

超軽量マグネシウム合金板の冷間多段深絞り加工性

兵庫県立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻
教授 原田泰典
(平成 20 年度一般研究開発助成 AF-2010002)

キーワード：マグネシウム合金，深絞り加工，板材成形

1. 研究の目的と背景

近年、マグネシウム材料は実用金属の中で最も軽量であるため、パソコンや携帯電話などの電子機器やカメラケースなどの筐体として¹⁾、また自動車や電車などの構造用材料として需要が急速に伸びている²⁾。筐体の場合、各種形状にプレス成形によって製品化されることが多く、またさらなる軽量化を図るための容器薄肉化も進められている。そのため、製品精度の高いプレス成形技術を確立するとともに、プレス成形を考慮した合金開発に関する技術は国内外で多く行われている。とくに、省エネを考慮した搬送機器の部材としてプレス成形性にすぐれた新しい合金開発が行われている³⁾。強加工後の熱処理や高温焼鈍処理などの組織制御によって、従来法に比べて成形性は飛躍的に向上している。このように、これまでに合金の材質改善に関する多くの研究が行われている。鋳造後に温間圧延を施して作製した AZ31 と AZ91 合金において⁴⁾、また異周速圧延で結晶粒微細化した ZK60 合金において⁵⁾、それぞれ超塑性挙動を示す報告がある。また、AZ31 合金のプレス成形性に及ぼす微細構造組織や Mn 添加効果の影響について調べられている⁶⁾。報告者も AZ31 合金の高温焼鈍処理によって延性が改善することを報告している⁷⁾。しかし、実用合金は結晶構造的に加工性が非常に低く、室温成形は極めて困難であることが製品拡大の大きな障害となっている。そのため、合金のプレス成形は温間で行われることが多く、成形に関する研究もそのほとんどが温間での成形性が調べられている⁸⁾。温間プレス成形試験機によって AZ31 合金の温間成形を行い、深絞り性、伸びフランジ性、形状凍結性の温度依存性について明らかにしている⁹⁾。また、恒温圧延機で作製した AZ61, AZ91, AM60 の各合金板の深絞り成形性を検討し、実用的圧延温度を明らかにしている¹⁰⁾。また、プレス加工中の材料に対して局部加熱を用いた温間成形法によって成形限界の改善について調べられている¹¹⁾。このように、マグネシウム材料に関する研究のほとんどは温間あるいは熱間での加工条件下で行われているのが現状である。上述したように、マグネシウム合金が室温でほとんど成形加工ができない脆性材料であるためである。そのため、国内外の研究機関において、マグネシウム合金の温間や熱間における成形性の改善は進んでいるが、室温におけるプレス成形技術はほとんど確立されていない状況にある。もし、冷間成形が可能となれば、加熱装置の必要な複雑な金型は不要となるのでコスト低減につながるるとともに製品化が飛躍的に進むものと思われる。

報告者は、マグネシウム合金の良好な室温プレス成形加工を行うため、塑性変形に伴うすべり面が多いβ型マグネシウム合金に着目した。このβ型合金は、古くからマグネシウム合金の中では比較的室温延性を示すことが知られている¹²⁾。実用合金の最密六方晶構造とは異なり、体心立方構造なので塑性変形に伴うすべり面が多いことが特徴である。また、この合金はリチウムを比較的多く含有しているので実用合金に比べて約 20 % 軽く、この特徴も実用化の上で注目されている。そのため、リチウム含有マグネシウム合金において、冷間での機械的性質やプレス成形性について多くの研究が行われている¹³⁾。深絞り加工の研究として、Mg-9Li-1Y 合金薄板を用いた円筒状深絞り加工やエリクセン試験などを行い、高い成形性を示す報告がある¹⁴⁾。しかしながら、プレス加工における冷間成形性と合金組織の関係や連続加工である多段深絞り加工による冷間成形性についてはあまり調べられていない。このような状況下で、マグネシウム合金の製錬技術の進歩によって、新たな高品質のβ型 Mg-Li 合金の開発が行われた。超軽量で高比強度、高剛性、高加工性に優れた合金のため、実用化の期待が望まれている。そこで、本報告では、この開発された新しいβ型合金を用い、プレス成形の中では比較的厳しい成形とされる多段円筒深絞り加工を冷間で試み、成形性について調べた。

