

多軸プレスによるMg合金のネットシェイプ成形加工

産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門、難加工成形研究グループ

主任研究員 初鹿野 寛一

(平成15年度研究開発助成 AF-2003012)

キーワード: 側方押し加工、マグネシウム合金、背圧付き押し加工

1. はじめに

マグネシウム合金は構造用金属材料中でもっとも軽い材料であり、自動車等に適用できれば車体の軽量化ならびに燃費の向上に寄与すると共に炭酸ガスの削減に大きく貢献することが期待できる低環境負荷型の材料として注目されている。現在マグネシウム製品の95%以上は鑄造により作製されており、わずかに塑性加工を利用したプレスや鍛造による成形が行なわれている。今後、大型の部材への適用やより強度を必要とする部材への応用を行なうためには鑄造法では対応が困難な状況にある。

一方、塑性加工を利用したマグネシウム合金の成形では高強度と延性を有する部材が得られ、大型、複雑部材への応用が可能であり、表面の性状も優れたものが得られる。また、鑄造にくらべ環境負荷の低減の観点からも優れている。しかしながら展伸用マグネシウム合金がコスト的に高いことや室温での加工性が乏しいことを反映して、その応用は限られている。そのため、塑性加工において鍛造を利用したマグネシウムの加工に関する研究は僅かであり、その加工は300以上の温度で行なわれている。マグネシウムの高強度化ならびに表面性状の改善および加工精度を向上させるために低温でのネットシェイプ成形技術を確立する必要があり、それに伴いマグネシウム合金の応用範囲の拡大が期待できる。

本研究では、マグネシウム部材のネットシェイプ成形を行なうことを目的とし、多軸プレスを用いて展伸用マグネシウム合金の加工を行い、十字形の部品を成形して、健全な成形を行なうための加工温度、速度および背圧の影響を調べた。

2. 実験方法

2.1 室温及び高温での圧縮試験

本研究で使用したマグネシウム合金は市販のマグネシウム合金、AZ31とAZ61である。これらのマグネシウム合金は温度355で押し加工された直径28mmの丸棒で、これを旋盤で直径16mm、高さ24mmの円柱に切削して圧縮試験片とした。機械的特性を調べるための圧縮試験は平行で平らな平面を持つサブプレスを用いて無拘束で無潤滑で行った。室温での圧縮試験は万能試験機で、高温での圧縮は、330までの加熱が可能な炉を

持つオートグラフを使用した。

2.2 多軸材料試験機及び金型

マグネシウム合金の側方押し加工は図1に示す多軸材料試験機¹⁾を用いて行った。この試験機は水平方向に、



図1 多軸材料試験機

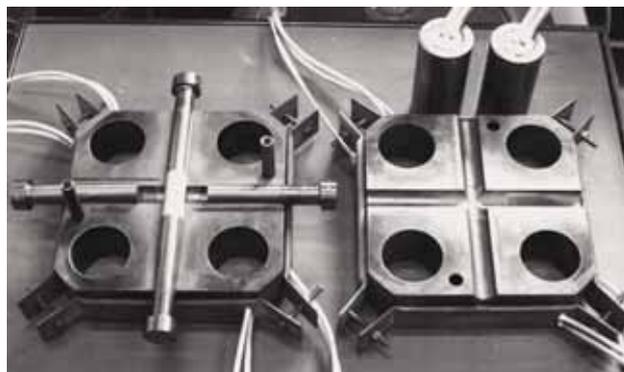


図2 2枝部品の上下金型及びヒーター

能力500kNで、変位が±123mmのラムを4基、垂直方向に、能力2500kNで、変位が500mmのラムを1基所有している。図2に2枝部品成型用の上下型及びヒーターを示す。この金型の材質は高速度鋼、SKH51で、硬度はHRC62である。使用したピレットの寸法は直径16mmで、長さが50mmで、ピレットから押し加工される枝の直径は幹の直径と同じ16mmである。潤滑剤は二硫化モリブデンを使用した。加熱は上下型の側面に取り付けられた合計8個の100V、300Wのスペースヒーターと4

