

自動車用押出材について

水越 秀雄*, 伊藤 清文**, 熊谷 正樹***

Aluminum Alloy Extrusions for Automotive

Hideo Mizukoshi*, Kiyohumi Ito** and Masaki Kumagai***

Keywords: aluminum, extrusion, shape, pipe, rod, automotive

1. はじめに

アルミニウム合金は熱間加工性に優れるため、押出加工により種々の断面の押出材の製造が可能である。用途としては、主に窓用サッシや手すりなど建築関連製品として広く用いられてきた。近年は環境対応からアルミニウム材料を多用する自動車が多くなっており、特に欧州では押出形材を使ったスペースフレーム構造の自動車もある (Fig. 1¹⁾)。本稿では自動車に用いられる押出材の要求特性および特徴を用途別に記載する。

2. 自動車用アルミニウム押出材

Table 1に自動車用アルミニウム合金押出材の一覧を示す。自動車用アルミニウム合金には、その用途お



Fig. 1 Space frame structure of Audi TT Coupe¹⁾

よび加工法によってさまざまな特性が要求される。以下、用途別に要求される特性およびその技術的特徴を紹介する。

Table 1 List of typical aluminum alloy extrusions for automobiles.

| | Alloy designation | | Mechanical properties | | | Properties |
|-------------|----------------------------------|--------|------------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| | AA (JIS) alloys | Temper | Tensile strength (MPa) | Yield strength (MPa) | Elongation (%) | Hollow extrusions |
| 2000 series | 2014 (2014) | T4 | 420 | 285 | 20 | — |
| | | T6 | 480 | 410 | 13 | — |
| | 2017 (2017) | T4 | 440 | 275 | 22 | — |
| | | T6 | 400 | 375 | 12 | ○ |
| 5000 series | 5154 (5154) | O | 240 | 117 | 27 | — |
| | 5083 (5083) | O | 290 | 145 | 25 | — |
| 6000 series | 6005C (6N01) | T5 | 260 | 220 | 12 | ○ |
| | 6061 (6061) | T6 | 315 | 275 | 19 | ○ |
| | High strength 6000 series alloy* | T6 | 390 | 365 | 19 | ○ |
| 7000 series | 7003 (7003) | T5 | 310 | 260 | 16 | ○ |
| | 7204 (7N01) | T5 | 360 | 320 | 14 | ○ |
| | 7046 | T6 | 450 | 420 | 14 | ○ |
| | 7075 (7075) | T6 | 590 | 540 | 14 | — |
| | 7050 (7050) | T6 | 620 | 570 | 13 | — |
| | High strength 7000 series alloy* | T6 | 650 | 600 | 13 | — |

*: Out of range from AA and JIS alloys.

* (株)UACJ 技術開発研究所 研究企画業務部
Research Planning & General Service Department, Research & Development Division, UACJ Corporation

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

*** (株)UACJ 技術開発研究所 第五研究部
No. 5 Research Department, Research & Development Division, UACJ Corporation

2.1 機能性アルミニウム押出型材・管・棒

2.1.1 押出型材

アルミニウム合金は、複雑な断面形状に押出すことが可能であり、鋼材と比較して大きな特徴となっている。さらにホローダイスを使用して、中空の断面形状を得ることが可能であり、軽量で剛性の高い製品を得ることができる。また、高強度で、優れた曲げ加工性を有するホロー押出用合金も開発されており、押出工具の設計および製造条件の最適化と合わせて自動車構造用部材の軽量化に貢献している。一般に、自動車用途では強度、加工性および形状精度はもちろんのこと、溶接性も要求される場合があり、主に合金組成の設計で対応している。

2.1.2 管・棒

高強度アルミニウム管材および棒材はそのまま構造材や回転軸として使用することが可能で、大幅な軽量化が達成できる。また、熱間・冷間鍛造の素材として使用したり、テーパ加工、段付き加工などにより各種形状の部品への成形を行うことができる。押出管あるいは引抜き管は熱交換器用、燃料配管などにも利用されている。管材は各種機能を有するアルミニウム合金を皮材として貼ったクラッド管を製造することが可能であり、単体では得られない特性を付与することができる。Fig. 2は、従来ステンレス製であったキャニスタ大気開放チューブをアルミニウム化した例である。ここでは耐食性を確保するために、3003合金に犠牲層となる7072合金をクラッドしたクラッド管が採用されている。

2.2 鍛造用アルミニウム合金押出棒

アルミニウム合金押出棒は、前述のように使用用途に応じて鍛造加工することが可能であり、自動車用としては強度、加工性および耐食性の観点から6000系合金が主に用いられている。通常は6061-T6材が用いられることが多いが、これを改良して高強度化した合金が、足周り部品や構造部材用に開発された。さらに耐



Fig. 2 Air vent tube for canister.

