

# 軽金属の塑性加工特集号に寄せて

## ～軽金属の塑性加工における技術動向～

西村 尚\*

本号では最近の当財団の研究助成成果の中から軽金属に関する研究成果を特集してお届けする。実用構造材料としての軽金属は、普通、アルミニウム、チタン、マグネシウムが上げられる。国内生産量はアルミニウムが圧倒的に大きく、年間400万トンに及ぶ。チタンとマグネシウムは数万トンで量的にはごくわずかである。これらの材料は、展伸材と鋳造材がある。アルミニウムは展伸材である板類と押し出し材が3分の2、鋳造材が3分の1の割合である。塑性加工に用いられる展伸材は、板と押し出し材があり構造物の軽量化のために生産量は増加している。チタンは純チタンは加工性が良いが、チタン合金は難加工性材料である。マグネシウムはダイカスト製品が多く板、棒、管製品はほとんど生産されていない。しかし、最近アルミニウムよりも比重が1近く低いことからデジタル家電製品などで注目されている材料である。

### 1. アルミニウムおよびアルミニウム合金

純アルミニウムの1000系から高力合金の7000系まで7系統の展伸材が生産されている。そのうち、塑性加工に用いられるのは、1000（純アルミ）、3000（Al-Mn）、5000（Al-Mg）、6000（Al-Mg-Si）系合金である。自動車ボディ用新材料としてA6011（Cuなし）とA6022がBH（ベークハード）性が良いことを買われて注目されている。

1000系は強度は低いが高耐食性が高く、アルミ箔、装飾用に用いられる。プレス加工、衝撃押し出し、冷間鍛造が行われる。3000系は飲料缶に用いられ、強度が中程度で伸びも30%程度ある5000系、6000系合金が自動車車体用として多く用いられるようになってきた。しかし、軟鋼板に比べればプレス成形性は劣っている。また、ヤング率が低いためにスプリングバックが大きい。押し出し材はA6063、A6061、A7075が使われる。

7000系は航空機機体材として多く使われている。成形性を改善するために超塑性成形が航空機、自動車、二輪車、建材などに利用されている。アルミ系超塑性材料としては2000、5000、7000系合金が利用されている。研究課題は、板、押し出し材の場合、プレス成形における成形限界が軟鋼板に比べて劣るので、①成形

性の良い板、管材の開発、②アルミニウムに適した型、機械の開発、③アルミニウムに適した加工方法の開発に大別できる。

### ①成形性の良い板、管材の開発

純アルミニウムを除いてアルミニウム合金は鋼板に比べて成形性が悪い。その主たる原因は、 $r$ 値が低い、 $E$ 値（ヤング率）が低い、局部伸びが小さいことにある。 $r$ 値に関しては現在NEDOの地球温暖化防止新技術プログラム「自動車軽量化のためのアルミニウム合金高度加工・形成技術の開発」において、アルミニウム合金（5000、6000系）の $r$ 値を1.2以上にする開発が進行中である。現状のアルミ合金では0.6程度であることを考慮するとまさに画期的な研究である。アルミニウム合金の場合 $r$ 値が大きくなると成形性が向上するかどうかは未知数であるが、我々加工屋が夢にまで描いていたことが現実になる時代が数年後に実現することになる。 $E$ 値については一時Al-Li合金の開発が盛んで $E$ 値を10%大きく出来るとして期待されたが、靱性が低く実用化には至らなかった。アルミニウムで最も劣る局部伸びについては、 $r$ 値との関係で $r$ 値が大きくなると局部伸びも増えることが期待されている。常温では伸びの改善は期待出来ない。アルミニウムは常温でもっとも成形性が悪く、温間、極低温においては伸びが増えてくる。管材では曲げとハイドロフォームが多いが、曲げ剛性が高いこと、スプリングバックが大きいことが問題である。ハイドロフォームでは伸びが小さいために成形限界が低い。伸びの大きな材料の開発が課題である。

### ②アルミニウムに適した、型、機械の開発

アルミニウム合金の成形性改善と型の簡略化のために、対向液圧プレス、ハイドロフォーミングプレス、インクリメンタル成形機、温間成形機（超塑性成形を含む）、チクソキャストイング、サーボプレスなどが利用されている。材料の局部に力を加えないために液体またはゴムなどの柔軟体を用いる方法は変形抵抗の低いアルミニウムに適した加工法である。そのための成形機が航空機部品を対象にして古くから開発されてきたが、最近の制御技術の発達、サーボモーターの開発によって一気に加速した。特にサーボモーター、リ

