

自動車用アルミニウム押出材の加工技術

田中 晃二*

Processing Technologies of Aluminum Alloy Extrusions for Automotive

Koji Tanaka*

Keywords: aluminum, extrusion, shape, pipe, processing technology, automotive

1. はじめに

近年、地球環境問題から省エネルギーおよび省資源化の傾向が強くなっており、工業製品、輸送機器分野などでの軽量化が急速に進んでいる。特に自動車分野では1997年12月の地球温暖化防止京都議定書(COP3)に代表されるように、燃費および排気に関する規制も強化されていく方向である¹⁾。さらに北米においては罰則のあるCAFE規制もあり、車両の軽量化は重要な課題となっている。また、車両の衝突安全性の向上は、車両質量を増加させる傾向となり、燃費向上との両立が大きな課題となっている。これまでの軽量化の方策としては、アルミニウムを始めとした比強度・比剛性の高い軽量材料への置換や構造の合理化(一体化、部品点数削減など)であり、今後はさらに材料の中空化および高強度薄肉化へ進行すると予測される。

本稿では、鋼材にはない任意に肉厚配分可能で複雑な閉断面形状が得られるという特徴を有し、自動車の軽量化に向けて今後益々期待されるアルミニウム押出材(アルミニウム形材)の二次加工技術の現状について報告する。

2. 押出材の二次加工方法

押出材の二次加工方法の中には曲げ加工やハイドロフォーム以外の一般の加工方法、例えばスピニング加工、拡管、縮管、管端加工(つぶしおよびフランジ)などがあり、また加工温度も冷間もあれば温間や熱間もあり、幅広い加工技術が存在する。この中から、ここ

では曲げ加工とハイドロフォーム加工を中心に述べる。

3. 曲げ加工技術の現状²⁾

断面自由度の大きい押出材を種々の部品に適用する場合、特に自動車などにおいては、車体形状が流線形・球面形のため、構造上の課題やエネルギー吸収特性の課題に対応しつつ、ボディの意匠にあった形状に加工する必要がある。そのためには複雑な断面形状の押出材の断面精度を確保しつつ、三次元的に曲げることがポイントとなる。以下に、その押出材の曲げ加工技術の現状と製品への適用状況をまとめた。

3.1 押出工程での曲げ加工技術²⁾

押し出し中に曲げ加工を同時に行う技術開発が行われている。この技術は、例えば押し出し後のエンドブラテン部に可動ローラーを設置し、ロール成形によって押し出しと同期化して曲げ加工を行う技術である。これは、押し出し直後はまだ高温であり、時効が進んでいないこともあって、強度が低く成形しやすいという利点がある。しかしながら、押し出し速度を曲げ加工に合わせなければならぬため生産性が悪く、冷却時の熱収縮によって曲げ精度が悪化するなどの課題がある。この技術は、現在これらの課題を解決すべく研究開発が行われている段階であり、今後の量産化が期待される。

3.2 二次加工としての曲げ加工技術²⁾

3.2.1 自動車部品用押出材の曲げ加工

自動車部品として適用される押出材は、目的に合わ

* (株)UACJ 技術開発研究所 第六研究部
No. 6 Research Department, Research & Development Division, UACJ Corporation