摩耗性に優れ、かつ鍛造性が良好な合金の開発も行われている。押出棒からの鍛造は、母材が展伸材となっていることから、鍛造の軽加工領域においても高い信頼性を有する。これらの鍛造用合金の主な用途例と要求特性を次に示す。

- ・ アッパーアーム, ロアアーム：耐衝撃性
- ・ プロペラシャフト：強度
- ・ 油圧部品, ブレーキ部品：耐圧性, 気密性
- ・ パワーステアリング, コンプレッサ部品：耐摩耗性

Fig. 3に6000系高強度合金を使用した鍛造サスペンションアームの例を示す。この鍛造材は微量添加元素を含む化学成分や押出条件、鍛造条件などを見直してファイバー組織（非再結晶組織）を維持していることが特徴で、従来から使用されている6061-T6材に比べて衝撃値や耐食性を同等に維持しつつ、耐力および引張強さが約40%、疲労強度も約25%向上している²⁾。

2.3 エネルギー吸収型材

アルミニウム合金押出型材は、鉄鋼材料に勝るエネルギー吸収能力を有しており、前面衝突を想定したクラッシュャブルボディ構造に適している。アルミニウム合金押出型材の断面形状自由度の高さを生かし、最適な部品設計が可能であるため、フロントサイドメンバー、バンパーサポートなどのエネルギー吸収部材に採用されている。Fig. 4にクラッシュボックスの断面形状およびその軸圧壊形態の例を示す³⁾。CAE技術の発達によりシミュレーションで衝突時の圧壊荷重の想定が可能となり、精度の高い部材設計ができるようになった。また、材料面でも製造条件の最適化により、圧壊時に割れの発生を抑制することも可能である。

エネルギー吸収を目的とした場合、最低強度の保証だけでなく、所定の荷重で圧壊するために性能のばらつきの低減が求められる。Fig. 5に性能ばらつきを抑



Fig. 3 Examples of forged suspension arm made of high-strength 6000 series alloy²⁾.

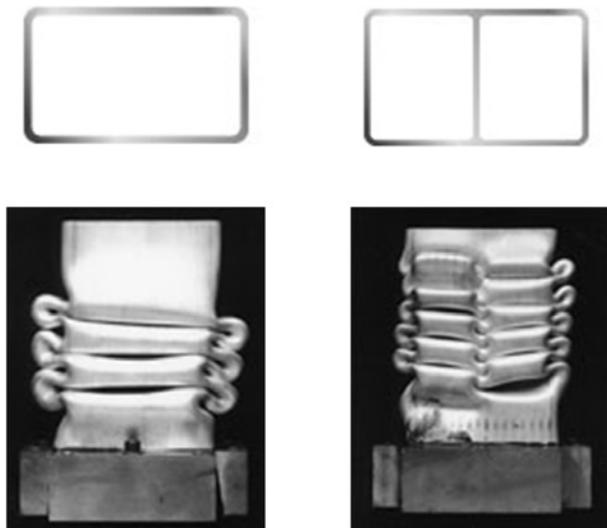


Fig. 4 Examples of section and deformation pattern for crashbox³⁾.

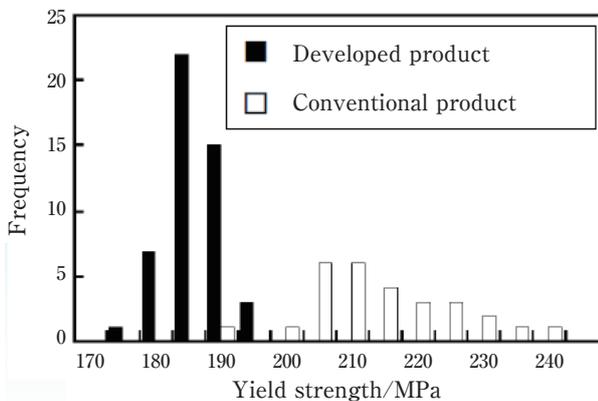


Fig. 5 Yield strength distribution of 6063 extruded products.

