

## マグネシウム合金のエンボス成形シミュレーションにおける解析条件の高精度化

日大生産工(院) ○小林由和 日大生産工 高橋進 茨工セ 行武栄太郎 山野井(株) 根岸繁夫

## 1. 緒言

今日、自動車部品や携帯電話、ノートパソコンをはじめとする家電製品など多くの分野においてマグネシウム合金は利用されている。その理由としてマグネシウム合金は、軽量と高いリサイクル性を有し、環境負荷低減のために有効な材料として注目されている。平板から突起を塑性加工することにより、材料や溶接などが削減され、さらに環境への負荷が低減されると期待される。

既報<sup>1)</sup>では突起成形方法の確立のために突起成形のメカニズムの解明に貢献可能なFEMシミュレーション技術の確立を行うために、二次元での解析を行った。今回はより高精度な解析を行うために解析条件の検討および三次元での解析を試みたので報告する。

## 2. 二次元成形解析

円筒状の工具を高速で回転させたままAZ31の試験片に接触するまで下降させ、0.4mm押し込むことによりFig.1に示す突起が成形可能である。工具が円筒形状なのでFEMシミュレーションでは軸対称モデルで解析した。また、成形中の発熱の影響も考慮する必要があることから鍛造用の解析ソフトであるDEFORM (SFTC社製)を適用した。



Fig.1 Formed boss

## 2.1 解析条件

回転している工具と試験片が接触することにより摩擦熱が生じ、素材が軟化しさらに工具を試験片に押し込むことにより工具の空洞部へ素材が塑性流動し突起が成形されると考えた。回転工具と素材間の摩擦係数が不明なのでせん断摩擦係数の変化が突起成形におよぼす影響の確認を行った。成形状態を考慮したモデル

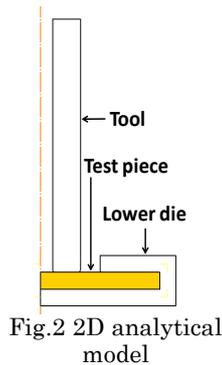


Fig.2 2D analytical model

を作成し、せん断摩擦係数を0.3~0.7<sup>1)</sup>まで0.1ごとに解析を行った。以下にその他の条件を示す。試験片寸法: 外径:30mm, 高さ:2mm, 工具寸法, 外径:10mm, 内径:3mm, 長さ:60mm, 下金型寸法:Fig.3を参照, 押し込み速度:10mm/min, 押し込み量:0.4mm, 回転数:1000rpm, 要素:軸対称, 解析手法:剛塑性FEM, 要素数:991, 節点数:1094, 引張特性:試験温度:常温, 150, 200, 250°C, 試験速度:5, 50mm/min。

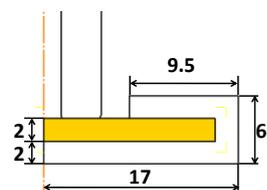


Fig.3 Dimensions of lower die

## 2.2 解析結果

解析結果においてFig.4のa, bを計測した。解析結果から板厚2mmを引いた数値をそれぞれBoss center(a), Boss outer(b)とした。実験値との比較を

Fig.5に示す。せん断摩擦係数を増加させることによって突起高さも増加する傾向があるが、0.6と0.7とではあまり大きな変化がないため過度なせん断摩擦係数の増加は突起高さへの影響が少ないと考えられる。

Boss center, Boss outer  
で実験値と比較を行うと、大幅に改良された。摩擦係数の高精度化等により改良が可能である。

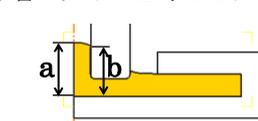


Fig.4 Measurement parts

## 2.3 解析条件の変更

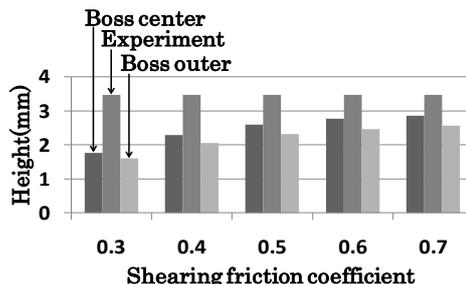


Fig.5 Dimensions of boss from simulation results with lower die

前述の解析条件において、せん断摩擦係数の増加により突起が高くなるということが分かった。つまりせん断摩擦係数が増加することにより、発熱量が増加し試験片の温度が上昇した。温度上昇により試験片がより軟化し変形しやすくなり突起が高くなったと考えられる。