個の 100v、800W のパイプヒーターを使った。温度計測はこの金型の中心近傍位置で、アルメルクロメル熱電対で行った。

2.3 多軸材料試験機による側方押し加工

ピレットを中央の溝にセットした金型は多軸材料試験機の中央に据えられ、縦方向ラムによって固定された後、ヒーターによって押し温度に達するまで加熱された。加熱温度に達した後、2本あるいは4本のパンチにより温間側方押し加工が行われた。

3. 結果及び考察

3.1 圧縮試験における温度の影響

図3及び図4にAZ31とAZ61の室温から高温での圧縮試験結果を示す。図3において、室温から180までピレットはせん断により割れが生じて破壊した。190以上の温度になるとピレットは歪みが0.5以上でも割れが起らず変形した。



Billet, R.temp., 180, 190, 200, 250

図3 AZ31の圧縮試験結果

AZ61では、室温から160まではせん断で破壊したが170以上の温度では歪み0.5以上の変形が得られた。AZ31, AZ61のどちらも破壊しないピレットは上端が膨らんだマッシュルームのような形状の変形となった。この形状は温度が上昇して300になっても変わらず、樽形には成らなかった。



Billet, R.temp., 160, 170, 200, 250

図4 AZ61の圧縮試験結果

図5に温度を室温から250まで変化させたAZ31の応力と歪みの関係を示す。歪み速度は室温では0.4mm/minでそれ以外では0.5mm/minである。図において、室温の応力は始め急激に上昇し、171Mpa付近で降伏してから再び上昇し、最大値の382MPaとなった。最大値到達後、割れが入り、応力は急激に減少して零と

なった。温度180でも割れが入ってピレットは破断したが破断時の歪みは0.21と室温の0.1に比べて大きい。温度190において、歪みが0.5以上になってもせん断による破断は起こらず変形した。応力は最大値到達後、低下しピレットは軟化の傾向を示した。さらに歪みが大きくなると応力は再び上昇した。これは端面が張り出して大きくなり、これに伴って圧縮荷重が大きくなるが、応力計算は元の面積で割って計算しているためである。図6にAZ61の圧縮試験結果を示す。AZ61もAZ31と同様な傾向を示し、室温から160までピレットはせん断により破壊し、170以上になるとピレットは歪みが0.5以上になっても破壊せず変形した。また、ピーク後、軟化の傾向も見られた。