えた6063合金型材の耐力分布を示す⁴⁾。組成、押出条件の最適化、予備時効処理などを用いることで、耐力のばらつきを従来の1/3にすることができた。

2.4 鉛フリー快削材

地球環境保護の観点から、世界的に環境汚染物質の使用量削減、あるいは全廃の方針が打ち出され、自動車・電機の部品用材料においても、これに対応することが求められるようになってきた。これらの要請に応えるため、鉛を含まず切りくず処理性を向上させた鉛フリー快削合金が開発されている。切削性に関しては、従来の鉛入りの2011合金の代替材として使用できるレベルにある。また、使用環境が100℃以上になる用途に使い、2017合金の代替としても有効な材料も開発されている⁵⁾。機械的性質については2011合金と同等の強度が得られている⁶⁾。

2.5 耐熱・耐摩耗性アルミニウム合金

耐熱合金としてはニッケルを含む2618合金や4032合金などが知られている。しかしながら、これらの合金よりも高温における機械的性質を向上させた合金が開発されており、この開発合金は150～200℃での使用に適している^{6), 7)}。また、この合金は疲労強度が非常に優れているため、繰返し荷重が作用する用途に使用されている。4032合金は約12 mass%のシリコンを含むため、特に耐摩耗性に優れた合金である。その用途としては、エンジン部品、コンプレッサロータ、スクロールなど耐熱性と耐摩耗性が要求される部品である(Fig. 6³⁾)。また、4032合金をさらに高強度化した合金も開発されている^{6), 8)}。最近ではエンジン排気量を小さくして空気を過給することによって出力低下を補って燃費を改善する、いわゆるダウンサイジングターボが特に欧州で多く採用されている。このターボチャージャのコンプレッサホイールは耐熱アルミニウム合金鋳物製か耐熱アルミニウム合金押出棒あるいは鍛造品からの削り出し品が使用されている。

2.6 精密押出型材

近年、エレクトロニクス、情報機器、家電などの分野を中心に、高実装技術による製品の小型・精密化が進展してきた。これに伴い、使用される素材には高精度で強く薄く、軽量であることが求められ、また徹底した合理化への要望も高まってきている。このようなニーズに応えるために、従来の製造方法では不可能であった中高力合金による高精度の小型薄肉型材が開発された。この精密押出型材は、薄肉化により製品の軽量および小型化を実現するとともに、複雑な断面形状と高い寸法精度を実現し、部品点数の削減、加工工程の省略、性能の向上、新しい用途への応用などを可能にしている。



Fig. 6 Examples of heat resisting and wear resisting alloy products³⁾.

2.7 高強度高靱性アルミニウム合金

自動車などの輸送機器への軽量化が進展する中、高強度アルミニウム合金への要望が高まっている。この要求に対して、7075合金よりも高強度の合金が開発されている。高強度でありながら、衝撃によって破壊しにくい粘り強さを備えた合金であり、世界最高レベルの強度と靱性を兼ね備えたAl-Zn-Mg-Cu系の新合金である⁹⁾。この合金はオートバイのフロントフォークなどに使用されている。ただし、これらの合金ではホロー押出性や溶接性に加えて、耐応力腐食割れ性が課題である。

2.8 バンパー用合金

アルミニウム合金押出材で比較的多く自動車に用いられているものはバンパーであり、その一例をFig. 7に示す。特にフロント側のバンパーに要求される項目は多く、耐衝撃性およびエネルギー吸収性確保のためレインフォースメントには高強度の7000系合金を、エネルギー吸収特性確保のためクラッシュボックスには変形特性が良好な6000系合金が使用されている。特にレインフォースメントには変形時に断面を維持して変形荷重を低下させないよう、複雑なホロー形状を要求されることも多く、コスト面からも良好なホロー押出性が必要である。主要添加元素の亜鉛とマグネシウムの添加量を厳密に管理するとともに、それらの添加比率を最適化することで、強度、ポートホール押出性および溶接性のいずれの特性がともに高いレベルで実現されている。さらにジルコニウムなどの遷移元素の添加により、耐応力腐食割れ性も向上し、既にバンパーレインフォースメントとして量産されている。レインフォースメントには衝撃吸収のために押出材の断面形状や変形形態を制御する工夫もされている。これらの接合には一般的にMIG溶接が用いられるが、溶接の熱影響による強度低下にも注意が必要である。



Fig. 7 An example of bumper reinforcement.



