

金型重力鋳造における金型減圧による鋳造性の向上

戸羽 篤也, 木下 修*, 桃野 正**

Improvement of Castability by the Decompressed Mold in the Gravity Die Casting Process

Atsuya TOBA, Osamu KINOSHITA*, Tadashi MOMONO**

抄 録

金型重力鋳造で薄肉のアルミ合金鋳物を製造するには、溶湯が凝固する前に金型を満たすように鋳造条件を設定する必要がある。本研究では、薄肉部における溶湯の湯流れを改善する方法の一つとして金型内を減圧して鋳造する「減圧鋳造法」に着目し、それが鋳造性向上に及ぼす効果について実験を行った。

実験の結果、減圧鋳造時の負圧が大きいと吸引力が過大となって不具合が生じることから、薄肉鋳物の減圧鋳造では適正な負圧を設定する必要があることがわかった。そこで、金型内に適正な負圧を与えるための金属製ベントフィルターを製作し、これを用いた鋳造実験により減圧鋳造による湯流れの改善効果を確認した。

キーワード：アルミ合金鋳物, 金型重力鋳造, 減圧鋳造法, ベントフィルター

Abstract

When we produce thin aluminum alloy castings by gravity die casting, it is needed that molten metal is filled to mold before it solidifies. In this study, we focused to "a decompression mold casting method" as one of method to improve molten metal flowability at a thin part, and we performed an experiment to examine the effect that it gave on a castability.

As a result of experiment, a defect occurred when the power of absorption became excessive by decompressed pressure, so we found that it was necessary to set suitable pressure for the decompression gravity die casting of the castings which have some thin parts. Therefore we made a metal vent-filter to give suitable decompressed pressure in a die and confirmed the improvement effect of the molten metal flow by the decompression casting by the experiment using this.

KEY-WORDS : Aluminum alloy castings, Gravity die casting, Decompressed mold casting, Vent-Filters

1. はじめに

金型によるアルミ合金鋳物の製造では、高い生産性ととも
に寸法精度や材質特性等で高い品質が期待できる。その一方
で鋳型の冷却能が著しく高いことにより注湯後の熔融金属
(以下「溶湯」という)の凝固進行が早く、特に薄肉部をも
つ鋳造品ではその部分に溶湯が流入せずに湯回り不良を生じ

やすい。アルミ合金の金型鋳造において鋳造性を確保するた
めには、溶湯が凝固する前に金型内キャビティを完全に満た
す必要がある。そのためには、溶湯の凝固進行を遅らせるか、
溶湯の充填時間を短くするかのいずれかの方法が採られる。
前者としては、金型の温度を予め高める方法や、溶湯を攪拌
して溶湯の流動性を改善する方法が考えられる。一方、後者
としては溶湯を高い圧力で金型内に注入する方法がある¹⁾。

* 株式会社木下合金, ** 室蘭工業大学

* Kinoshita Alloy Casting Co., LTD., ** Muroran Institute of Technology.

事業名：公募型研究（戦略的基盤技術高度化支援事業）

課題名：薄肉・高強度・高靱性アルミニウム合金鋳物製造のための多機能グラビティー複合金型鋳造システムの研究開発（平成24年度）

アルミ合金溶湯は、一般に凝固温度より100～200℃高い温度範囲で厳しく管理される。これはアルミ合金を高温で溶解すると酸化やガス吸収による铸造欠陥を引き起こすからであり、溶湯温度を高温にして铸造後の流動性を確保する方法には限界がある。

一般にダイカストは、アルミ合金溶湯を高压で金型内に強制的かつ短時間で充填する铸造法である。ダイカストは铸造時の溶湯流速が極めて速いため金型内の空気や酸化膜等の介在物を铸件内部に巻き込みやすく、高い材料品質が要求される製品には適用しにくいとされる。これに対して、同じく金型を用いる铸造法として「金型重力铸造法 (Gravity Die Cast)」がある。金型重力铸造は、特に压力を加えずに湯口から重力だけを利用して金型内に铸込む方法であり、铸造方案を適切に設計すれば、高い生産性を維持しつつ高品質のアルミ合金铸件を生産することができる。

本研究は、金型重力铸造によって薄肉铸件を製造するための自動铸造装置を開発する取り組み^{2), 3)}の一部として、金型内の減圧による溶湯充填時間の短縮および溶湯攪拌による铸造性の改善効果を調べる実験を行い、金型減圧铸造時の負圧と湯流れ性との関係について知見を得たので報告する。併せて、金型内の負圧を制御するための金属製ベントフィルターの製作に関して、金属粉末積層成形によるフィルター設計・製作技法を検討したので紹介する。