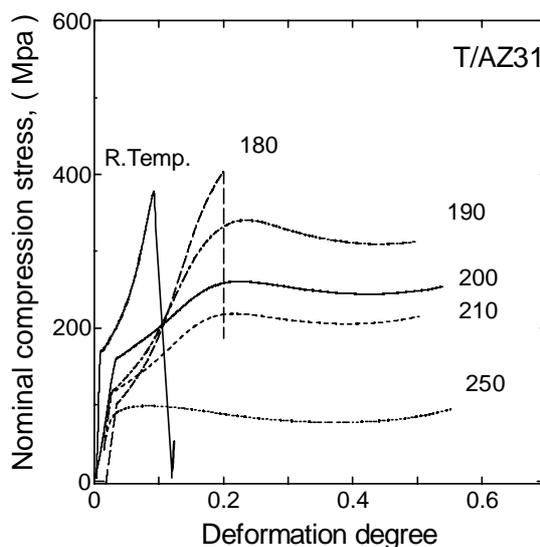


図5 AZ31の圧縮試験における応力 変位図

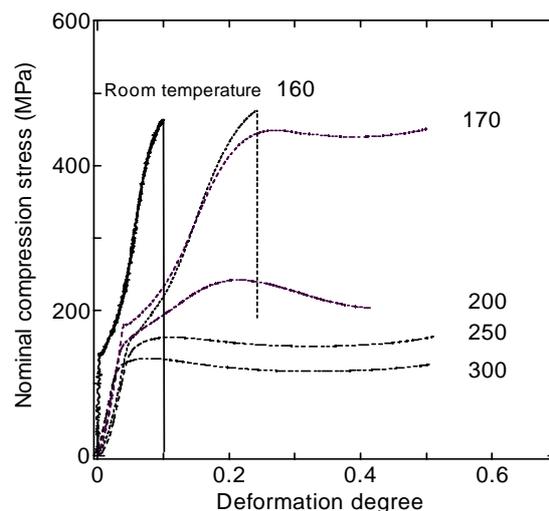
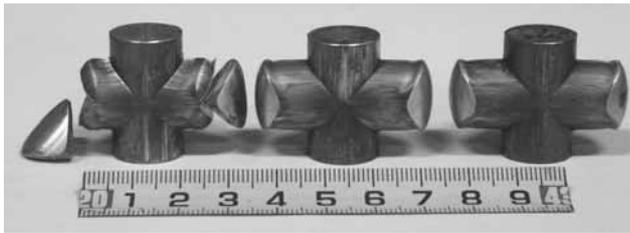


図6 AZ61の圧縮試験における応力 変位図

3.2 側方押し加工

図7に各温度で押し加工されたAZ31の枝付き部品を示す。ラムの押し速度は75mm/minである。

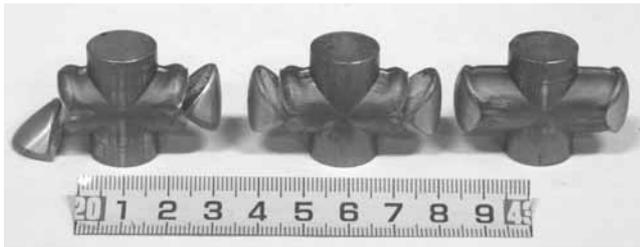


215 230 260

図7 各温度における押し加工された AZ31 の製品

温度 215 において製品は図中の左に示すようにせん断により割れ、枝先端部に分離が見られた。しかし、温度を 230 以上にすると中央や右の製品のように割れない枝付き部品を押し出すことが出来た。

図 8 に各温度で押し加工された AZ61 の枝付き製品を示す。温度 220 の製品はせん断により枝が破断した。230 に温度を上げて押し出しを行ったのが中央の製品で、この製品の枝にもせん断による大きな割れが見られた。さらに温度を 260 に上げて押し出しを行って得たのが右の製品である。この温度では割れない製品が得られた。



220 230 260

図8 各温度における押し加工された AZ61 の製品

図 9 に図 7 及び 図 8 で示した製品の各温度における加工時の応力とラムの変位を示す。図 9 の AZ31 において、215 の応力は開始から急激に増加し、最大値の 375 MPa に達した。最大応力に到達後、ピレットの枝にクラックが発生するため、応力は 221 MPa まで急激に低下した。その後、割れは起こらないので応力は再び増加し、300 MPa 付近まで上昇して一定となり、加工の終了まで続いた。温度を 230 で押し出し加工したピレットは最大応力の 325 MPa に到達するまで急激に増加した。しかし、割れの発生がないので応力の急激な低下はなく、279 MPa までゆるやかに低下し、加工終了までこの値をとった。さらに押し出し温度を上げた 260 の加工では、230 の応力曲線と同様の傾向とるがその値は温度が高いため 30 MPa ほど低い値となった。この押し出し加工の最大値は 254 MPa で、枝への材料流動が始まると 210 MPa まで緩やかに下がり加工終了までこの値で一定となった。