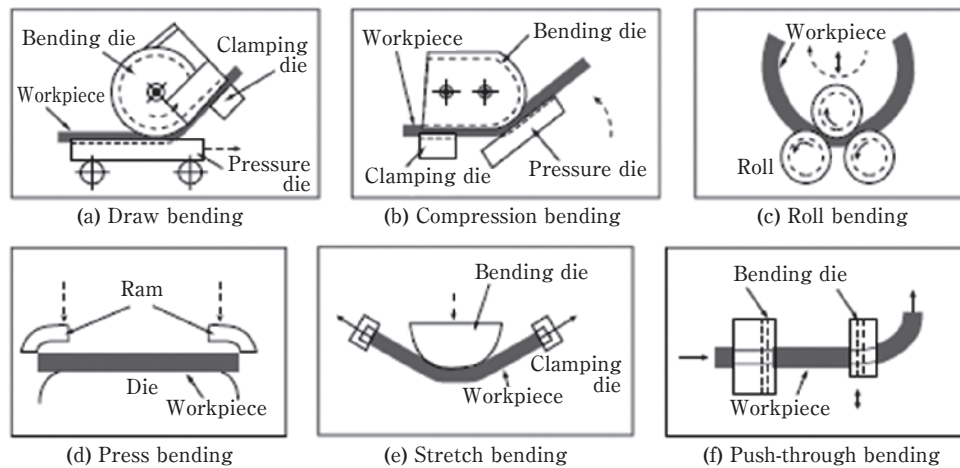


Fig. 1 Comparison of typical bending methods of aluminum extrusion³⁾.

せて曲げ加工されるが、そのアルミニウム型材の代表的な曲げ加工法としては、一般的にFig.1³⁾に示す6種類((a)回転引曲げ、(b)圧縮曲げ、(c)ロール曲げ、(d)プレス曲げ、(e)引張り曲げ、および(f)押し通し曲げ)に大別される。それぞれの特徴をTable 1³⁾に示すが、製品の要求品質に応じてそれぞれ最適な加工法が選定されている。

アルミニウム押出材は素材製造工程で複雑な断面形状とすることができるが、板材などの他の製造法と比べるとロット内およびロット間で強度および寸法にバラツキがある。そのためこれが要因となってスプリングバック量が異なり、量産で曲げ加工を行う時に、曲がり量にバラツキが発生する場合がある。また曲げ加工条件によっても曲がり量にバラツキが生じてくる。そのため素材としての押出材の管理と曲げ加工条件の制御が非常に重要である。

3.2.2 スペースフレーム用押出材の曲げ加工^{2),4)}

スペースフレーム用の押出材の曲げ加工としては、基本的には他の部品と同じ方法で曲げ加工されるが、スペースフレーム構造は最終的には溶接などの接合が

なされて完成することが多いため、接合後の精度がボディ精度となる。そのため、組立時のバラツキ、ひずみなどを考慮すると、自動車用のバンパ・レインフォースメントやグリルガードなどの単体部品に適用される押出材の曲げ加工に比べて、より高精度化が要求されている。このため、Fig.1の曲げ加工方法でも、より曲げ制御を厳密にし、かつ素材となる押出材の強度バラツキも抑えて曲げ精度を確保している。また、曲げ加工後に矯正工程を付加して、加工精度を確保する方法も採られている。例えば、AUDI A8でのスペースフレーム部材はFig.2⁵⁾に示すようであり、曲げ加工は引張曲げと圧縮曲げを採用しており、引張曲げでは押出材中空部に内圧をかけながら成形し、加工精度は ± 0.5 mmと高い精度を確保している。その反面、大きい曲げ半径に限定され金型費も高価である。また、圧縮曲げ加工時は中子を挿入し曲げ加工を実施している。HONDAの初代 Insightでは、ルーフサイドレール、リヤフロアフレームをFig.3⁶⁾のように三次元に曲げている。曲げは押し通し曲げで、Fig.4⁶⁾に示されるように、NC制御で三次元に動くガイドに真っ直ぐな状態の押出材を押し込みながら曲げる方法である。曲げたい方向

Table 1 Comparison of bending methods³⁾.

