マグネシウム合金のエンボス成形における成形プロセスの検討

1.緒言

マグネシウム合金は軽量かつ高いリサイクル性を有 することから環境への負荷を低減する目的として,自 動車部品や家電製品など幅広い分野において利用され ている.このマグネシウム合金の平板へ塑性加工を用 いてエンボス成形をすることにより,直接成形してい るので,溶接など成形工程削減され,材料歩留りが良く, さらなる環境への負荷低減が期待される.

既報¹⁾ではエンボス成形方法の確立のために,二次 元解析に取り組んできたが,実験との先端形状の違い 及び,高さの不足が確認できた.本報告では前述の改 善を行うために三次元解析を行い,それに加えプロセ ス解明のためにエンボスの成形実験行ったので報告す

る. **2. 成形実験**

円筒形状のツールを高速で 回転させたまま AZ31 の試験 片に接触するまで下降させ, さらに 0.4mm 押し込むことに より Fig. 1 のようなエンボス が成形可能である.成形時に ツールが高速で回転している のでエンボスが回転しながら 成形されていると考えた.成



Emboss

形されたエンボスが回転しているのかを検証するため に実験を行った.結果を以下に示す.

2. 1成形条件

基本実験条件,試験片寸法:165×40×2mm,ツール寸 法,外径:10mm,内径:3mm,長さ:60mm,ツール材 質:SUS304,押込み速度:10mm/min,回転数:1250rpm, 上記に示した試験片を治具に固定し成形を行った.成 形途中の回転角も検証するために,押し込み量を変化 させ実験を行った.安定して成形を行うためにツール を温める成形(押し込み量:0.3mm)を二回行った後に, 押し込み量を0.4mmまで0.05mmずつ増加させた8回の 計10回のエンボスの成形実験を行った.Fig.2に示す ような,ケガキ線の入った試験片を用いた.ケガキ線 がエンボス中央部に位置するように成形した.再現性 の確認のために同実験を3回行った.



Fig.2 Measurement part of specimen 2. 2成形結果

エンボス先端部分と未成形部分のケガキ線の角度を 測定し回転角度とした.エンボス先端部ケガキ線が湾 曲していたので Fig.2 示すような a 及び b の二ヶ所で 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

の計測を行った.回転角 a はエンボス中心部の回転角 度, b についてはエンボス外周部のケガキ線をむすん だ回転角である.回転角 a 及び b の角度の差は押し込 み量0.2 から 0.4 まで約25°と一定であった.そこで, 今回の結果については a の角度について示す.Fig.3 に押し込み量とエンボスの高さの関係を示す.押し込 み量が 0.15mm まではエンボスの成形がなく, 0.2mm で 急激にエンボスが成形され,この時に他の条件ではな い大きなばらつきが確認された.エンボス高さと回転 角度の関係をFig.4 に示す.Specimen2,3 に関しては 約 340°回転しており,Specimen1 については 540°近 く回転しており,結果に大きなばらつきがみられた. この結果より最低でも約 360°回転することが確認で きた.



Fig.3 Relationship between height of Emboss and tool stroke from specimen surface



Fig.4 Relationship between height of Emboss and rotational angle at the top of Emboss

2.3ケガキ線の追加

前項に示した Fig.4 の大きなばらつきを改善し,よ り精度よく計測をおこなうために,試験片(Fig.2)の ケガキ線に加えエンボス中心から 0.75mm の位置にケ ガキ線を追加した.よって角度の計測を結果について は計測角度もしくは計測角度+360°の結果になるの で+360°の場合を除けば前項の計測方法より精度が よく計測を行えるようになった.その他の成形条件は 前項と同様である.ケガキ線を追加した試験片及び,

Investigation of Emboss Forming Process with Magnesium Alloys Sheets

Yoshikazu KOBAYASHI, Susumu TAKAHASHI, Eitaro YUKUTAKE and Shigeo NEGISHI

成形後のエンボス先 端の様子を Fig.5 に 示す.

