

マグネシウム合金棒材の高効率成形加工に関する研究

松田豪彦*, 桑原田 聡*, 新村孝善**, 中西賢二***

Study on Efficient Forging of Magnesium Alloy Bar

Takehiko MATSUDA, Satoru KUWAHARADA, Takayoshi SHINMURA and Kenji NAKANISHI

マグネシウム合金（AZ31）の小径棒材の成形加工において、材料と金型全てを加熱せずに、加熱された一部の金型から棒材へ伝熱しつつヘッディング加工を試みた。その結果、平面パンチを用いた場合、マグネシウム合金特有の成形結果が得られた。また、割れを起こさず成形可能な温度や加工速度の条件を明らかにした。一方、パンチに窪み空間を設けて成形した場合、平面パンチを用いた場合よりも加工可能な条件域が広がり、良好な成形品を得ることができた。

Keyword : マグネシウム合金, ヘッディング加工, 伝熱, 金型

1. 緒 言

電子機器及び精密機器等の製品は、軽量性やノイズ遮蔽に優れるマグネシウム合金製部品の採用が増えつつある。それに付随するマイクロねじ、コネクタピン及び小径回転軸部品などについても異種材接触腐食やリサイクル性を考慮すると、同合金での生産が増えることが予想される。現在、これら部品の成形加工方法には、棒状の材料を金型（パンチ、ダイス等）を用いて強制的に塑性変形させる加圧成形（ヘッディング加工）方法を用いることが多い。しかし、脆いマグネシウム合金を成形するには、金型及び材料全体を電気炉等で数百度まで昇温させて加圧する温間成形が一般的である¹⁾²⁾。

本研究では、材料と金型全てを加熱せず、加熱した一部の金型からの伝熱で棒材を加熱し、マグネシウム合金（AZ31）の棒材を効率的にヘッディング加工する方法を試みた。加工は、平面のパンチ形状及び凹型の窪み空間を設けたパンチ形状（歯車形状）で成形し、その際の加工条件や成形状態について検証した。

2. 平面形状のパンチによる成形評価

2. 1 金型構造及び実験装置

棒材の加熱には、熱源としてヒータを付加し高温になった金型から棒材に伝熱させる方法を適用した。実験に用いた金型構造の概略を図1に示す。金型は上型と下型に分かれ、固定した下型に対し上型が上下に動く構造となっている。図中の左半分は上型が棒材の上部にある状態で、右半分は上型が下降した状態を表している。上型内部にはセラ

ミック製のヒータが装填され、上型を加熱することができる構造となっている。また、上型が棒材の上端面と接触する平面パンチの内部には、接触面からヒータ側へ1.5mm内側に入った部分に熱電対を設置しておりパンチ内部の温度を測定できる。伝熱される棒材は、直径1.7mm、長さ22mmのマグネシウム合金の押出し円柱棒を用いた。棒材は、上型側へ4mm突き出した状態で下型に固持される。棒材が上型のパンチ部から伝熱される状態を観察するため、赤外線カメラを用いて棒材表面の温度分布を測定した。なお、熱放射率の補正を無くすため、あらかじめ棒材側面には黒体塗装を施した。

上述の金型はプレス機工具台上に設置し、上方から加圧することにより、平面パンチを介して棒材を加圧成形することで据込み加工を行った。加工中のパンチ荷重及びパンチストロークは荷重計と変位計で測定した。

なお、マグネシウム合金と同様に軽金属材料として用いられることが多いアルミニウム合金（A3003）についても、比較のため同様の実験を行った。

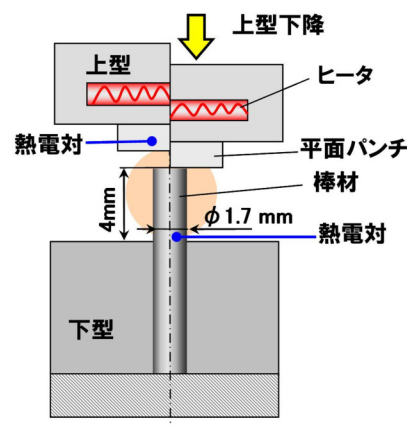


図1 金型構造の概略

* 素材開発部（現 生産技術部）

** 企画情報部（現 企画支援部）

*** 鹿児島大学

2. 2 伝熱評価結果

パンチ内部に設置した熱電対による測定温度が350℃の状態を上型を下降し、棒材の上端面に平面パンチを接触させて伝熱を開始した。そのときの棒材表面の温度分布を測定した。

