

アルミニウムの溶湯鍛造に関する研究

板橋 孝至, 高橋 英徳, 宮腰 康樹, 田中 大之

Study on Molten Metal Forging of Aluminum

Koji ITABASHI, Hidenori TAKAHASHI,
Yasuki MIYAKOSHI, Hiroyuki TANAKA

抄 録

複雑形状で、肉厚が薄く、内部欠陥が少ない高品質なアルミニウム部品製造への要望が増えていることから、溶湯流動長の短縮と、ガス巻き込みのない層流充填が可能である溶湯鍛造に関する基礎的検討を行った。伝熱解析シミュレーション、流動特性評価試験、圧力条件及び型材の検討によって適切な条件を選定した結果、従来法では困難であった汎用ダイカスト合金(ADC12)による1.2mm厚さの薄肉の溶湯鍛造に関する要素技術を確立した。

キーワード：アルミニウム, 溶湯鍛造, ADC12

1. はじめに

自動車関連産業は裾野が広い産業であり地域経済への波及効果は大きい。しかし、自動車産業を支える鋳造・プレス・表面処理等のものづくり基盤産業において、北海道における各種部品の地場調達率は18.3%¹⁾と低く、地場企業の参入が進んでいないのが現状である。これは、道内企業の経済・技術両面の競争力不足が主な要因である。特に、自動車部品製造に多用されるアルミニウムダイカストに関しては、金型の狭い隙間(キャビティ)に短時間でアルミニウム溶湯を注入する高速射出装置、及びその注入圧力で金型が開かないよう型締めする高圧装置が一体化したダイカストマシンの導入が必要である。さらに金型などの部品を含む周辺設備も必要となることから新規参入が進んでいない。

一方、自動車の軽量化に拍車がかかっており、従来の鉄鋼材料製部品からアルミニウム製部品への置換がこれまで以上に進むことは明白であることから、複雑形状で、肉厚が薄く、油圧や水圧漏れがない高品質なアルミニウム部品製造への要望が増えている。しかし、道内アルミニウム鋳造の主流であるダイカストは、熔融金属を、狭く凹凸が多い金型内に高圧で押し込む製法であるため、ガス巻き込みや引け巣、湯廻り不良などによる鋳造欠陥の発生が問題となっており、道内企業から、鋳造欠陥を低減する技術が求められている。

ここで、以上の課題を踏まえて、金型内にアルミニウム溶

湯を入れ、プレスによって溶湯に機械的な高圧力を加えながら凝固・成型させる溶湯鍛造に注目した。ダイカストのような高い生産性は得られないものの①溶湯流動長を短縮でき、②ガス巻き込みのない層流充填が可能であることから、高い内部品質を実現できる鋳造方法の一つであるが、適用事例は一部にとどまっている²⁾。本研究では、溶湯鍛造における溶湯温度、圧力等の成型条件が鋳造品質に及ぼす影響など基礎的検討を行うこととした。

2. 実験方法

2.1 溶湯鍛造条件

2.1.1 鋳造品の形状

試作鋳造品の形状は、開口部の外形寸法を横120mm×縦35mm、高さ外寸32mmの箱形とし、壁面の厚さは、1.2mm、底部の厚さは2.0mmとした。図1に外形寸法を示す。なお、型離れしやすさ(離型性)を考慮して、長辺側の壁面の抜け勾配が10°になるように底部側の外形寸法を横120mm×縦23.72mmとした。このような形状を鋳造する場合、通常は製品押しピンをつけた外型と上型の2ピース構造とするが、試作品の取り出し機構を簡略化するために、外型を底板と枠型に分割した3ピース構造とし、鋳造品を底部から押し出すことができるようにした。