2. 4 成形結果

Fig.6 にエンボス の高さと回転角の関 係を示す. Fig.4 と比 較した場合にばらつ きが少なくなること がわかる. ツールを 0.4mm 押し込んだ時



Fig.5 Formed Emboss with mark-off line

に約700°回転していることがわかった.



Fig.6 Relationship between height of Emboss and rotational angle at top of Emboss

3. 成形解析

既報¹⁾では、ツールが円筒形状なので Fig. 7 のよう な軸対称モデルで解析を行った.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. 解析で成形 されたエンボスと比較

を行うとエンボ高さ及 び先端形状に顕著な差 がみられた.そこで,ツ ールのトルクが考慮可 能な三次元解析による 検討を行ったので以下 に示す.

3.1解析条件

回転しているツール と試験片が接触するこ とにより摩擦熱が生じ 試験片が軟化し、さらに ツールを試験片に押し 込むことによりツール 中心の空洞部へ試験片 が塑性流動を起こしエ ンボスが成形されると 考えた.成形状態を考慮 したモデル(Fig.8)を作 成し, せん断摩擦係数を 0.3, 熱伝達率を1 で解







Fig.8 3D analytical model 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, ツールに関しては実験と同様,下金型寸法:外径:40mm, 高さ 2mm, 押込み速度:10mm/min, 押込み量:0.4mm,回 転数:1000rpm,解析手法:剛塑性 FEM,要素数:69942,節 点数:318178,引張特性:試験温度:常 温,150,200,250,300°C,試験速度:5,50mm/min.

3.2 解析結果

解析後の試験片のエンボス中心部を断面で示した図 が Fig.9 であるが,これよりエンボスの先端において,

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 3.3解析条件の変更 既報 1) でのリング圧

縮の結果より, せん断摩 擦係数を 0.4 に変更し



Fig.9 Results of 3D analysis

解析を行った. 前項の解析条件では試験片を拘束せず に解析を行った. それにより, 既報 1)の二次元での無 拘束で解析を行った場合と同様に試験片の外周部の浮 きが微小ではあるが確認された. 実際の成形において は回転しないように治具で固定しているので、成形条 件に近づけるために試験片の底面を動かないように拘 束条件を加えて解析を行った.

3. 4解析結果

ツール表面よりを 0.4mm 押し込んだ解析結果の成形 部断面及び,温度分布を Fig. 10 に示す. a) はせん断 摩擦係数 0.3 で試験片底面の拘束はなし. b) はせん断 摩擦係数0.4の場合でaと同様に底面の拘束はなし. c)はせん断摩擦係数0.4 で底面を拘束した場合の結果 である. Fig. 10 の a) と b) の結果を比較した場合にせ ん断摩擦係数 0.4 の場合の方がツール接触部分からエ ンボス全体で高温になっていることがわかる.この結 果は摩擦係数が高いので摩擦発熱が多いためと考えら

れる.しかし、せん断摩擦係数の増加によるエンボス の高さへの顕著な影 響はなかった. せん 断摩擦係数 0.4 で拘 東条件を追加した結 果については、拘束 していない結果と比 較して高温部が小で あった. 拘束してい ない試験片は試験片 外周部が浮き、それ により下金型との接 触面積が減少したの で熱交換部が少なく なったためと思われ る.Fig.10のc)の結 果より試験片を拘束 することによりエン ボス外周部がより高 くなることがわかっ た. エンボスの高さ は実験値と比較する と低い結果となった. こで試験片の成形



部分の外周部が実験結果よりもりあがっていることが 解析結果からわかる、このもりあがりを抑制すること でよりエンボスが高くなると考えられる.

4.結言

- (1) エンボスの高さと回転角度にはほぼ比例関係があ ることがわかった.エンボス先端は成形時に約 700°回転していることがわかった.
- (2) FEM 解析において試験片を拘束することで先端形 状の大幅な改善ができたが、エンボス高さにおい ては更なる改善が必要である. ツール接触部分の 外周のもりあがりを抑制することで高さが改善で きる可能性がある.

参考文献

1) 小林ほか:第62回塑加連講論(2011),439-440