	Characteristics (good ← A>B>C → poor)					
	Accuracy	Wrinkles	Min. radius	Bending form	Works costs	Equipment costs
(a) Draw bending	B	B	1.5 D*	2 Dimensions	B	A
(b) Compression bending	B	B	3 D	2 Dimensions	B	A
(c) Roll bending	B	B	10 D	2 Dimensions	B	A
(d) Press bending	C	C	10 D	2 Dimensions	A	B
(e) Stretch bending	A	A	5 D	3 Dimensions	C	C
(f) Push-through bending	C	B	1.5 D	3 Dimensions	A	B

*D: Diameter of extrusion mm

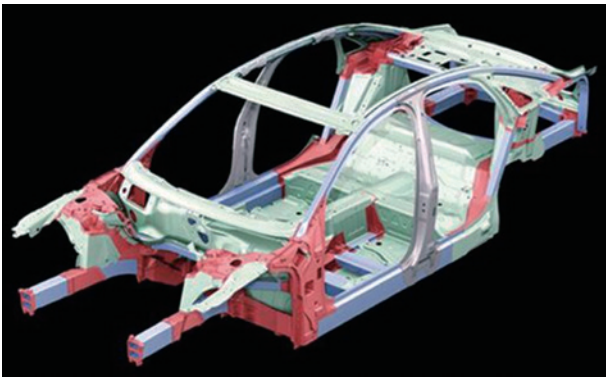


Fig. 2 Aluminum space frames structures of AUDI A8⁵⁾.



Fig. 3 Aluminum space frames structures of HONDA Insight⁶⁾.

に可動ガイドを向けながら押出材をガイドに通すと、ガイドを通過した押出材が三次元形状に曲がる。この方法は、曲げ半径の選択が自由で金型費も安価である反面、張力や圧縮力の負荷ができず、材料特性のバラツキがそのまま加工後の形状バラツキとなるため、寸法精度が低下する弱点がある。その解決のためHONDAでは曲げ限界予想ソフトを開発し、三次元曲げ機に対応できる押出材の断面を予想しながら設計を行うと共に、曲げられた位置をその都度計測しながらフィードバック制御を実施したとのことである。

4. 徐変断面技術の現状⁴⁾

断面自由度が大きいアルミニウム押出材を自動車の骨格部材などに適用する場合、構造上やエネルギー吸収特性上の要求により、部分的に断面形状を変化させなければならない場合がある。そのような場合、従来は機械加工、溶接などで必要な形状を得るのが一般的であったが、現在は強度およびコスト面より押し出し中に徐変させる方法と、押し出し後の二次加工として徐変させる方法が採られるようになってきている。一般にパイプ形状の二次加工としての徐変断面化は、エキス



Fig. 4 Push-through bending on HONDA Insight⁶⁾.

バンド加工やスウェーピング加工にて、径を拡大あるいは縮小させたり、引抜き加工で径を調整したりしている。そのため簡易なアルミニウム押出管材の徐変断面化の場合は、チューブフォーミングの各種加工技術が適用されている。しかしアルミニウム押出材の特徴を活かそうとすると断面形状や肉厚が複雑となり、徐変断面の加工方法について制約を受けるのが現状である。

以下に、押し出し工程での徐変断面化と、二次加工としてのプレスや hidroフォーミング技術の適用状況について述べる。

4.1 押し出し工程での可変断面押し出し技術⁴⁾

可変断面押し出し技術については、樹脂やゴムなどで適用が図られ、自動車のドアに装着される樹脂モールなどが量産化されてきている。この技術は、変形可能な押し出しダイスを複数組み合わせ、押し出し圧力を一定に保ちながら押し出しダイスを変形させる方法で、Fig.5⁷⁾のように長手で断面形状の異なる長尺の押し出し材を得る場合に有効である。この技術のアルミニウム押し出しへの適用は成形時に高温と高圧のためダイスの移動が難しく、まだ研究開発段階である。しかし、この可変断面押し