2. 実験方法

2.1 実験装置

金型重力铸造における減圧铸造法の铸造性改善効果を調べる実験を行うため、実験装置を図1に示す機器構成で用意した。減圧ポンプは、排気能力450W（アルカテル社製）のポンプを使用した。この減圧ポンプの能力を補うとともに、圧力変動を抑えるため減圧容器を用意した。減圧容器の容積は40リットル（内径φ300mm×長さ600mm）とし、減圧容器内の压力を確認するため負圧ゲージを取り付けた。

減圧容器の両側面にフランジ型継ぎ手を用意し、この一方を用いて減圧ポンプと減圧容器とを専用のゴム製ホースで接続した。他方の継ぎ手には、減圧の開閉を行う電磁弁とエアフィルターを取り付けた。エアフィルターは金型等から流入する空気に混入する粉塵などを取り除き、減圧容器や減圧

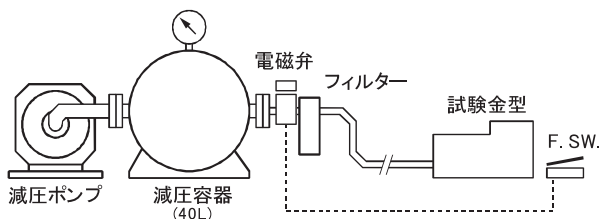


図1 铸造試験装置構成の模式図

ポンプへの損傷を防ぐために配置した。

電磁弁・エアフィルターと試験用金型とはステンレス製フレキシブル管で接続した。铸造時の金型内压力は、電磁弁、エアフィルター、接続管等で生じる压力損失により、減圧容器で計測される負圧と異なる可能性が高いが、本実験においては金型内の压力を直接計測する検出器を用意せず、負圧計の計測値から実験条件を設定した。

铸造実験に際して金型内の減圧のための電磁弁の開閉は、試験金型の近くに置いた足踏み式スイッチを踏下して行う方式とした。

2.2 試験用金型

铸造性を評価する指標の一つである「湯流れ性」の評価は、金型内の小断面流路への給湯距離（溶湯が凝固するまでに流路に進入した長さ）を比較して評価した。試験用金型の形状・寸法を図2に示す。試験用金型は4つの部材で構成し、湯口（図2の左側）と主金型2つ（同図右側）を铸铁で製作した。さらに、板金型は厚さ $t=4.5\text{mm}$ の鋼板を図3に示す形状に加工して用意し、2つの主金型の間挟んで湯流れ性の評価用小断面流路を形成した。小断面流路は、1枚の板金型に同じ幅と深さで3本加工し、図3の上から順に大気への開放口を先端に持つ「開放流路」、先端が閉じ込み状態となる「閉塞流路」、先端部が压力制御装置と接続する「压力流路」と

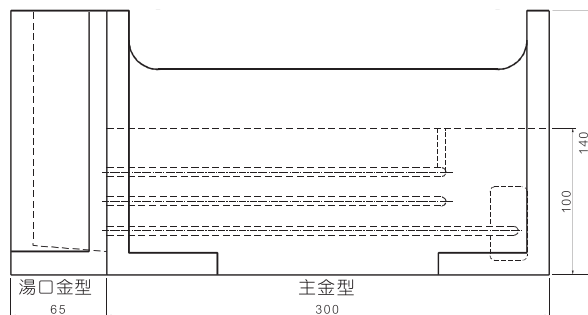


図2 铸造実験用金型の形状・寸法

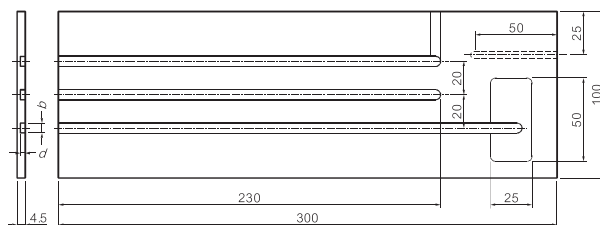


図3 湯流れ性試験に用いた板金型の形状・寸法

表1 铸造実験用板金型の小断面流路寸法

呼び記号	深さ d, mm	幅 b, mm	断面積 s, mm^2
D20	1.8	10.6	19.08
D25	2.4	8.4	20.16
D30	3.2	6.3	20.16