測定された棒材表面の温度分布を図2に示す。図中 (a) にマグネシウム合金棒材の上端面にパンチが接触して1秒後及び5秒後の温度分布状態を示す。パンチ内部の温度が350℃のとき、パンチ平面と棒材上端面の接触部は283℃を示した。接触後1秒では、棒材中央部が75℃であり、下型によって固持された棒材根元部分は51℃であった。283℃のパンチ平面から下型側へかけて温度勾配が確認された。棒材が100℃以上に加熱された部分は棒材の上端面付近のみであり、部分的に加熱された状態となっている。接触後5秒では、棒材中央部が105℃まで加熱され接触後1秒よりも伝熱が進んだことがわかる。

マグネシウム合金との比較のため、アルミニウム合金を棒材に用いて同様に測定した温度分布を同図中 (b) に示す。マグネシウム合金と同様に接触部から下型側へかけて温度勾配が発生するが、接触後1秒ですでに棒材中央部で102℃、棒材根元部分が77℃であり、マグネシウム合金よりも伝熱が進んでいた。また、接触後5秒では棒材中央部が117℃、棒材根元部分が85℃であった。これは、アルミニウムの熱伝導率(237 W/(m・K))の方がマグネシウムの熱伝導率(156 W/(m・K))よりも約1.5倍程度大きいことによる結果と考えられる。このように両者を比較してみると、両者とも棒材の上端面は同じ283℃であるが、伝熱に要する時間が短いとマグネシウム合金棒材は、アルミニウム合金棒材よりも棒材上端面付近だけが、より部分的に加熱された状態となっていた。

2. 3 据込み加工実験結果

マグネシウム合金とアルミニウム合金の成形状態を比較するため、両材料の棒材を用いて伝熱と同時にパンチ平面で棒材を加圧し据込み加工実験を行った。パンチ内部温度350℃及びパンチ速度1 mm/sの条件で上型を下降し、パンチが棒材に接触した後も上型の下降を続けて棒材を加圧した。なお、棒材に接触してからパンチストロークが2.5mmになるまで上型を下降させた。加工後に得られた成形品の外観を図3に示す。

棒材が(a)マグネシウム合金の場合、パンチに接触した棒材の上端面の直径が広がり、側方から見て逆三角形の形状に成形された。これは、棒材の上端部付近が最も加熱されて、変形抵抗が小さくなったことにより逆三角形の形状に成形されたと考えられる。棒材は、下型側に近づくに従い温度が下がる温度勾配になっているため、上端部付近以外は変形抵抗が大きく成形されにくいと考えられる。また、

マグネシウム合金の変形特性は、約200度以上の成形時に動的再結晶による加工軟化現象を起こすことも影響していると考えられる³⁾。

一方、棒材に同一寸法の(b)アルミニウム合金を用いた場合、パンチに接触した棒材上端部の直径が若干広がるものの、成形途中で座屈を起こし、棒材が曲がった状態に成形された。これは、アルミニウム合金がマグネシウム合金に比べ伝熱が進み棒材の上端部以外においても変形抵抗が小さくなったため、棒材の変形を棒材自体で支えることができずに座屈を起こしたと考えられる。このようにマグネシウム合金とアルミニウム合金とでは、異なる成形品形状となった。

