] Y.Motohashi, E.Yukutake, Y.Kanno, M.Kouta, S.Negishi ; 8<sup>th</sup>International Conference on Magnesium Alloys and their Applications, Germany, (2009)