発熱量および試験片と工具の熱伝達率を小さくすることにより工具と試験片間の伝熱が少なくなり試験片の温度が下がりにくくなることから、試験片が変形しやすくなると推測できる。これらの推測および温度分布と変形の関係の検証を行うために下記の解析を行った。

## 2.4 解析結果

Fig.6は各せん断摩擦係数(m)における熱伝達率と解析後の試験片の最大の温度との関係を示したグラフである。これより、熱伝達率を低くすることにより試験片と工具の接触部分の最大温度は上昇することが確認できた。しかし、Fig.7に示した各せん断摩擦係数における熱伝達率と突起高さの関係より、突起高さの最大値となる熱伝達率は各せん断摩擦係数によって異なることが分かり、このことから試験片温度と突起高さは直接的な関係がないことがわかった。解析後の温度分布の結果を示したFig.8においては試験片外周部

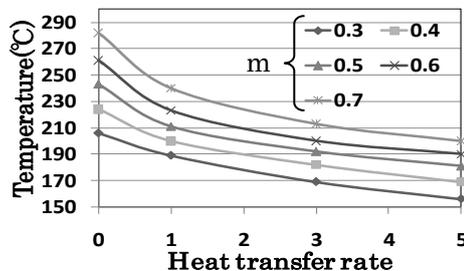


Fig.6 Relationship between maximum temperature and heat transfer rate

Increasing Analysis Conditions Accuracy of Boss Forming Simulation of Magnesium Alloys

Yoshikazu KOBAYASHI, Susumu TAKAHASHI, Eitaro YUKUTAKE and Shigeo NEGISHI

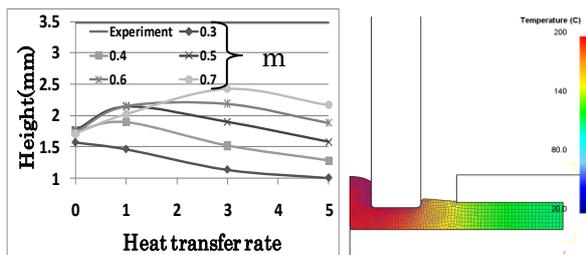


Fig.7 Relationship between dimensions of boss and heat transfer rate

の温度は低く中心が高くなっていることより中心部の軟化が突起への高さに影響していることが分かる。

突起の中心部と外周部では解析においては中心部が高くなっているが、突起の成形品は外周部が高くなり、外周部から中心部に向かって半円状にくぼんだ特徴がある。解析における変形プロセスの検証を行うためにフローネット機能を用いて結果の検証を行った。

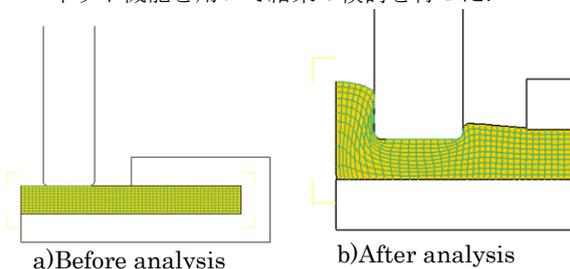


Fig.9 Deformation process of test piece

Fig.9は解析前の試験片断面を同一面積の長方形で区切り、最終的にそれぞれの長方形がどのように変形したか示した図である。解析前後で比較を行うと、工具の内側と材料との摩擦のために、工具と接している材料表面との摩擦で材料の上昇が妨げられることにより、凸形状の先端に成形されたと考えられる。

### 3. リング圧縮試験

摩擦係数の高精度化のため、リング圧縮試験を行った。

#### 3.1 比較結果用解析

下記条件での圧縮試験の同条件でせん断摩擦係数を変化させた解析結果との比較を行って摩擦係数を求めた。

解析条件、試験片寸法、外径:12mm、内径:6mm、厚さ:4mm、上下金型寸法、外径:20mm、厚さ:4mm、工具速度:1mm/min、試験温度:150℃、225℃Fig.10に圧縮前(左側)後(右側)の解析モデルを示す。