なお、今回使用したアルミニウム合金棒材では座屈を起

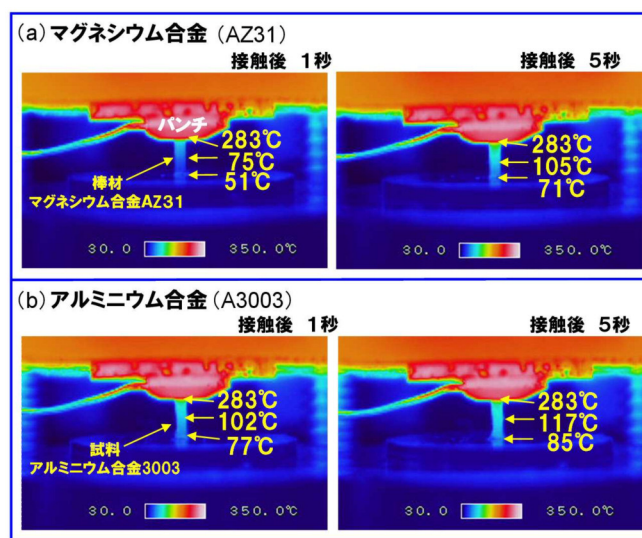


図2 温度分布測定結果

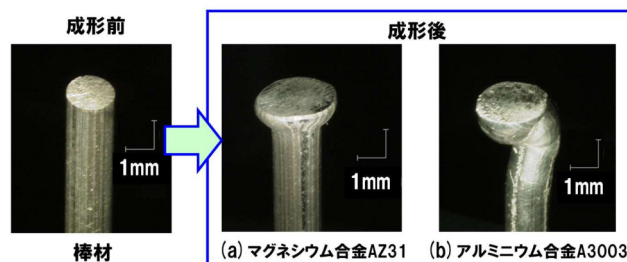


図3 成形前後の外観

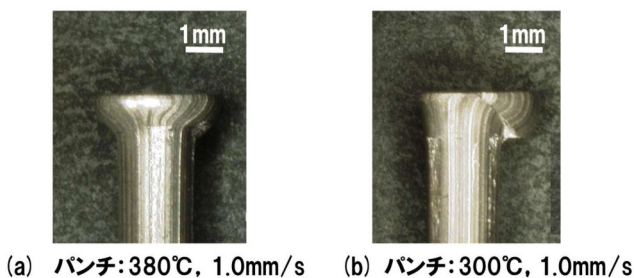


図4 温度条件による成形品形状の差

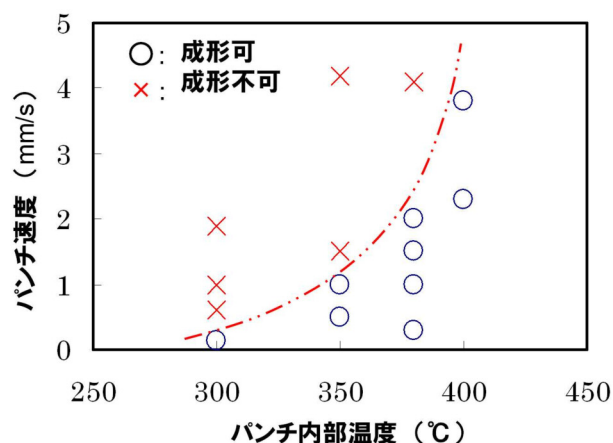


図5 成形可否と加工条件の関係

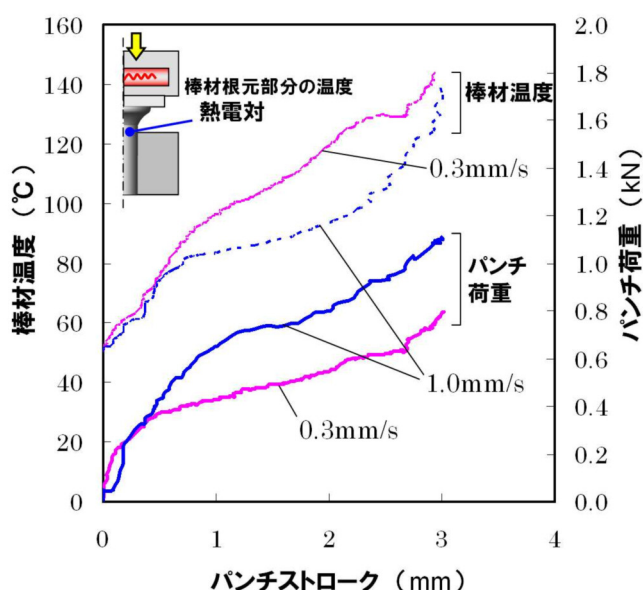


図6 パンチストロークにおける加工部根元温度とパンチ荷重の関係

こしたが、一般的な金属材料では座屈を起こさない場合、逆三角形状にならずにほぼ同径の状態では圧縮成形（据込み加工）されることが知られている。本研究のマグネシウム合金棒材を用いた据込み加工の実験結果は、これと異なりマグネシウム合金特有の成形現象を現す結果となった。