2. 実験方法

供試材はリチウム含有マグネシウム合金で、ASTM 規格 LA141 である。主な添加元素の組成(mass%)は、13.56Li, 0.96Al, 0.29Ca, 0.005Zn, 0.017Si である。合金インゴット 150×400×1200 mm から熱間及び冷間の圧延によって板厚 0.5 mm の薄板を作製したのち、深絞り加工用ブランクを切り出した。ブランクの直径は 70~100 mm である。全てのブランクは、加工ひずみを除去するため、大気中で約 200 °C で 3.6 ks の焼鈍処理を施した。図 1 に、電子線後方散乱回折法(EBSD)によって観察した厚さ 0.5 mm の圧延板の組織を示す。

深絞り加工は、油圧式プレス機を用い、クロスヘッド速度約 10 mm/s の速度で深絞り加工を行った。多段深絞り加工は、第 1 段~第 9 段までのパンチを用い、室温で行った。第 2 段目以降の加工では絞り比を約 1.2 で行った。パンチとダイスにおけるクリアランスはブランク板厚と同じにした。パンチ形状は、すべての段数において肩半径 3 mm である。ダイス形状は、1 段目がダイス肩半径 4 mm の平ダイス、2~10 段目がダイス半角 30°、

ダイス肩半径 2 mm のテーパダイスである。パンチとダイは熱処理を施した合金鋼 SKD11 を、また潤滑剤は市販の二硫化モリブデン固体粉末含有工作油を用いた。図 2 に、第 1 段加工で用いた深絞り加工装置の概略を示す。

深絞り加工の成形において、合金薄板の機械的性質を知ることが重要であるため、引張試験を行った。引張試験機はインストロン社製で引張速度は 2 mm/min である。引張試験片は JIS-13B 号で、薄板から切り出した。また、面内及び板厚異方性を調べるため、圧延方向に対して 0 度、45 度、90 度の 3 方向から採取を行った。

3. 研究成果

図 3 に、荷重—変位曲線を示す。最大荷重に対する圧延薄板からの採取方向の影響はあまり見られないが、破断伸びに対する影響は大きな違いが見られる。得られた荷重—変位曲線から、最大引張応力と破断伸びを算出した。その結果、最大引張応力