AZ61 において、220 及び 230 では、割れが生じ、健全な製品を作ることが出来なかった。しかし、温度を

260 にすると AZ31 の 260 と同様の応力 - 変位図を示し、割れない完全な製品を作ることが出来た。

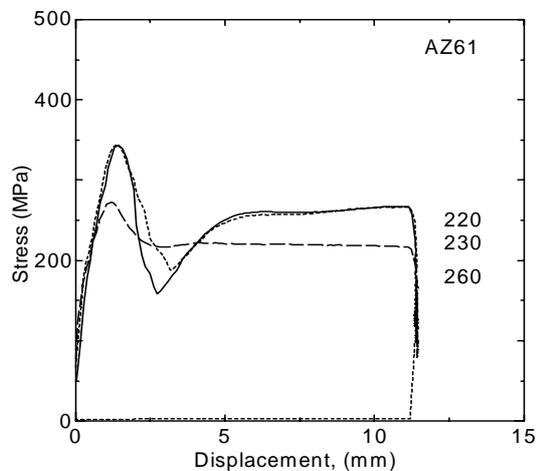
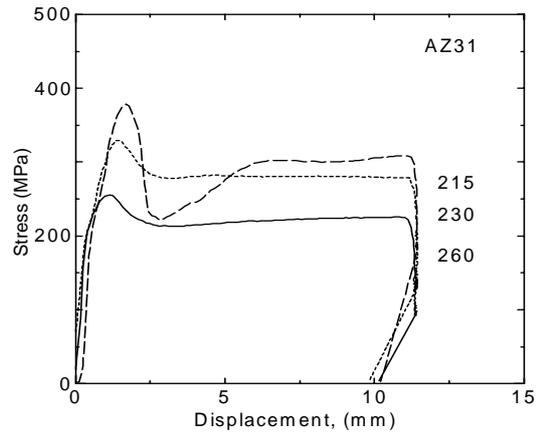
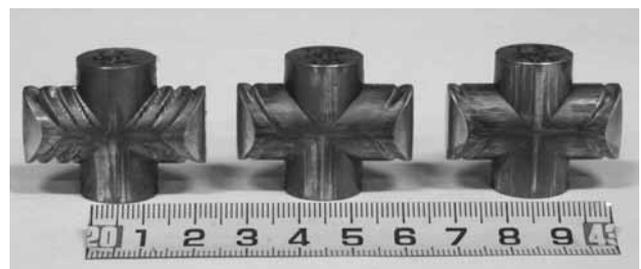


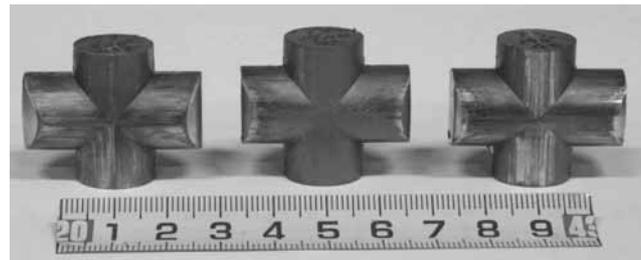
図9 各温度における応力 変位図

3.3 背圧の効果

図 10 に背圧を加えながら押し出し加工を行った場合の AZ31 の製品を示す。製品は背圧を 75 MPa にして温度



180 /75 MPa 190 /75MPa 200 /75MPa



220 /75MPa 190 /150MPa 190 /200MPa

図10 背圧を加えて押し出した AZ31 の製品

を 180 から 220 まで変化させて押し出し加工したものと温度を 190 にして背圧の大きさを変えたものである。180 /75 MPa の製品は枝に多くの割れによる深い溝が見られるが背圧のため枝先端部は分離することはない。190 /75 MPa では枝に深い溝が見られるがその数は減り、一つとなっている。200 /75 MPa でもまだ枝に割れが一つ見られるが、190 /75 MPa より浅い溝である。220 /75 MPa では枝に割れは観察されず完全な枝付き製品が得られた。温度を 190 にして背圧を 150MPa, 200MPa に変化した場合どちらの枝にも割れは観察されず完全な製品が得られた。背圧を高めた 200 MPa 場合、枝の端面は 150MPa よりさらに改善された平坦な面となった。