技術が、一部大型トラック用のアルミニウムフレーム材として開発が進められた事例^{7), 8)}もあり、今後種々の製品に展開が図られることが期待される。

4.2 二次加工での徐変成形技術²⁾

4.2.1 プレス徐変成形技術

近年、プレス成形徐変技術も車両の軽量化および安全性の向上を目的として、多くの部品に利用されてきている。アルミニウム押出製バンパ・レインフォースメントにおいて、車両の安全性能向上およびリペアビリティ向上のために、様々な衝突形態に対応することが求められてきている。例えば、バンパー全面に荷重の掛かるバリヤ衝突では、衝撃の多くはサイドメンバ前のバンパー断面を潰すことによって吸収されるが、そのためには、ボディが変形する荷重より低い荷重でバンパ・レインフォースメント断面が圧潰することに加えて、運動エネルギーを全て吸収する断面の大型化が必要である。一方、中央部に局所的な衝撃が入るポール衝突では、梁となるバンパ・レインフォースメントをたわませることにより衝撃を吸収する。この時のたわみでボディを変形させないために、限られたスペースの中でボディとの間に一定の隙間を確保する必要があるため、断面の小型化が求められる。これらの性能を両立させるためには、従来の押出材の一定断面では限界があり、別部品の追加が必要となるが、この場合質量とコストが増大する。この問題を解決するための方策の一つとして、Fig.6の様にな一定断面ではなく部位ごとに異なる断面形状をもつバンパ・レインフォースメントが必要となってきている。そのため、現在ではFig.7の様にな中子を使用したプレス成形によって断面形状を変えるプレス徐変成形技術が開発されてきている。

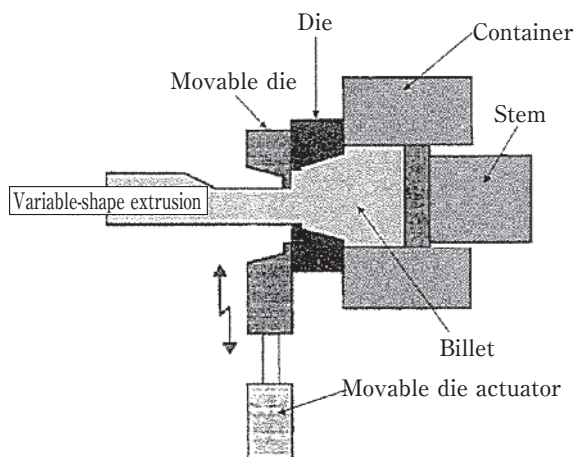


Fig. 5 Variable-shape extrusion process⁷⁾.

4.2.2 ハイドロフォーミング徐変成形技術^{2), 4)}

ハイドロフォーミングは、自動車分野において部品数削減と低コスト化のキーテクノロジーとして検討されてきている。その利点としては、高精度化、強度の向上、スプリングバックの低減、製品寿命の向上、シーム溶接部の減少、重量および剛性の最適化に要約される⁹⁾。

アルミニウムへの適用例としては、日産自動車があるアルミニウムスペースフレームのコンセプトカーにおいて、中空押出材の内側に液圧を加えて膨出成形を行うハイドロフォーミングを用いた新工法をリヤサイドメンバに適用した例をFig.8¹⁰⁾に示す。これにより同一部材の断面形状を自由に変化でき、部品の一体化、製造工程の簡素化を図っている。本工法の採用により寸法精度は ± 0.2 mmを確保でき、今まで適用できなかったような寸法精度が必要な重要部位や複雑形状部品にもアルミニウム押出材が適用できるようになったとしている。また日産はFig.9に示す5154合金系マンドレル押出管をハイドロフォーミング成形したスカイライン用のリア・サスペンションメンバを実用化している。この他、Fig.10⁶⁾に示す2004年発売のホンダレジ

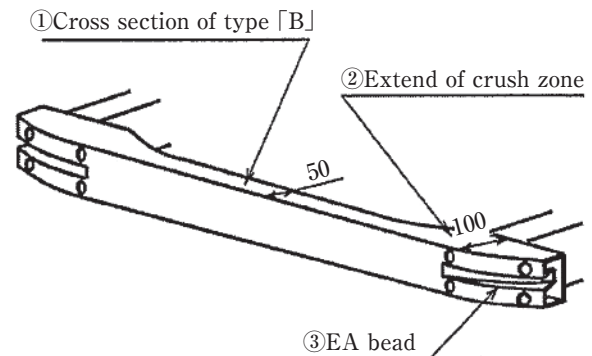


Fig. 6 Aluminum bumper reinforcement with a cross section change.