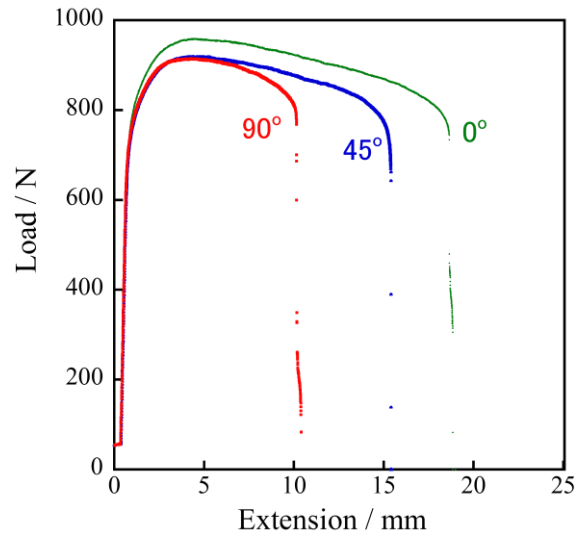


図 3 荷重—変位曲線

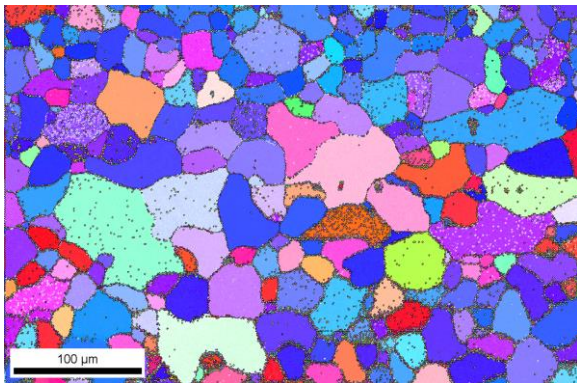


図 1 EBSD による圧延板の組織



図 4 ブランク直径 92mm における深絞り成形した容器外観

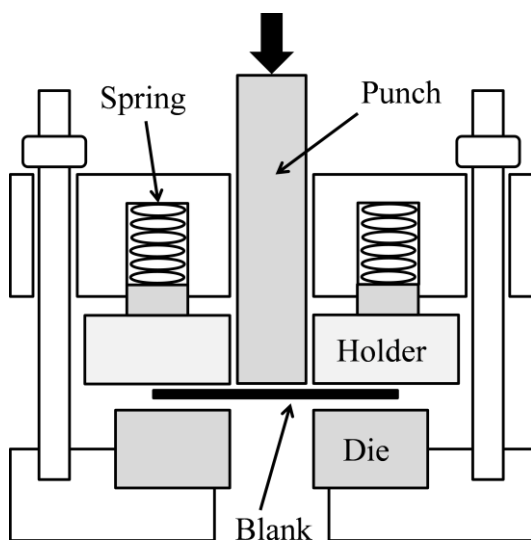


図 2 深絞り加工装置の概略

は 0 度方向で約 142 MPa、45 度方向で約 143 MPa、90 度方向で約 146 MPa であった。また、破断伸びは 0 度方向で約 50 %、45 度方向で約 40 %、90 度方向で約 23 %であった。室温における変形能は高いことが分かる。

合金薄板の成形限界を調べるため、blank 直径 70 mm と 80 mm の 2 種類を用い、深絞り加工を室温で行った。その結果、両 blank から成形した容器において、しわや破断はまったく見られず、室温での成形性は良好であることが分かった。そこで、合金薄板の限界絞り比 (L. D. R.) を調べた。blank 直径 90 mm と 92 mm の 2 種類を用いた深絞り加工では、破断のない良好な容器が得られた。図 4 に、blank 直径 92 mm を用いて深絞り加工を行った容器外観を示す。しかしながら、blank 直径 94 mm を用いた加工では、成形中に破断を生じた (図 5)。以上より、開発合金の L. D. R. は約 2.3 であることが分かった。

合金薄板の深絞り加工性は良好であることが分かったため、連続加工である多段深絞り加工を室温で行った。blank 直径 75 mm の blank を用いて多段深絞り加工を室温で行った。