した。板金型に加工する小断面流路の寸法は、目標とする铸件肉厚²⁾を考慮し、表1に示す3水準とした。また、圧力流路の先端接続部には溶湯が未凝固のまま圧力流路先端に達しても減圧配管系に進入しないように50mm×25mmの面積でチルベントを設けた。さらに、板金型の裏側に深さ4mm、長さ50mmの溝を加工し、ここに熱電対を埋め込んで铸造時の金型温度を計測した。

2.3 铸造実験の方法と試験条件

減圧铸造による湯流れ性評価実験は、一般的に用いられる铸造用アルミ合金AC4CHを溶解し、種々の条件下でこれを金型に铸込んだ。アルミ合金の溶解は、図4の模式図に示す

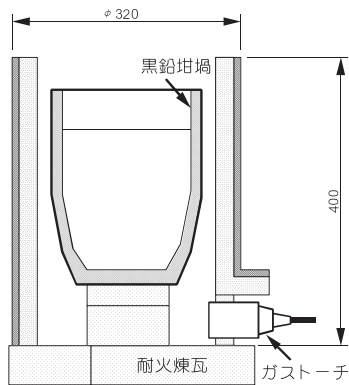


図4 アルミ合金の溶解方法（模式図）



図5 铸造実験の様子

黒鉛坩堝内に約7.5kgの金属塊を投入し、プロパンガスバーナーで徐々に加熱・昇温した。加熱の当初は、材料への入熱が上部から拡散しないよう、別に用意したトーチを用いて上部からも加熱した。

金属塊が溶解し、溶湯が坩堝容量の半分程度まで達したら、上部から熱電対を差し込んで溶湯の温度を計測しながら加熱を継続し、所定の保持温度になるように火力を調整した。

試験用金型は、溶湯が触れる面に塗型を施した後、耐火煉瓦上に組み上げてシャコ万力で固定した。板金型に設置した熱電対によって所定の予熱温度になるようにプロパンガスで加熱し、金型の予熱温度と溶湯の溶解温度がそれぞれの実験条件に達したら、減圧装置の減圧ポンプを作動させて目的の負圧になったところでポンプを停止し、予熱した汲み出し用黒鉛坩堝で必要量の溶湯を汲み出して金型の湯口から注湯し、板金型の開放流路口の水準まで溶湯が達すると同時に足踏式スイッチを踏み込んで電磁弁を開放して金型内を減圧した。铸造条件は、溶湯温度を700℃、金型予熱温度を200℃とし金型減圧の負圧は、減圧容器のゲージ計測により0(大気圧)～-98kPaまでの範囲で変化させた。また、汲み出し黒鉛坩堝は、アルミ合金溶解に使用する黒鉛坩堝の溶湯の上に置き、予熱するとともに溶湯の酸化防止に役立てた。

3. 実験結果

3.1 湯流れ性評価

板金型を用いて金型重力铸造における金型内減圧の効果を確認するため、D30試験片（铸件肉厚 $t=3.2\text{mm}$ ）とD25試験片（铸件肉厚 $t=2.4\text{mm}$ ）を用いて、減圧铸造法で铸込み実験を行った。铸造実験の様子を図5の写真に示す。減圧铸造法に際して減圧容器内の圧力は、減圧ポンプの能力の最大限となる2kPa（負圧-98kPa）程度まで下げた。

図6に、減圧铸造法と通常铸造法（負圧=0）による湯流れ試験結果の一例を示す。通常铸造法ではD25試料、D30試

試験条件・試料	D25 (d = 2.4mm)	D30 (d = 3.2mm)
通常铸込 (負圧 = 0)		
減圧铸込 (負圧 = -98 kPa)		

図6 試験金型による湯流れ性実験結果

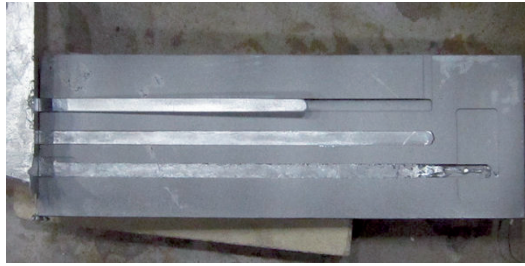


図7 湯流れ性試験結果の事例
(D25試料/減圧铸造)