事業名：経常研究

課題名：アルミニウムの精密鋳造技術に関する研究（平成26～28年度）

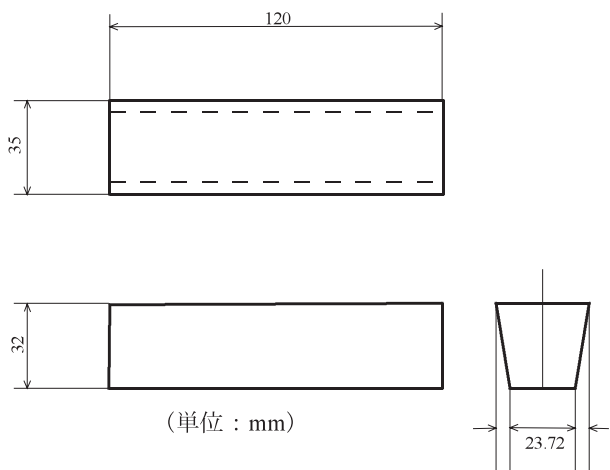


図1 試作鋳造品の外形寸法図

2.1.2 伝熱解析シミュレーション

溶湯鍛造では、注湯後、凝固するまでに加圧を完了するため、型内に入れた溶湯が凝固するまでの時間を把握する必要があります。そこで、溶湯鍛造可能な溶湯温度及び型温度を非定常熱解析が可能な伝熱解析シミュレーション ADINA (ADINA社製)を用いて解析した。

モデルの長手方向の対称性を利用し、鋳造品の長手方向の中央を横断する断面について2次元モデルを作成した。

2.1.3 型材の検討

型材には軟鋼(SS400)を使用した。金型は、金属面を露出させるとアルミニウム合金を鋳造する際に固着が発生するため、表面に離型剤を塗布して鋳造した。しかし、鋳造を繰り返すと離型剤が剥離する上に、離型剤を再塗布するためには150℃まで型を冷却する必要があり、連続鋳造が困難である。そこで、離型剤の一部の製品にカーボンが利用されていることに着想を得て、上型にネジ止めたSS400製の中子をカーボンブロック切削品に変更し、成形性・離型性・内部品質を評価し、適用可能性を検証した。

2.1.4 鋳造材

鋳造材としては、砂型鋳造に用いられる AC7A 及び汎用ダイカスト合金である ADC12 を用いることとした。表1に両合金の組成を、また表2に両合金の固液共存領域の温度範囲を示す。

表2から AC7A は固液共存領域が広い、すなわち半凝固状態を長く保つことが可能であり、加工時間が長い溶湯鍛造に適していると考えられる。一方、本研究で検討している薄肉の溶湯鍛造では、狭隙部に溶湯を短時間で充填するため流動性が重要となる。そこで AC7A と比較して流動性に優れている ADC12 の適用可能性を調査するために金型温度を50～250℃に変化させたスパイラルフロー金型試験を行い、流動特性を評価した。

表1 AC7A及びADC12の組成表³⁾(%)

合金元素	合金番号	
	AC7A	ADC12
Si	0.20 以下	9.6 から 12.0
Fe	0.30 以下	1.3 以下
Cu	0.10 以下	1.5 から 3.5
Mn	0.6 以下	0.5 以下
Mg	3.5 ～ 5.5	0.3 以下
Zn	0.15 以下	1.0 以下
Ni	0.05 以下	0.5 以下
Ti	0.20 以下	—
Pb	0.05 以下	—
Sn	0.05 以下	0.2 以下
Cr	0.15 以下	—
Al	残 部	残 部

表2 AC7A, ADC12の液相線温度及び固相線温度³⁾

合金番号	液相線温度(℃)	固相線温度(℃)
AC7A	635	570
ADC12	580	515

2.1.5 実験装置

図2に実験に用いた溶湯鍛造装置の概略を示す。加圧装置の破損を防ぐため、金型の加熱は加圧装置から少し離れた場所で行い、所定の温度に達してからレールを用いて素早く加圧装置内に移動し、注湯・溶湯鍛造できるようにした。なお、溶湯鍛造に必要な圧力は、50～120MPaと報告されている³⁾。一方、今回試作で用いた装置の加圧上限は60MPaであることから、本研究では60MPa以下の圧力での成型可能性を検証することとした。成型体に作用する面圧力は、プランジャー面積と成型体面積の比から、装置の表示圧力の13.3%と計算された。