2. 4 成形における加工条件の影響

前項のマグネシウム合金棒材の据込み加工実験において、パンチ速度 1 mm/s でパンチ内部温度差の影響を見るため、パンチ内部温度を高めに設定した 380℃ 及び低めに設定した 300℃ の両条件で得られた成形品形状を図 4 に示す。パンチ内部温度 380℃ では、前述のとおりパンチに接触した棒材上端部の直径が広がり逆三角形の形状に成形された。一方、パンチ内部温度 300℃ では、成形途中で斜めに亀裂が入り成形不良となった。

このような加工条件の違いによる成形の可否を明らかにするため、パンチ内部温度とパンチ速度を変化させた実験

を行った。得られた成形可否結果と加工条件の関係を図 5 に示す。図中に示すように、成形が可能となるにはパンチ内部温度が低い場合、パンチ速度を遅くする必要がある。また、パンチ内部温度が 400℃ 以上になると、パンチ速度が速くなくても成形できることがわかる。

パンチ内部温度 380℃ で、パンチ速度 0.3 mm/s と 1.0 mm/s の両条件で据込み加工実験を行い、パンチ荷重ならびにパンチストロークを計測した。また、下型によって固持された棒材根元部分に熱電対を設置し、棒材根元部分における成形過程での温度を計測した。パンチ荷重ならびに棒材根元部分の温度とパンチストロークの関係を図 6 に示す。

両パンチ速度とも成形加工開始時の棒材根元部分の温度は 50℃ であるが、パンチストロークの増加に伴って温度が上昇し加工終了時には 140℃ 以上になった。パンチ速度 0.3 mm/s の場合、パンチストロークの増加に対して棒材根元部分の温度はほぼ比例して増加する。パンチ速度 1.0 mm/s の場合、パンチ速度 0.3 mm/s に比べ加工中の温度が低く加工終期になると温度が急上昇することがわかる。また、パンチ荷重については、加工途中の棒材根元部分の温度が低いパンチ速度 1.0 mm/s の方がパンチ速度 0.3 mm/s より大きくなった。これは、パンチ速度が速くなるとパンチから棒材への伝熱時間が少ないため、棒材根元部分の温度が高温になりきらず変形抵抗が大きくなることに相応する現象と考える。

3. 窪み空間（歯車形状）を有したパンチによる成形評価

3. 1 金型構造及び実験方法

マグネシウム合金の棒材から歯車形状のヘッドを有するピン部品へ成形する実験を行った。設計製作した金型の概略を図 7 に示す。同金型は、前述図 1 の金型とほぼ同様の構造であるが、パンチ先端部に歯車成形を行う窪み空間（ダイキャビティ）が設けられている。伝熱される棒材は、同様に直径 1.7 mm、長さ 22 mm のマグネシウム合金の押出し円柱棒であり、上型側へ 4.5 mm 突き出した状態で下型に固持される。

金型はプレス機工具台上に設置し、上方から加圧することにより、パンチを介して棒材を加圧成形することで歯車形状の成形加工を行った。加工中のパンチ荷重及びパンチストロークは荷重計と変位計で測定した。

実験では、加工条件の違いによる成形可否の条件を明らかにするため、パンチ内部温度とパンチ速度を変化させ成形加工実験を行った。

3. 2 成形における加工条件の影響及び考察

歯車成形パンチを用いて平面パンチでは成形不可の条件域であるパンチ内部温度 300℃ 及びパンチ速度 0.5 mm/s でパンチストローク 2.3 mm まで成形加工実験を行って得られた