Fig. 8 Suspension arm of Suzuki KIZASHI made of extrusion (2010).

2.9 その他特殊な用途

Fig. 8は、2010年に採用されたスズキキザシの押出型材製サスペンションアームである。このアームは押出型材を打抜き加工およびプレス加工されており、銅製のものに比べて50%軽量化されている。

Fig. 9に2001年に日産スカイラインに採用されたサブフレームの例を示す。サブフレームは板材をプレス成形して溶接したり、管をハイドロフォーム成形したり、熱間ブロー成形したものや摩擦攪拌接合(FSW)したものもある。製品形状が複雑になればなるほど、肉厚などの形状精度や加工性が要求され、また接合方法を含めた継手の強度管理が必要となる。

近年のスペースフレーム構造においてはアルミニウム合金押出材や鋳物(ダイカストを含む)などを接合して使用している例が多く、さらに直近では炭素繊維強化樹脂(CFRP)と組合せたものもある。異材との接合には多種多様の機械的接合方法が考案され使用され始めている。

また、ドアサッシュに採用された例(Fig. 10)やサンルーフレールなどにも押出型材が使用されている。この部品では加工後の部品精度が要求されることから、加工前の素材耐力のばらつき管理が重要とされる。



Fig. 9 Suspension sub-frame of Nissan SKYLINE (2001).



Fig. 10 Door sash frame of Nissan FUGA.



Fig. 11 Absorber outer-tube for BMW5 series (2003).

足周り関係では2003年に採用されたBMW5シリーズ (Fig. 11¹⁰) やポルシェのショックアブソーバに使用された例がある。足周り関係の部品は多くが保安部品に該当するため、強度が要求される。ここでは加工方法にも工夫が施されており、加工後の熱処理などにより強度が確保されている。

その他、2003年にインストルメントパネルメンバ (Fig. 12¹⁰) に利用された例もある。これは押出異形管に必要とされるスティなどの成形品を溶接接合したものであるが、衝突時の荷重入力や固有振動数などの要求事項がある。最近では、アルミニウム合金押出材をハイドロフォーミングし、樹脂部品を直接射出成形して接合したものもある。樹脂との接合のためにはアルミニウム素材側に特殊な加工や表面処理が必要となる場合が多い。



Fig. 12 Instrument panel member for Subaru LEGACY (2003)¹⁰.

3. 結 言

今後、各種規制の強化により、自動車の軽量化へのニーズはさらに高まると予想される。アルミニウム押出材は断面形状の自由度の高さ、信頼性の高さから各種特性と機能を持った部材として自動車の軽量化を支える柱の一つとして大いに期待される。本稿がその一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) AUDI社資料
- 2) 松田眞一：住友軽金属技報, 50 (2009), 56-59.
- 3) (株)UACJ：UACJの自動車材料カタログ, No. A-5-003 (2015).
- 4) 古河電気工業 (株)：古河電工時報 第107号 (2001), 107-108.
- 5) 住友軽金属工業 (株) 研究開発センター：住友軽金属技報, 40 (1999), 164.
- 6) 安藤 誠：住友軽金属技報, 51 (2010), 3-24.
- 7) 住友軽金属工業 (株) 研究開発センター：住友軽金属技報, 40 (1999), 168.
- 8) 住友軽金属工業 (株) 研究開発センター：住友軽金属技報, 40 (1999), 167.
- 9) 住友軽金属工業 (株) 研究開発センター：住友軽金属技報, 40 (1999), 166.
- 10) (社)日本アルミニウム協会 自動車アルミ化委員会：自動車アルミ化委員会ホームページ, 3. アルミ化動向, 3-09 その他アルミ化部品例, 6) インストルメント・パネルR/Fのアルミ化, (社)日本アルミニウム協会 自動車アルミ化委員会, <http://www.aluminum.or.jp/jidosya/japanese>, 2016.03.08.



水越 秀雄 (Hideo Mizukoshi)
(株)UACJ 技術開発研究所 研究企画業務部



伊藤 清文 (Kiyohumi Ito)
(株)UACJ 技術開発研究所 第六研究部



熊谷 正樹 (Masaki Kumagai)
(株)UACJ 技術開発研究所 第五研究部