料ともに圧力流路の給湯距離が最も長くなる試験結果が多くなった。これは、閉塞流路では溶湯の流入に際して金型キャビティ内の空気が圧縮されることによる背圧の影響を受けるのに対して、これ以外の開放流路と圧力流路は金型キャビティ内の空気が流路先端から開放され、背圧の影響が小さくなることに加えて、湯口から注がれた溶湯の圧力ヘッドが下段になるに連れて大きく、溶湯が圧入状態となるので、圧力流路の給湯距離が最も長くなったと考える。特に、D25試料では開放流路より閉塞流路の給湯距離が長くなる例が見られたが、これは金型キャビティ内空気による背圧よりも薄肉による冷却能の影響を大きく受けたと思われる。

これに対して、圧力流路の金型キャビティ内を減圧して铸造した湯流れ試験では最下段の圧力流路の給湯距離が最も長くなることを期待したが、D25試料、D30試料のいずれも期待したような結果とならず、むしろ圧力流路キャビティの減圧で発生する吸引力により溶湯先端が大きく乱れた形状で凝固した。この原因として、減圧によって溶湯の流速が早くなると同時に鑄型の流入口付近での熱伝達量や粘性抵抗が大きくなり、凝固が加速したのではないかと考えられる^{4),5)}。

減圧吸引による湯流れ性の改善について、いくつかの実験結果で減圧铸造による金型内キャビティに働く吸引力の効果

が認められる事例が見られた。その一つを図7に示す。圧力流路の溶湯先端部分が吸引力により乱れた形で凝固しているのに対して、その上段の閉塞流路には溶湯が綺麗に満たされている。この理由として、試験金型を組み立てるときに板金型を2枚の主金型で挟み、シャコ万力で締め付けて固定するが、このとき板金型の流路面と主金型の面とは塗型材を介して接するので、必ずしも密着せずに減圧による圧力がわずかに閉塞流路にも影響を及ぼす可能性が考えられる。

先に示した実験結果と併せてこの実験結果を考察すると、本来は減圧による湯流れ改善効果は及ばないとした閉塞流路に、実際は金型のわずかな隙間から負圧が作用して湯流れが良くなったと仮定すれば、減圧時の圧力が強すぎると返って溶湯の流れを乱すなどの悪影響を及ぼし、金型減圧による湯流れ性改善の効果を得るのに適切な負圧の大きさがあることになる。

そこで、減圧铸造の負圧を変化させて湯流れ性への影響を調べる実験を行った。鑄物の肉厚を1.8mmとしたD20試料と肉厚2.4mmのD25試料の実験結果を図8に示す。铸造条件は減圧なしで鑄込んだ通常の重力铸造(負圧=0)と、铸造時の減圧容器内の負圧を-50kPaおよび-25kPaに調整して鑄込んだ減圧铸造試験の結果である。

同じ減圧条件下で実施した湯流れ性試験の結果を比べると、給湯距離は相対的にD20試料の方がD25試料より短い。これは、鑄物の肉厚が薄いほど冷却速度が速く、铸造後の溶湯が短時間で凝固することによるものである。

通常鑄込みの実験結果は、圧力流路の給湯距離が最も長くなり、次いで開放流路、閉塞流路の順となった。中段流路の給湯距離が短かったのは、金型キャビティ内の空気による背圧の影響が考えられる。また上段流路より最下段流路の給湯距離が長くなる傾向については、先に示した考察のとおり、流路の位置関係に伴う圧力ヘッドの影響で最下段流路の入り

試験条件・試料	D20 (d = 1.8mm)	D25 (d = 2.4mm)
通常鑄込 (負圧 = 0 kPa)		
減圧鑄込 (負圧 = -25 kPa)		
減圧鑄込 (負圧 = -50 kPa)		

図8 減圧条件を変化させたときの湯流れ性への影響

口付近の溶湯に加圧力が働いたことが影響したものとする。減圧して铸造した実験の結果を比較すると、減圧容器内の圧力を -50kPa としたときの圧力流路の溶湯が負圧で強く引っ張られたと推定できるような先端部の乱れや溶湯の入り口付近で破断が見られた。

これに対して、減圧容器内の圧力を -25kPa としたときの実験結果では、圧力流路、閉塞流路ともに湯流れの乱れが少なく、溶湯の充填状態も -50kPa の実験結果に比べて良好になっている。