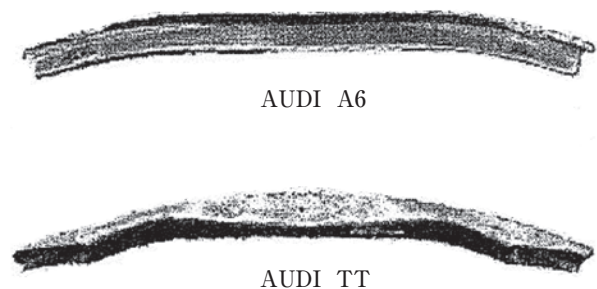


Fig. 7 Audi aluminum bumper reinforcement with a cross section change (Press type).

エンドのフロント／リア・アルミニウム製サブフレームには高温でハイドロフォーミングする熱間バルジ加工技術が適用されており、常温では成形できない複雑な断面形状を持つ製品がつくられている¹¹⁾。

さらに、ハイドロフォーミング技術は、スペースフレーム用の高精度曲げ加工が必要なメンバにおいて、曲げ加工後のキャリブレーションと孔明け加工にも展開されている。また直近では、Fig.11に示すFord

F-150のフロント部分とAピラーーフサイドレインフォース材として、高い生産性を有するハイドロ成形技術が適用されている点は記憶に新しい¹²⁾。

5. おわりに

地球環境問題より、自動車の燃費向上が強く意識されるようになり、自動車の軽量化ニーズは非常に高くなっている。このような状況下では、アルミニウム材の自動車部品への適用は重要なテーマとなっており、これまで自動車のアルミニウム化部品は、主にクロージャー部品（フード、フェンダ、サイドドア、トランクなど）と呼ばれる蓋物部品への適用が多く、アルミニウ

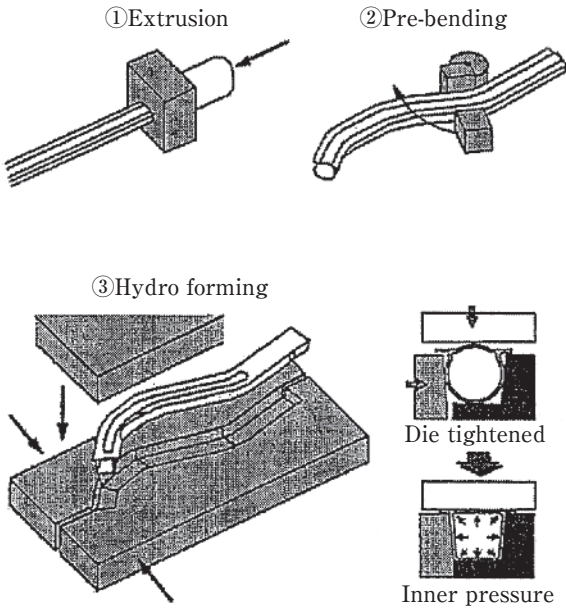


Fig. 8 Process of hydro forming¹⁰⁾.



Fig. 9 Suspension member (Skyline RR).