ニアモーターの開発が加工機械に革命をもたらした。スライドモーション、しわ押さえ力など自在に高精度な制御ができ、加工性の悪い材料への利用が増えている。今後は型の機能を組み込んだプレス、成形と組み立てを一台の機械で行える機械の開発が望まれている。型技術に関しては軽金属に限ったことではないが、短納期化、コンカレントエンジニアリング、CAD、標準化などが進められている。

### ③アルミニウムに適した加工方法の開発

②で述べたようにアルミニウムは加工性が悪いのでさまざまな加工法が取られてきた。その多くは、局部的に材料を伸ばさない加工法、スプリングバックを軽減する加工法が取られてきた。古くから使われてきた方法としては、温間成形、対向液圧成形、超塑性成形がある。アルミニウムは150℃を超えると伸びが増えるので温間成形は有効である。温度を上げたくなければ対向液圧やゴム圧成形のように加工力を分散して材料に加える方法も有効である。そのほかにテーラードblank材のプレス加工、ハイドロフォームなども最近行われるようになってきた。これからの技術としてはサーボプレスの利用が中心になるであろう。材料の性質に合わせてプレスの動きが変えられるのでデータベースを構築して難加工性を克服する技術が材料開発と並行して行われる必要がある。

アルミニウム独特の材料として押し出し形材がある。鋼と異なり、アルミニウム、特に6000系合金では各種断面材が簡単に押し出されるので軽量化構造物としての利用が増えてきた。アルミニウムの欠点である、E値（ヤング率）の低さをカバーするためにI（断面2次モーメント）を大きくすることが出来る素材である。従来は流体輸送用に用いられることが多くそれほど塑性加工を必要とする部材は少なかった。むしろ接合技術の方が重要と考えられてきた。しかし、近年では自動車車体のスペースフレームに代表されるように構造物としての利用が増えてきたために、曲げ加工、変断面加工（バルジ加工等）、接合が重要な技術になってきた。中でも曲げ加工は重要である。断面2次モーメントを大きく取って曲げ剛性を増している材料を曲げ加工するという矛盾した方法をとるので困難さは相当なものがある。工法、NC機械、型を総合して各種の手法がトラ

イされている。

## 2. チタンおよびチタン合金

チタンは、軽量かつ耐食性、生体適合性が良く生産量は少ないが重要な金属である。純チタン（JISH4600）1～3種とチタン合金（Ti-6Al-4V、Ti-15Mo-Zr-3Al、Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al等）に大別できる。純チタンは加工性がよく成形は容易である。深絞り性は特に良い。ただ異方性が強く、材料取りには注意を要する。チタン合金のうち大半は $\alpha+\beta$ 型のTi-6Al-4V合金で加工性はきわめて悪い。塑性加工のみならず、溶接、切削性も悪い。常温での塑性加工はかなり難しい。多くのチタン合金は結晶粒を微細化して超塑性を示すことが出来る。成形温度は700～800℃である。 $\beta$ 型のTi-15V-3Cr-3Sn-3Al合金はゴルフクラブヘッド等のスポーツ用品に使われている。また、超塑性成形にも適している。 $\alpha+\beta$ 型のTi-4.7Al-3.0V-2.0Fe-1.9Mo合金はSP700の商品名でJFEスチール（株）から売り出されていて比較的低温の700℃で超塑性が発現するので航空機部品などに用いられている。酸化が激しいので加工はアルゴンガス中で行われる。また、チタン合金は超塑性温度と拡散接合の温度が一致しているので超塑性成形/拡散接合（SPF/DB）技術が戦闘機などの航空機部品に多用されている。これまで、スポーツ用品が多かったが今後は医療用機器には欠かせない高付加価値製品に多用されるであろう。その場合も加工技術がネックになる。