このことから、铸造時に金型キャビティ内を減圧して湯流れ性を改善しようとするには、高い負圧を加えて強い吸引力を発生させるよりは、小さな負圧で静に吸引力を与える方が有効であるとの知見を得た。

減圧铸造法による湯流れ性の改善を目的とした最適な負圧の設定値は、鋳物の肉厚、溶湯温度、金型の予熱温度等によって異なると考えられる。本研究で用意した実験条件、すなわち、溶湯温度 700°C 、金型予熱温度 200°C で、鋳物の肉厚が $2\sim 3\text{mm}$ 程度の場合、実験結果より減圧金型铸造における負圧の設定値を -25kPa 程度にすることで効果的な湯流れ改善が図られるとの見通しを得た。

3.2 金属組織観察

減圧铸造法で金型内キャビティを減圧すると湯流れ性の改善効果が得られることについて、金型内で溶湯に吸引力が働いて溶湯の流速が増すので給湯距離が長くなるのが直接的な理由として考えられるが、同じく溶湯流速が増すと溶湯に攪拌作用が働き、溶湯の流動性が長く保たれることもその理由として挙げることができる⁹⁾。

すなわち、铸造後の溶湯内に固相が晶出し、デンドライト(=樹脂状晶)を成長させながら凝固が進行する過程で、あ

る一定の固相率に達すると溶湯内の液相がデンドライトの結晶間を移動できなくなる状態(このときの固相率を「限界固相率」という)となり、溶湯は流動性を失う。しかし、凝固進行の過程で溶湯に攪拌を加えると、デンドライトが分断されて、同じ固相率でも流動性を保つことが出来る。このメカニズムにより、金型内キャビティの減圧で溶湯に吸引力が加わると溶湯に攪拌作用が働いて、湯流れ性の改善に寄与する可能性がある。

減圧铸造に伴う溶湯攪拌作用を検証するため、鋳物の顕微鏡組織観察を行った。通常の重力铸造法と減圧铸造法の実験で得たD30試料の各部位で観察した金属マイクロ組織の写真を図9に示す。減圧をしない重力铸造法で鋳込んだ試料では、いずれの流路も溶湯先端部に比べて湯口付近の結晶粒径が小さい。一般に、本実験で用いた铸造方案では金型流路に比べて湯口部の熱容量が大きいので、冷却・凝固は先端部から湯口部に向けて進行すると考えられる。この場合、凝固が遅い湯口部の方がデンドライト成長に伴って結晶粒は大きくなる。組織観察の結果、湯口部の結晶粒の方が小さいことの原因として、溶湯が湯口から流入する際に剪断力が作用してデンドライトが分断されて結晶成長が抑えられたと考えることができる。すなわち、減圧をしない重力铸造法でも湯口部付近の溶湯に攪拌作用が働いたことが伺える。

铸造時の金型減圧の有無について金属組織を比較すると、試料湯口部について両者に顕著な差が認められないが、圧力流路の溶湯先端部では減圧铸造で鋳込んだ方の結晶粒が小さくなっていることがわかる。これは、溶湯先端に金型キャビティ減圧による吸引力が溶湯の剪断力として作用したことでデンドライトの分断が生じたと考えられる。金属組織観察の結果、金型減圧による溶湯攪拌作用が溶湯の流動性に影響することが確かめられた。

観察部位・铸造条件	通常の重力铸造 (減圧なし/負圧 = 0)		減圧铸造 (負圧 = -98kPa)	
	湯口付近	溶湯先端	湯口付近	溶湯先端
開放流路 (上段)				
閉塞流路 (中段)				
圧力流路 (下段)				

図9 減圧铸造による金属組織への影響 (D30/d=3.2mm)

4. ベントフィルターによる減圧金型の負圧調整

金型重力鋳造で減圧鋳造による湯流れ性改善を検討するに当たり、適切な負圧設定によって効果が得られることを示した。ここでは、減圧金型の負圧を調整する方法としてベントフィルターによる圧力損失を利用する方法⁷⁾を取り上げ、金属製ベントフィルターの設計・製作法を検討した。

4.1 負圧調整法の原理

ベントフィルターは、一定の通気特性をもつエアレギュレータの一種である。フィルターは微小孔あるいは多孔質の構造をもち、空気の粘性抵抗を利用して通気圧力を制御する。いま、図10に示すような通気条件を考える。すなわち、内径 ϕD [mm]の流路内に厚さ h [mm]、開口率 ε [-]のフィルター部を配置し、この流路に流量 Q [mm³/s]の空気が流れているとする。このとき、流入口の圧力を P_{in} [Pa]、フィルターを通った後の流出口の圧力を P_{out} [Pa]とする。