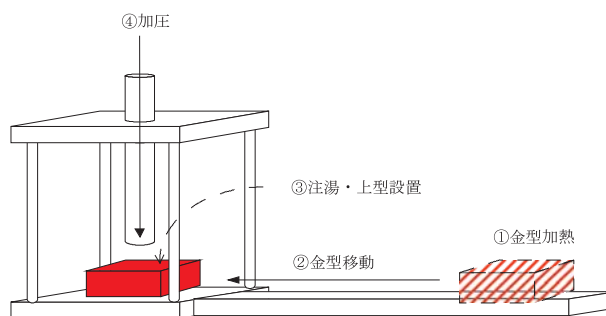


図2 溶湯鍛造装置概略図

2.2 試作鋳造品の寸法精度及び内部品質評価

シミュレーション解析結果と温度測定結果を基にして溶湯温度や型温度を選定し、実際に AC7A 及び ADC12 を用いて鋳造品の試作を行い、湯回りの良否、外形寸法測定、X線CTによる内部品質評価を行った。

3. 結果と考察

3.1 伝熱解析シミュレーションによる検討

図3に、型温度500℃、鋳造材AC7A、溶湯温度800℃、上型を設置した1秒後における伝熱解析シミュレーション結果の一例を示す。図中のアルミニウム溶湯の両肩部が、枠型と中子の隙間に入る前に凝固開始する温度に低下することから、本条件においては溶湯注入後1秒以内に上型を設置し、加圧を開始する必要があることが確認された。実作業において注湯・上型設置・加圧開始までに約3～5秒を要することからAC7Aを鋳造材として用いる場合は、型温度を600℃、溶湯温度を800℃と設定した。同様に、ADC12を用いた場合における適切な型温度と溶湯温度は、シミュレーション結果よりそれぞれ630℃と800℃に設定した。

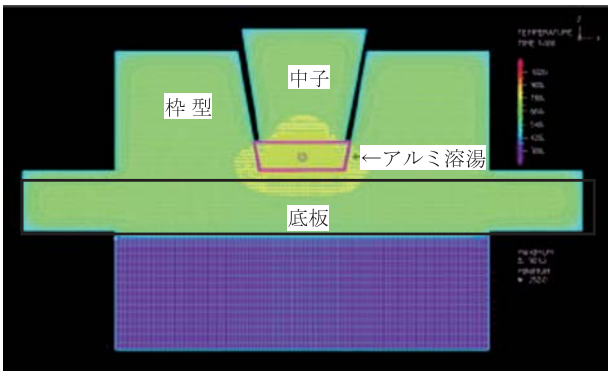


図3 1秒後の等温線図

3.2 鋳造材の検討

図4に、溶湯温度800℃におけるAC7A及びADC12のスパイラルフロー金型試験の型温度の影響を示す。測定した50～250℃の温度域において、ADC12は、AC7Aと比較して流動長が約400mm長くなることを確認した。溶湯温度を750℃、700℃と低下させた場合も同様の傾向が確認された。