## 3. マグネシウム合金

マグネシウムは世界で36万トン程度を生産している。マグネシウム合金板材にはJIS(ASTM)：MP1(AZ31B)、MP4(ZK10) MP5(ZK30A) MP7(AZ21A)がある。管、棒についてはそれぞれにMT、MBがつく。わが国では casting材、アルミニウム合金元素、脱硫材、金属還元用などに3万トン程度が使われているが、アルミニウム合金用、ダイカスト製品が全体の75%で板、管などの展伸材の用途は統計に乗らないくらいの量である。しかし、ここ数年OA機器、デジタル家電、自動車部品などへの用途が注目されてきた。マグネシウムは比重が1.7できわめて軽量である割には強度が200MPaを超えていてアルミニウムよりも比強度は高い。しかし、

耐食性、塑性加工性、溶接性が悪く難加工性材料である。常温での $n$ 値が0.25、伸びが20%を超えていながらエリクセン値は4mmくらいで張出し加工は不可能である。 $r$ 値が1.8もありながら限界絞り比は1.5にしかない。このようにマグネシウムでは従来からの成形性指標がまったく使えないことに注意すべきである。その他、選定できる材料の種類が少ないこと、圧延品の品質が安定していないこと、価格が高いことなどのネックも多々存在している。

マグネシウムの塑性加工は常温では一部の圧縮加工以外は無理である。250℃を超えないと塑性変形が十分起こらない。それはすべり系の少なさに起因している。最密六方格子のマグネシウムでは常温では底面すべりしか起こらない。250℃を超えると非底面すべりが活発になる。そのために塑性加工は原則250℃以上で行う。圧延温度は350~500℃、鍛造温度は370℃、深絞り等の板成形は250~400℃である。この程度の温度になると適当な潤滑剤が見つからないことも大きな技術課題である。冷間圧延は合金にもよるがAZ31合金では16%までの圧下は可能である。

#### 4. 軽金属材料の塑性加工における今後の課題

比重が小さいことがメリットである軽金属材料は今後も構造物の軽量化の要請を受けてますますそのニーズは高まるものと思われる。軽量化の目的は自動車のように省エネルギー化が大きな目的ではあるが、多くの産業では軽金属に限らず、材料を節約してコストダウンを図るために行われることが多い。飲料缶は材料が同じアルミニウムであってもその重量は35%も軽減している。それだけコストダウンが図られた。それもすべて薄肉化に対応できる塑性加工（DI技術）のおかげである。省エネ、省資源を考慮して使用材料を変更してきた従来の経緯に加えて最近では環境問題、特にリサイクル性を考慮して材料を選ぶ考え方が増えてきた。この場合、「捨てられた後の価値」が重要である。アルミニウム缶がスチール缶を駆逐してきた経緯はリサイクル性にある。捨てられた後の価値がアルミニウ

ムの方が高いので使用者はアルミニウム缶を好むようになってきた。現在ではスチールのDI缶はなくなった。ペットボトルの将来はリサイクル性を考えないと厳しい結果が待っているものと思われる。家電製品でもプラスチックからステンレスなどの金属に代替される製品が目につく。これも家電リサイクル法の制定が引き金になっている。

塑性加工における環境課題は、エミッションフリー、プレコート潤滑、ネットシェーブ、スクラップレス成形などによって対応してきている。特に潤滑は無潤滑、ドライ加工、プレコート材、塩素フリーなど環境にやさしい潤滑法が開発されている。今後の研究課題として更なる取り組みが必要である。省エネ加工法、省資源加工の開発も引き続き行われなければならない。ハイドロフォーム法、対向液圧法は省エネ型ではないので格段の努力が必要と思われる。

最後に、これからの塑性加工における課題をまとめる。

- ① 難加工克服：軽金属は鋼に比べてアルミニウムと言えども難加工材である。材料の特性上の難加工のほか形材のように形状から来る難加工も含まれる。材料、型、機械、工法を総合的に取り組む研究組織を作るべきである。
- ② 高精度化への対応：マイクロ、ナノなど軽薄短小化はさらに進む。これに対応して高精度加工法を、材料、型、機械を含めてシステムティックに進めなければならない。1万分の5の高精度プレス加工が必要になってくる。
- ③ 加工・組み立ての同期化：加工と溶接、接合、接着は切り離せない加工法である。効率の良い工法を開発しなければならない。部品点数を減らし、パネルを大型化し接合を減らすことも含まれる。
- ④ 環境対応：省エネ、省資源、リサイクル、リユースを推進する技術を加工技術の中に取り組む努力を推進しなければならない。加工時に解体性を考慮した設計に取り組むことも大切である。