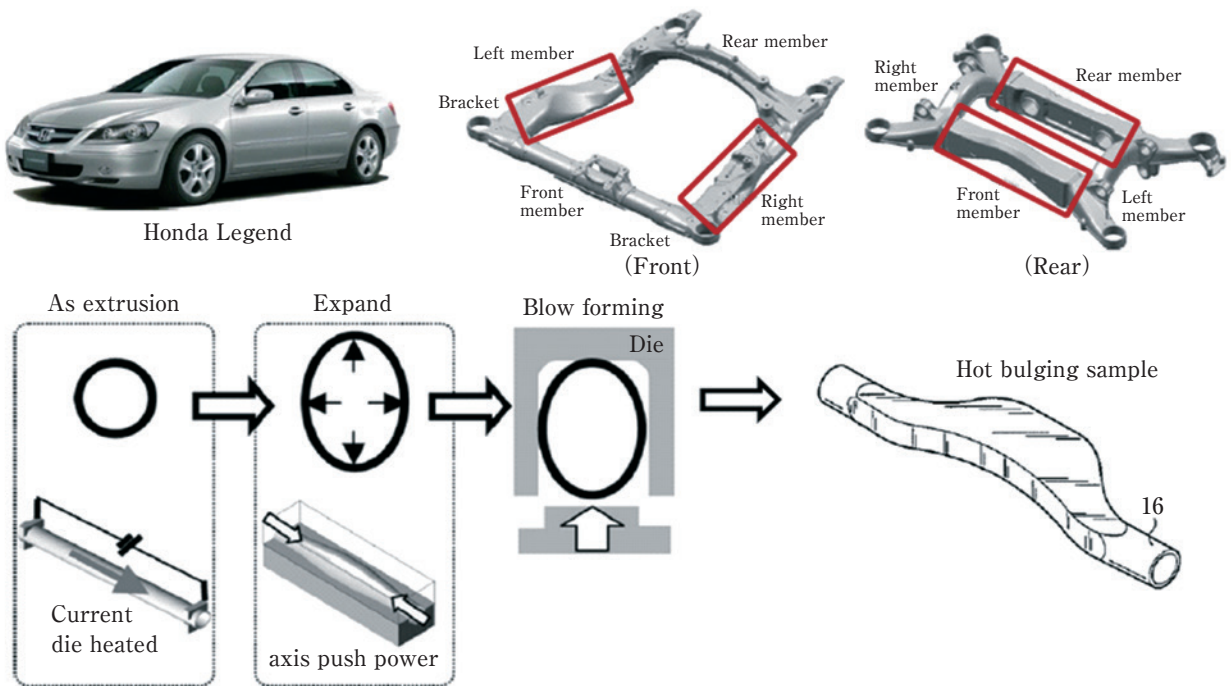


Fig.10 Hydro forming on HONDA Legend⁶⁾.

ム板材を中心とした部品が多かった。しかしアルミニウム押出材は鋼板とは異なり、複雑な閉断面形状が構成できるために、自動車のスペースフレーム構造や骨格構造部材として、比強度および比剛性の点で非常に魅力的な部材である。今後、アルミニウム押出材が自動車骨格部材として本格的に実用化していくためには、最適な断面形状の設計と、曲げなどの加工技術の低コスト化および高精度化が求められると共に、形状最適化に関するトポロジー解析技術の向上も同時に必要と考えられる。



Fig.11 Hydro forming on FORD F-150.

参考文献

- 1) 外務省地球規模問題課気候変動枠組条約室COP5概要
- 2) 村上 哲：塑性と加工, **41** (2000), 38-43.
- 3) 貝田一浩, 平野正和, 藤井孝人, 吉田正敏：神戸製鋼技報, **47** (1997), 17-20.
- 4) 村上 哲：第251回塑性加工シンポジウム, (2006), 53-65.
- 5) AUDI社資料
- 6) HONDA社資料
- 7) 加藤雅嗣：アルミニウム, **25** (1998), 164-168.
- 8) 刈田兼司, 小檜山陽一郎, 小叟敏彦, 大島清司, 橋本 衛：三菱自動車テクニカルレビュー, **15** (2003), 83-86.
- 9) Leitloff, F.-U. & Geisweid, S.: 塑性と加工, **39** (1998), 1045-1049.
- 10) 中川成幸：日本機械学会誌, **102** (1999), 14-15.
- 11) 日本塑性加工学会編：チューブハイドロフォーミング, (2015), 126-127.
- 12) FORD社資料



田中 晃二 (Koji Tanaka)
(株)UACJ 技術開発研究所 第六研究部