なお、150℃以上の温度域で流動長がほぼ一定になったのは、塗布した離型剤の特性によるものと考えられる。

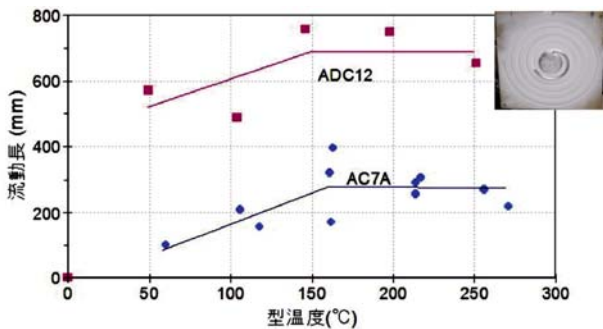


図4 湯温800℃におけるスパイラルフロー金型試験

3.3 カーボン型の適用性検討

図5に中子をカーボン材に変更して溶湯鍛造した試作品の外観写真

外観写真を示す。離型剤を使用しなくても固着を防ぐことが可能であり、試作品内面の鋳肌は非常に良好であった。また、SS400製の型のみを使用した場合と異なり、短辺側の側壁に溶湯が十分に供給され設計どおりの成型が可能となった。短辺側の側壁にも溶湯が十分に供給されたことは、枠型がSS400、中子がカーボンという組み合わせであるということに起因すると考えられる。すなわち、鋳造前の加熱により枠型が膨張したのに対し、中子はカーボン製で金属と比較して膨張係数が半分以下と小さいため加熱による膨張がほとんどなく、キャビティがわずかに広がり湯回りが向上したものと考えられる。

試作品を取り出す工程に要する時間を、カーボン型鋳造とSS400型鋳造で比較したところ、カーボン型鋳造では溶湯凝固の際に収縮した枠型及びアルミニウム合金が収縮しない中子を締め付けたため脱型に時間を要し、大きな変化はなかった。

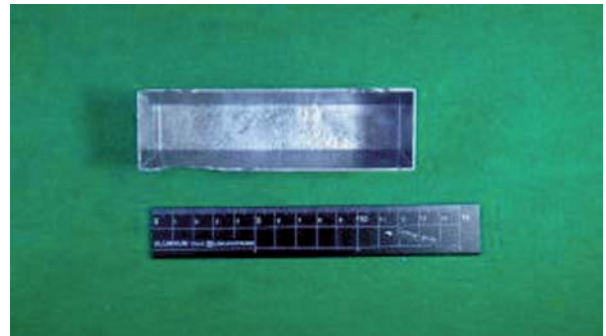


図5 カーボン型成型品の外観写真

3.4 寸法精度及び内部品質評価

3.4.1 AC7Aでの溶湯鍛造

図6にAC7Aを用いて試作した薄肉鋳造品の外観写真を、図7にそのX線CT透過画像を示す。金型を60MPaで加圧することにより、当初目標である壁面の肉厚1.2mmを達成したが、鋳肌が荒れているだけでなく、X線CTによる内部撮影の結果、0.59vol%の内部欠陥が含まれていることが確認された。これは、AC7Aの凝固収縮率が約1.2%であることから、60MPaの加圧では不足であったためと推測される。