図5 ブランク直径94mmにおける
深絞り加工中に破断した容器外観

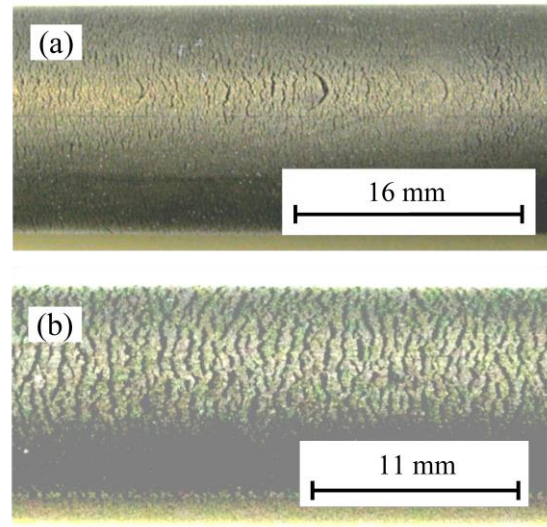


図7 ブランク直径75mmにおける
深絞り加工後の容器表面
(a)第6段容器, (b)第8段容器

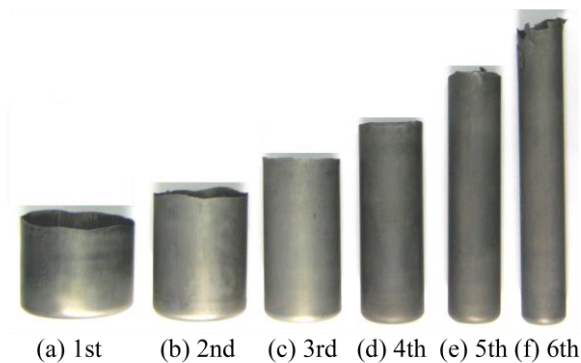


図6 ブランク直径75mmにおける
多段深絞り加工後の第1段から
第6段までの容器外観

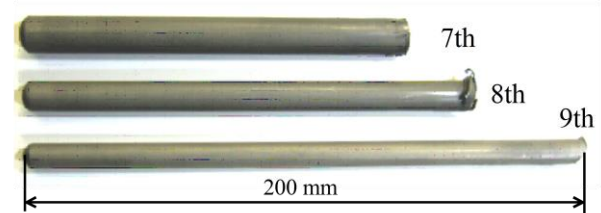


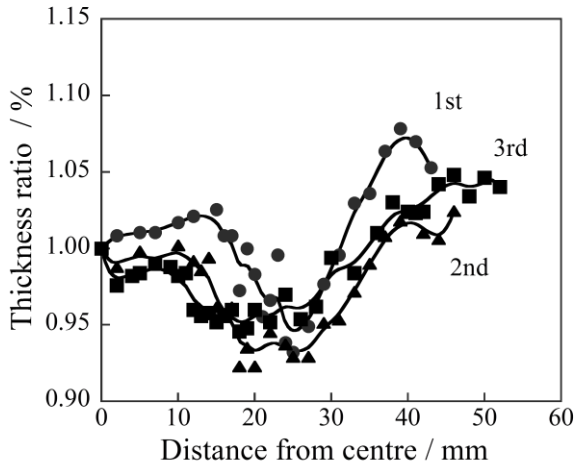
図8 ブランク直径75mmにおける
深絞り加工後の第7段から
第9段までの容器外観

図6に、第1段から第6段における容器の外観を示す。工程中は中間焼鈍なしで連続加工を行った。第6段までの深絞り加工において、容器に破断は見られず成形が可能であった。しかし、第6段において容器表面に微細な割れが生じているのが観察された。工程中に容器への中間焼鈍を施さなかったため加工硬化によって割れが生じたものと考えられる。この微細な割れは、第7段以降の加工において成長して大きくなったが、容器の破断は見られなかった。

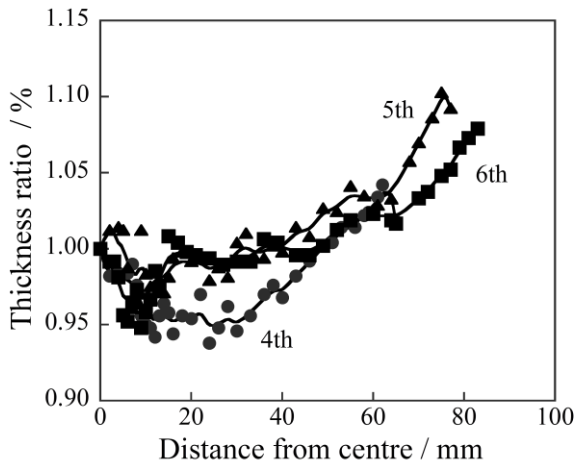
図7に、ブランク直径75mmのブランクを用いて、第6段(a)と第8段(b)における容器表面を示す。第6段(a)の場合、容器の周方向に微細な割れが生じているのが見られる。第8段(b)の

場合、第6段(a)で生じた微細な割れが絞り方向に拡がり、割れ自体が大きくなっているのが分かる。しかし、成形は可能であり容器の底部や側壁部において破断を生じることはなかった。

多段深絞り加工における容器表面の割れ発生を防ぐため、工程途中での中間焼鈍処理の影響について調べた。その結果、工程中に数回の中間焼鈍を施すことによって、容器表面の割れは生じないことが分かった。焼鈍条件は大気中、焼鈍温度200℃で保持時間3.6ksである。図8に、多段深絞り加工の工程中に中間焼鈍を施した第7段から第9段における容器の外観を示す。中間焼鈍は第3段と第6段の容器に対してそれぞれ行った。いずれの容器においても側壁部表面には割れの発生はまったく見られなかった。したがって、容器表面の割れ発生防止に対して、工程途中での容器への中間焼鈍は有効であることが分かった。第9段で得られた容器寸法は外直径約9mmで長さ約200mmである。



(a) 第1段から第3段の容器



(b) 第4段から第6段の容器

図9 容器底部中心から開口部における板厚分布

深絞り加工では容器底部のコーナー部で板厚の減少が生じ、開口部では逆に増肉することがよく知られている。そこで、多段深絞り加工における容器の板厚分布を調べた。図9に、ブランク直径75 mmを用いて多段深絞り加工を行った第1段から第3段の容器(a)、第4段から第6段の容器(b)における板厚分布を示す。工程中の中間焼鈍処理は行っていない。板厚測定は、デジタルポイントマイクロメーターによって容器底部中心から開口部まで行った。底部コーナー部での減少率は8%以下で、また開口部での増肉量は約10%であった。本加工におけるパンチとダイスのクリアランスをブランクの板厚と同じにしているので、開口部付近ではしごきの効果が生じたためと思われる。