フィルター内を通過する空気の流れ速度 u [mm/s]は、空気の流量と実効通気面積 A [mm²]との関係式から、

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\varepsilon\pi D^2} \quad [\text{mm/s}] \quad (1)$$

と計算される。一般に、フィルター内の流速は圧力勾配（単位長さ当たりの圧力損失）と流体の粘性の影響を受けると考えられるので、空気の粘性を μ [Pa・s]とすると、フィルターの通気度（通気性を示す指標）は以下の式で定義される⁸⁾。

$$k = \mu u \frac{h}{\Delta P} = \frac{4\mu Q h}{\varepsilon\pi(P_{in} - P_{out})D^2} \quad [\text{mm}^2] \quad (2)$$

上式で、流路およびフィルターの形状が変わらなければ、

$$k = \frac{4\mu h}{\varepsilon\pi D^2} \cdot \frac{Q}{(P_{in} - P_{out})} \quad [\text{mm}^2] \quad (2')$$

と整理して、通気度は流量と圧力差によって求められることがわかる。

減圧金型重力鋳造において、鋳造時の金型内キャビティの負圧（図10の P_{in} で示す圧力）を制御するには、この関係式から減圧系配管の内径、減圧容器の圧力、フィルターの開口率および厚さを決定する。ただし、配管系の寸法や減圧容器の圧力は設備で決まる要素が多いので、実質的に金型内の負

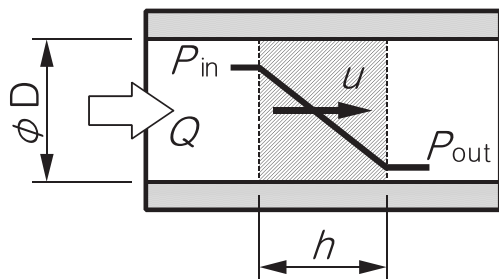


図10 ベントフィルターによる負圧制御の考え方

圧の制御はベントフィルターの開口率と厚さで設計することになる。

いま、鋳造しようとする金型キャビティ容積 V [mm³]と鋳込みに要する時間 t [s]が決まれば、減圧時の平均流量 Q は、

$$Q = \frac{V}{t} \quad [\text{mm}^3/\text{s}] \quad (3)$$

で計算される。ベントフィルターの製作条件や開口率等からその通気度 k が推定できるとき、(2)式を厚さ h について、

$$h = \frac{\varepsilon\pi D^2 t}{4\mu V} k (P_{in} - P_{out}) \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

と変形した式により、金型の容積、鋳込み時間および負圧に応じて適切なベントフィルターの厚さを決定する。

4.2 ベントフィルターの製作

金属粉末積層成形法によりベントフィルターを製作し、その通気特性を計測した。ベントフィルターの試験片試料は、図11に示す形状および寸法とし、試験条件として圧力勾配を変化させるため、フィルター部の厚さを3 mm、5 mm、8 mmの3水準で製作した。また、フィルターの開口率を変化させるため、表2に示すように金属粉末積層成形時のレーザー照射条件を変えて製作した⁹⁾。

通気度試験は、鋳造用生型通気度試験装置（JIS Z 2601）を利用し、2000ccの空気が通気するのに要した時間を計測して流量を求め、(2)式により通気度を算出した。通気時の加圧力は1.0kPaと1.5kPaの2水準とし、粘性は18.22 μPa・sとして計算した。

製作したベントフィルターの通気特性試験の結果を図12に示す。図の横軸に圧力勾配（フィルター両端面の圧力差をフィ

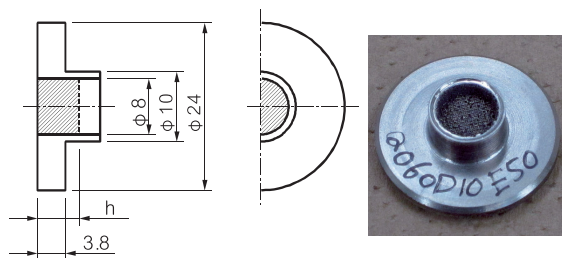


図11 試作ベントフィルターの形状・寸法および外観

表2 ベントフィルターの製作条件

試料製作装置		金属粉末光造型複合加工装置 (LUMEX Avance-25)		
レーザー種別		ファイバーレーザー		
出力/最大出力		160 W / 200W max		
資料番号	集光径 [mm]	走査間隔 [mm]	走査速度 [mm/s]	光熱密度 [J/mm ²]
Q050E50	φ 0.1	0.5	640	0.50
Q055E50			582	0.55
Q060E50			533	0.60
Q065E50			492	0.65