図6 AC7A試作鋳造品の外観写真

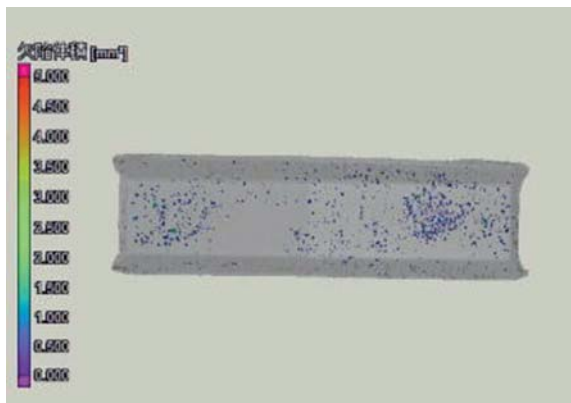


図7 AC7A試作鋳造品の内部欠陥透過画像

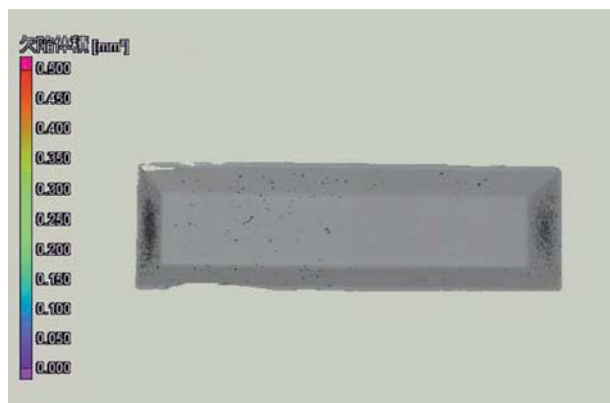


図9 カーボン製中子を用いた場合の内部欠陥透過画像

3.4.2 ADC12での溶湯鍛造

図8に、圧力条件を変えた場合のADC12溶湯鍛造品のX線CTによる内部品質比較を示す。表面形状、寸法、及び内部欠陥の増減に与える圧力の影響を検討したところ、加圧を40MPaまでに抑えた場合は、溶湯が型全体に充填されず寸法どおりの成形ができなかった。また、初期加圧を60MPaに設定し、凝固完了時間までに再加圧して圧力を維持しなかった場合は、溶湯は型全体に充填されたが、成形品の表面に0.1~0.3mmの微小気泡が残り、40MPaで加圧した場合と同様の気泡による内部欠陥が確認された。凝固完了まで60MPaで加圧することにより、壁厚1.2mmの薄肉成型を実現できたが、短辺側の側壁の一部に溶湯が十分に充填されない課題が残った。

図9に中子をカーボン材に変更して溶湯鍛造した試作品のX線CT透過画像を示す。前述したとおり、短辺側の側壁にも十分に溶湯が供給され設計どおりの成型が可能であっただけでなく、内部欠陥を約0.01vol%まで低減することができ、良好な内部品質を有する試作品を鋳造できた。

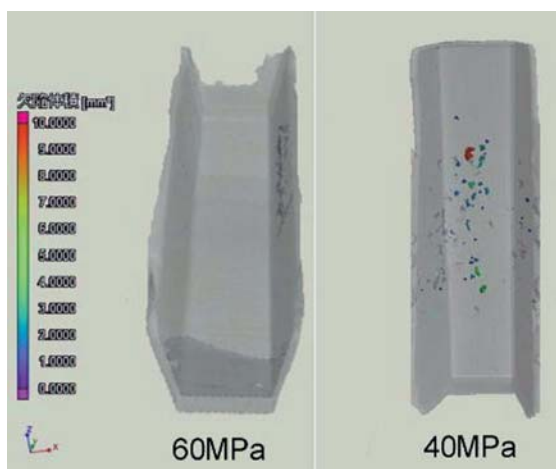


図8 ADC12試作鋳造品の内部欠陥透過画像

4. まとめ

プレス機械を有する道内企業が参入できるように、小型でシンプルな溶湯鍛造システムの構築に必要な基礎的検討を行い、次の結論が得られた。

- (1) AC7Aを用いて湯温及び鋳造圧力の条件を検討し、湯温800℃、型温600℃、圧力60MPaにおいて、1.2mmの薄肉鋳造を試作できた。一方、試作品の表面状態や内部品質では課題が残った。
- (2) ADC12の利用可能性について検討した結果、湯温800℃、型温630℃、圧力60MPaにおいて、1.2mmの薄肉鋳造を試作できた。
- (3) ADC12の溶湯鍛造の際に、金型の一部をカーボンに変更することにより、良好な鋳肌と高い湯回り性が得られることが見出された。また、内部品質の点においても良好な結果が得られた。

引用文献

- 1) 北海道自動車産業集積促進協議会，平成28年度事業報告，(2017)
- 2) 平成21年度 戦略的基盤技術高度化支援事業「革新的・環境配慮型アルミニウム新鋳造システムの開発」研究開発成果等報告書，広島県西部工業技術センター，(2009)
- 3) ㈱日本アルミニウム協会，アルミニウムハンドブック (第6版)，(2001)