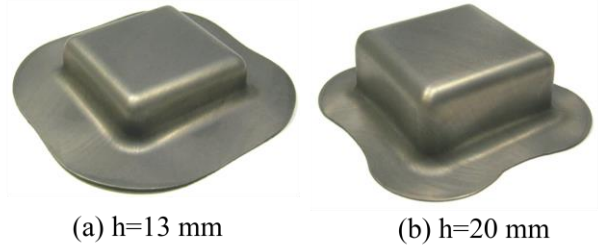


図10 角筒容器の外観

円筒容器の深絞り加工を行った結果、成形性は良好であることが分かった。深絞り容器の利用範囲をさらに広げるため、角筒絞りによる成形を試みた。図10に、対辺40 mmの正四角筒容器の外観を示す。パンチとダイにおける肩部半径は4 mmである。高さ約20 mmの容器(b)において、容器の壁割れは見られず、成形性は良好であることが分かった。

4. 結論

マグネシウム合金の利用範囲を広げるため、最近開発された新しいβ型 Mg-Li 合金を用い、プレス成形の中では比較的厳しい成形とされる円筒深絞り加工を試みた。その結果、開発合金から作製した薄板は室温での深絞り加工が可能であった。成形性の目安となる限界絞り比LDRは約2.3であることが分かった。そこで、さらに厳しい加工である多段深絞り加工を試みた。その結果、工程中に中間焼鈍を施すことで多段深絞り加工が可能であることが分かった。第9段の加工において、直径9 mm、長さ約200 mmの細長容器が得られた。また、円筒容器の結果に基づき、利用範囲を広げる目的で、角筒深絞り加工も試みた。その結果、対辺40 mmで高さ約20 mmの角筒容器の成形が可能であることが分かった。今後、多段深絞り加工による角筒容器の成形性について調べる計画である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、公益財団法人天田財団の平成20年度一般研究開発助成を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 金井俊典, 西田進一, 渡利久規, 廣木忠信, 日本機械学会機械材料・材料加工技術講演会論文集(CD-ROM), Vol. 20th (2012), No. 920.
- 2) LARSEN K. R., Mater Performance, Vol. 51 No. 12(2012), 20-21 (2012).
- 3) 井上忠信, Form Tech Rev, Vol. 22 No. 1(2013), 86-90.
- 4) DASHWOOD R., GRIMES R., KLAUMUNZER D., JACKSON M., FAN Z., Key Eng Mater, Vol. 433(2010), 273-279.

- 5) KIM W. J., KIM M. J., WANG J. Y. Mater Sci Eng A Struct Mater Prop Microstruct Process, Vol. 527 No. 1-2(2009), 322-327.
- 6) HUANG X., SUZUKI K., WATAZU A., SHIGEMATSU I., SAITO N., J Mater Res, Vol. 23 No. 11(2008), 3029-3039.
- 7) 森謙一郎, 辻浩和, 原田泰典, 塑性加工春季講演会講演論文集, Vol. 2005(2005), 229-230.
- 8) GALDOS L., SAENZ - DE - ARGANDONA E., ULACIA I., ARRUEBARRENA G., Key Eng Mater, Vol. 504/506 Pt. 2(2012), 815-820.
- 9) 松居正夫, 鈴木隆, 井上孝司, 土田豊, 渡辺真, 河部昭雄, 大同工業大学紀要, Vol. 41(2005), 39-44.
- 10) 古閑伸裕, PAISARN Ratchanee, 石原直剛, 渡利久規, 羽賀俊雄, Vol. 57 No. 4(2007), 141-145.
- 11) 須貝裕之, 田辺郁男, TRUONG HONG Minh, 日本機械学会論文集C編, Vol. 73 No. 733(2007), 2625-2630.
- 12) 松沢和夫, 越原俊夫 (長岡技科大), 小島陽, 軽金属, Vol. 39 No. 1(1989), 45-51.
- 13) 宅田裕彦, 江南貴司, 塚田虎之, 久保田耕平, 塑性加工連合講演会講演論文集, Vol. 49th (1998), 335-336.
- 14) 宅田裕彦, 吉田哲幸 (京大 大学院エネルギー科学研究科), 菊池潮美 (滋賀県大 工), 岡原治男, 塑性と加工, Vol. 43 No. 502(2002), 1077-1081.