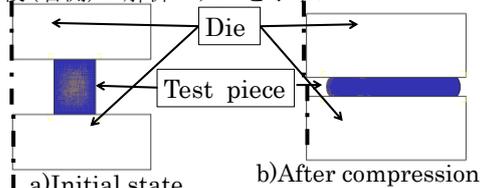


Fig.10 Ring compression analytical model

#### 3.2 実験条件及び結果

試験片寸法および工具速度、試験温度は、上記の解析条件と同様である。恒温槽付きの万能試験機を用いて実験を行った。槽内の温度が150・225℃を安定して保てる状態にしてから、槽を熱しはじめるのと同時に槽内に設置しておいたSKD61の円板で試験片を上下で挟んだ状態で圧縮試験を行った。解析と実験結果との比較をFig.11に示す。

150・225℃の両実験値ともに、圧縮率40%以下の内径変化率のプロットはせん断摩擦係数0.3に近似しており、40%より上においては内径変化率においては0.5に近似している。解析において平均値である0.4を使用するのが適当であると考えられる。

温度が変化した場合においても、両実験値ともに圧

縮率40%以下においては、せん断摩擦係数0.3に近くそれ以上においては0.5に近い。これより、一つせん断摩擦係数で解析を行える可能性がある。

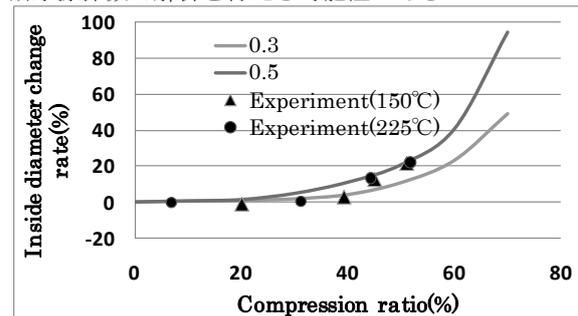


Fig.11 Comparison between numerical and experiment results regarding inner diameter

### 4. 三次元成形解析

二次元モデルでの解析では先端が円弧状にくぼまなかった。そこで、実際の成形により近い、三次元解析での検証を行った。

#### 4.1 解析条件

二次元解析において、下金型の形状変更による試験片の外周部の縦方向への変位拘束、せん断摩擦係数、および熱伝達率の変化は突起の先端形状への顕著な変化はなかったため、三次元解析では先端形状の傾向をみるために二次元において解析時間が短かった条件(せん断摩擦係数:0.3、熱伝達率:1)を使用し、他の条件に関しては二次元のときと同様の条件を使用し、軸対称モデルを3Dで再現したモデル(Fig.12)を作成し解析を行った。

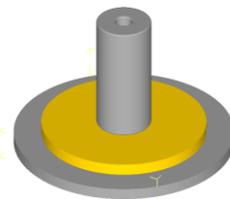


Fig.12 3D analytical model

#### 4.2 解析結果

解析後の試験片の突起中心部を断面で示した図がFig.13であるが、これより突起の先端において、中心部が外周部より低い実験結果に近い形状が確認できた。三次元解析により、先端形状の大幅な改善ができた。

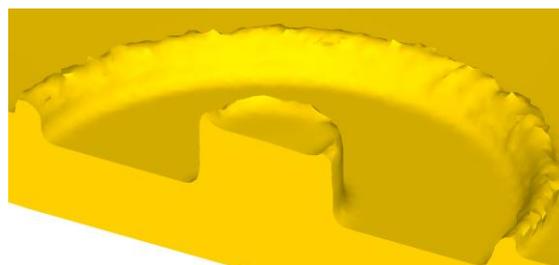


Fig.13 Result of 3D analysis

### 5. 結言

- (1)せん断摩擦係数を増加させることにより突起は高くなるが、熱伝達率を下げることによって突起が高くなるとは限らない。
- (2)リング圧縮試験においてせん断摩擦係数はある程度の範囲が定まり、材料温度が変化しても一つのせん断摩擦係数で解析ができる可能性がある。
- (3)二次元解析では、実験でのエンボス先端形状の再現は困難であったが、三次元解析を用いることによって実験に近い先端形状が確認できた。

#### 参考文献

- 1)小林ほか;平成23年塑加春講論(2011),197-198
- 2)Shiro Kobayashi, et al.:Metal Forming and the Finite-Element Method,Friction in Metal Forming,(1989),32