図 11 に背圧を加えて押し出し加工を行った場合の AZ31 の応力 - 変位を示す。190 で 75MPa の背圧の応力は初めから急激に上昇して 657MPa のピーク値に達し、その後、割れが入って 303MPa まで急激に減少するが割れの進行が止まると再び上昇する。応力が 430MPa に達すると第 2 の割れが入って応力は再び減少し、割れの進行が止まると再び上昇する。その後、第 3 の割れが起こるとまた減少する。このように割れが繰り返し起こるので応力は振動を示す。同じ背圧で、温度を 190、200 と温度を上げて加工した場合、応力は最初の割れが発生して一旦減少するが、割れの進行が止まると再び緩やかに上昇する。これらの温度では第 2 の割れが発生しないので応力の振動はない。さらに温度を上げて 220 にすると、割れの発生はなく、ピーク直後の応力の減少は 40 MPa と小さい。ピレットは圧縮力を受けて、ピレット内の応力が上昇し、ある応力になると枝の方向に材料が流れ出し、応力は減少して一定の値となり、加工終了までこの応力を保つ。これはこの側方押し出し加工の特徴である。

図示はしないが AZ61 においても、180 /150 MPa で加工した製品はその枝に多くの割れが見られたが、温度を上げて 190 /150MPa で加工した場合、割れのない製品を得ることが出来た。さらに 250MPa と背圧を高めると 180 でも割れのない製品を押し出し加工することが出来た²⁾。マグネシウム合金の塑性加工は 225 以上の温度でなければ実現が困難だと言われる³⁾が本研究では背圧を加えて加工することにより 200 以下の温度でマグネシウム合金を加工することが出来た。

3.4 加工速度の影響

加工速度の影響を調べるためラムの押し出し速度を 75mm/min、36mm/min、7.5mm/min に変化させて押し出し加工を行った。この場合の AZ31 の製品を図 12 に示す。75mm/min の製品は枝に大きな割れが見られる。36mm/min の製品でも割れが見られるが 75mm/min のものとは異なり、枝部から分離することはない。

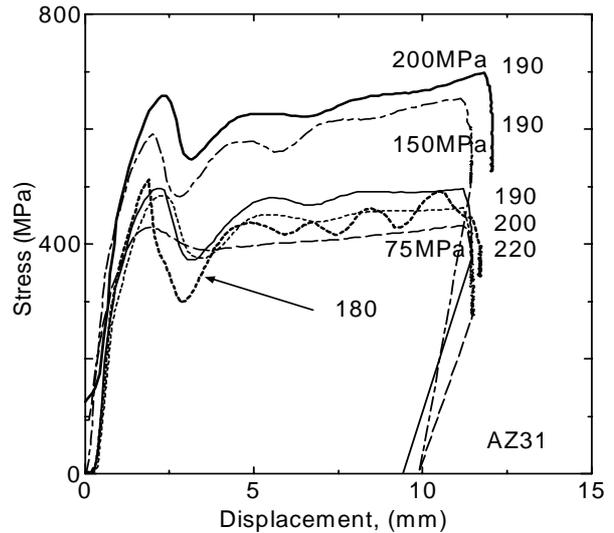


図 11 背圧を加えて押し出し加工した場合の応力 - 変位図

7.5mm/min の加工速度のものは割れが見られず完全な製品が得られた。

図 13 に加工速度を変えた場合の AZ31 の応力 - 変位を示す。この側方押し出し加工は温度、215 の一定で行った。75mm/min の加工速度では、応力は最大応力の 379MPa まで急激に増加し、その後、割れのために応力は 221MPa