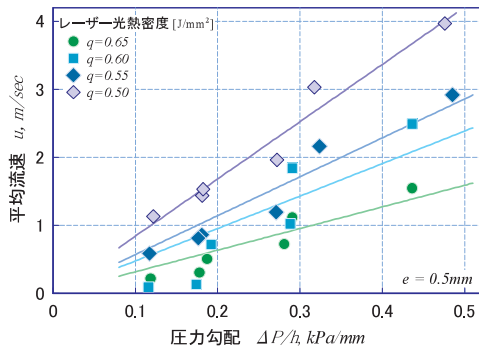


図12 ベントフィルターの通気特性計測結果

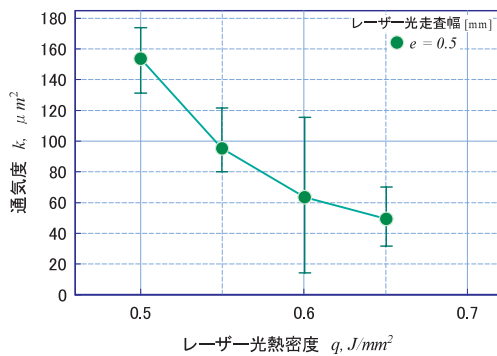


図13 ベントフィルターの製作条件と通気度

ルター厚さで割った値)、縦軸にフィルター内を通過する空気の見かけの流速をとると、成形時のレーザー光熱密度ごとに比例関係が認められる。ここで、レーザー光熱密度 q [J/mm²] とは、レーザー照射による成形条件の指標の一つで、成形単位面積当たりに照射するレーザー光線熱量である。レーザー光熱密度が大きくなると同じ圧力勾配を与えたときに通過する空気の見かけの流速が遅くなるのがわかる。これは、成形時の与熱量が大きくなるに連れて溶融金属の量が増すことでフィルターの開口率が小さくなるためと考えられる。

圧力勾配と見かけの流速との間に比例関係が認められたので、(2)式からこの比率に空気の粘性を掛けて通気度を計算し、

図13に整理した。若干のばらつきはあるが、レーザー光熱密度とベントフィルターの通気度の間に一意的な関係が認められた。これにより、金属粉末積層成形法による製作条件を制御することでベントフィルターの通気度を設計する手法について前項で示すと通りの知見が裏付けられた。

4.3 ベントフィルターを用いた鋳造実験

金属粉末積層成形法で製作したベントフィルターを用いて金型減圧時の適正な負圧を設定して鋳造した場合の、湯流れ性への影響を検証する実験を行った。

はじめに、実験に使用するベントフィルターを製作した。試験用金型の圧力流路のキャピティ容積は約4,600mm³である。ベントフィルターの設置条件からフィルターの断面積を50mm²、長さを10mm程度にする必要があったので、約75kPaの圧力損失を生じさせる圧力勾配は7.5kPa/mmとなる。

減圧鋳造時の鋳込み時間を $t = 0.2s$ 、フィルターの開口率を $\epsilon = 0.3$ とすると、減圧鋳込み時にフィルターを通過する見かけの流速は約 $u = 1,500mm/s$ と計算される。(2)式にこれらの値を代入すると、製作すべきベントフィルターの通気度は $k = 3.7\mu m^2$ となる。これまでの実験結果¹⁰⁾から、この条件に合うベントフィルターの製作条件を、レーザー光照射間隔 $e = 0.2mm$ 、同走査速度 $v = 1,100mm/s$ (レーザー光熱密度 $q = 0.73J/mm^2$ と設定してベントフィルターを製作した。

ベントフィルターを使用した減圧鋳造試験の結果を図14に示す。肉厚の最も厚いD30試料では減圧の有無による顕著な差異は見られなかったが、薄肉のD20試料、D25試料では、通常重力鋳造に比較して減圧鋳造の給湯距離が長くなる結果を得た。また、減圧鋳造で負圧吸引力による溶湯の乱れも認められなかった。以上の実験結果より、ベントフィルターを使用して適切な負圧で減圧鋳造することで鋳造性が改善することが確かめられた。