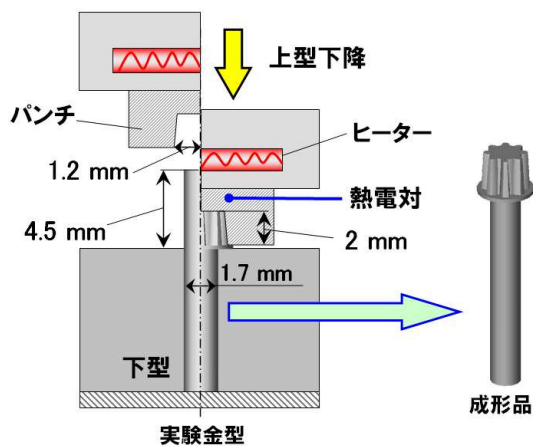


図7 金型概略図

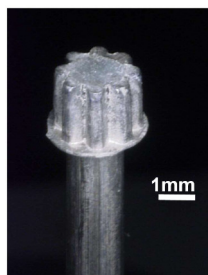


図8 成形品外観

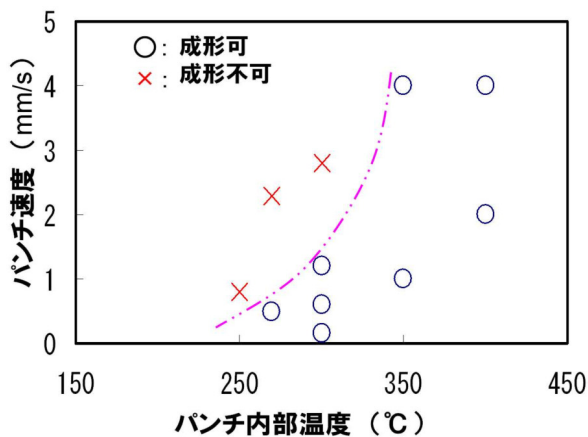


図9 成形可否と加工条件の関係

歯車ピン成形品を図8に示す。複雑な歯車形状であっても、割れ等の不良を起こさず成形が完了し型形状が転写された歯車ピン成形品が得られた。平面パンチで据込み加工した場合のように、棒材の上端面側だけ成形することなく、棒材の根元部分まで成形されていることがわかる。これは、棒材をパンチの窪み空間で覆って成形するため、成形中に棒材とパンチの接触面積が増加し棒材への伝熱が促進されることで棒材の根元部分まで成形性が向上したと考えられ

る。

得られた成形可否結果と加工条件の関係を図9に示す。図5に示す成形可否結果と同様に早いパンチ速度で成形可とするには、パンチ温度を高くする必要がある。なお、図5で成形不可である300℃及び0.5mm/sの条件では成形可となった。これは、歯車ピン成形の場合では棒材をパンチの窪み空間で覆って成形するため、成形中に棒材とパンチ接触面積が増加し棒材への伝熱が促進されたことと、また、成形過程において型による拘束が棒材内部の静水圧の増加を促し、割れの発生を抑制していることが考えられる。

4. 結 言

本研究では、小径のマグネシウム合金棒材を用いて一部の金型のみ加熱し棒材への伝熱を利用したヘッディング加工を試み、以下のことが明らかになった。

- (1) 平面パンチでヘッディング加工を行った場合、パンチに接触した棒材上端面側がつぶれた状態で成形された。
- (2) 加工条件であるパンチ内部温度とパンチ速度と成形可否の関係を明らかにした。パンチ内部温度が高いほど、またパンチ速度が遅いほど成形可能となる。
- (3) パンチ先端部に歯車成形を行う窪み空間（ダイキャビティ）を設けた場合、平面パンチを用いた場合よりも加工可能な条件域が広がり、良好な成形品を得ることができた。
- (4) 一部の金型のみ加熱し棒材への伝熱を利用することで、従来の方法である金型や棒材すべてを加熱する方法よりも加熱に必要なエネルギーを少なくして成形を完了することができる。

謝 辞

本研究の一部は、(独)科学技術振興機構(JST)の平成21年度地域イノベーション創出総合支援事業（シーズ発掘試験）に採択されて実施した内容であり、その支援に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 牟禮雄二，中西賢二，松田豪彦，桑原田聡，中村俊一：塑性と加工，**56**，589，136-140（2010）
- 2) 桑原田聡，牟禮雄二，松田豪彦，中西賢二：鹿児島県工業技術センター研究報告，**23**，39-44（2009）
- 3) 桑原田聡，中西賢二，牟禮雄二，松元泰道：塑性と加工，**56**，593，528-586（2010）