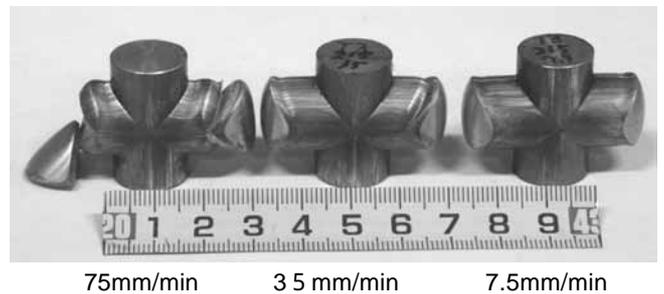


図 12 加工速度の違いによる枝付き製品

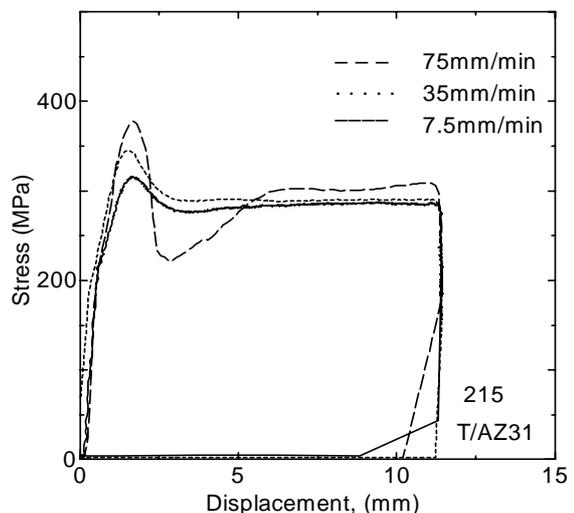


図 13 加工速度を変えた場合の AZ31 の応力 - 変位

まで大きく減少した。加工速度を半分の 35mm/min にして押し出すと割れはないが深くぼみが観察され、最大荷重後の減少は小さく、加工終了まで応力は変動もなく一定であった。加工速度を 1/10 の 7.5mm/min で押し出し加工を実施すると最大荷重はさらに減少して 318 MPa となり、最大荷重後の応力の低下傾向も小さい。マグネシウム合金、AZ31 及び AZ61 の押し出しは加工速度に依存し、遅い速度で押し出し加工を行った方が完全な製品を得るのに有利である。

4. まとめ

マグネシウム合金、AZ31 及び AZ61 の機械的特性を得るために、室温から 250 °C まで温度を変えて圧縮試験を行った。さらに、多軸プレスによる Mg 合金の温間側方押し出し加工を実施して押し出し加工性を調べた結果を得た。

- 1) AZ31 において、室温での破壊時の歪みは 0.11 であるが 190 °C 以上では、歪みが 0.5 でもピレットは破壊することがなかった。
- 2) AZ61 では、押し出し加工温度が 170 °C 以上になるとピレットは 0.5 以上の歪みになっても破壊せず変形した。
- 3) 割れのない完全な十字型製品は、AZ31 の場合は 230 °C で、AZ61 の場合は 260 °C で側方押し出し加工が出来た。
- 4) 押し出し加工温度を低減するため、背圧を加えた側方押し出し加工を行った結果、完全な製品は、AZ31 で

は、背圧が 150 MPa、温度 190 °C で得られた。AZ61 でも、150 MPa、190 °C で割れのない製品が得られた。さらに背圧を増加して 250 MPa にすると 180 °C でも割れのない製品を押し出し加工することが出来た。

- 5) 同じ温度の場合、加工速度を遅くした方が割れのない製品を押し出すのに有利であり、速度を 7.3mm/min で AZ31 のピレットを押し出した場合、215 °C で完全な製品を得ることが出来た。

謝辞

本研究の遂行にあたり、(財)天田金属加工機械財団の研究助成金を受けた事を記し、財団及び関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 篠崎吉太郎、(1987) “多ラム機械による冷間複動押し出し加工法の研究”. 機械技術研究所報告 148 号.
- [2] K.Hatsukano et al.(2004) “Branched part forming of magnesium wrought alloy by warm lateral extrusion using multi-axes material testing machine” the proceeding of 7th international conference deburring and surface finishing, pp433-442.
- [3] E. Doege and St. Janssen, (1999) “Magnesium precision forming - experimental and numerical approach for magnesium near net-shape processing”, Proceedings of 32nd ISATA, pp.171-178.