なお、今回の減圧鋳造実験の結果、減圧の効果が及ばない

試料・試験条件	通常重力鋳造 (減圧なし)	減圧鋳造 (負圧目標:-25kPa)
D20 試料 (d = 1.8 mm)		
D25 試料 (d = 2.4 mm)		
D30 試料 (d = 3.2mm)		

図14 ベントフィルターを使用した減圧鋳造による湯流れ改善効果

ことを想定していた閉塞流路の湯流れ性の改善も認められた。このことについては、3.1項でも考察した通り、この実験で用いた試験金型の構造上、減圧による圧力が金型接触面の隙間を通じて作用したと考えられる。減圧の有無に伴う定性的な効果の検証だけではなく、さらに厳密な減圧条件と铸造性との関係を調べるための実験を行う場合には、これを参考に実験方法を検討しなければならない。

5. まとめ

アルミ合金鋳物の金型自動鋳造装置の開発に関連し、鋳物の薄肉化に対応する鋳造性改善を目的に金型内キャビティを減圧する減圧鋳造法の効果を検証する実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 金型内の減圧により溶湯に吸引力が働き、湯流れに変化を及ぼすことを確認した。また、減圧による溶湯流速の変化に伴い、溶湯への攪拌効果により金属組織にも影響を及ぼすことがわかった。
- (2) 減圧鋳造において過度に負圧を大きくすると、溶湯流の乱れや湯口付近での熱伝達の変化で逆に湯流れが悪化するなどの不具合が生じたので、減圧時の負圧を変化させて鋳造実験を行った結果、湯流れ性を改善するのに適切な圧力条件があることがわかった。具体的には、本実験で用いた鋳物の肉厚約2 mm、溶湯温度700℃、金型予熱温度200℃の鋳造条件で金型内キャビティ容積が5,000mm³程度の場合、鋳造時の金型キャビティの負圧を-25kPa程度にすることで良好な鋳造性改善効果が得られることがわかった。
- (3) 減圧鋳造における適切な負圧を調整するため、金属製ベントフィルターを用いる方法を検討し、金属粉末積層成形法によるベントフィルターの設計・製作法に関する知見を得た。

参考文献

- 1) 菅野友信, 榎原寅蔵;「ダイカスト技術入門」, 日刊工業新聞社, 271PP., (1997)
- 2) 戸羽篤也 ほか;「薄肉・高強度・高靱性アルミニウム合金鋳物製造のための多機能グラビティー複合金型鋳造システムの研究開発」, 平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業(第3次補正予算)研究開発成果等報告書, pp.10-22, (2013)
- 3) 桃野 正, 田湯善章 ほか;「薄肉・高強度・高靱性アルミニウム合金鋳物製造のための多機能グラビティー複合金型鋳造システムの研究開発」, 平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業(第3次補正予算)研究開発成果等報告書, pp.23-38, (2013)
- 4) 新山英輔;「金属の凝固を知る」, 丸善, 108PP., (1998)

- 5) 新山英輔;「鋳造伝熱工学」, アグネ技術センター, 229PP., (2001).
- 6) 桃野 正, 伊藤能暢, 尾崎正樹, 片山 博;「アルミニウム合金の振動凝固と溶湯ろ過による微細等軸鋳塊の溶製」日本鋳物協会第133回全国後援大会講演概要集, 78 (1998.10).
- 7) 戸羽篤也, 平野繁樹, 稲野浩行;「金属粉末RP成形による多孔質ベントの通気特性」, 日本鋳造工学会第160回全国講演大会概要集 (2012.5).
- 8) 可児 明, 長田晴裕, 片山彰治, 平林 弘;「SiC多孔質体の通気性と機械的強度」, 日本セラミックス協会学術論文誌99 [1] pp.63-67, (1991)
- 9) 戸羽篤也, 安田星季, 三戸正道, 平野繁樹, 稲野浩行;「金属粉末光造形複合加工プロセスと成形体の機械的性質」, 日本鋳造工学会北海道支部平成24年度研究発表概要集 (2012.4).
- 10) 佐藤友哉, 宮本健輔, 見山克己, 吉田 脇, 戸羽篤也;「金属粉末成形による多孔質金属製作技術に関する研究」, 北海道工業大学平成24年度卒業研究論文 (2013.2).