

差圧鑄造を用いたアルミニウム合金砂型鑄物中のピンホール欠陥低減と真空チャンバへの応用

藤井要* 駒井公一** 砂山昇** 舟木克之* 松田健二*** 池野進****

緒言

機械加工した複数パーツで構成している製品を中子を用いた鑄造で一体化することは、コストメリットが大きい大型部品の製造で期待されている。しかしながら、展伸材で製造していた部品をアルミニウム鑄物に置き換えることは、品質、信頼性の面で難しい。これは、鑄物内部にピンホールと呼ばれる微細な空隙欠陥を多く含んでいることや展伸材と比較して粗大な共晶Si組織を有するためである。

本研究では、微細な欠陥や陽極酸化処理皮膜不良のため従来の砂型鑄造では適用が困難であった半導体製造装置の真空チャンバに対して差圧鑄造の適用を行った。最初にAC4CH合金を用いて鑄造テストを行い、圧力制御パラメータが鑄型充填特性やピンホール、引け巣等の内部欠陥発生状況に及ぼす影響を検討した。次に、陽極酸化皮膜形成を阻害する粗大Si晶出物を生じない低Si合金を用いて、鑄型充填特性を評価した。その結果、展伸材を加工して製造されていた真空チャンバを砂型差圧鑄造品に置き換える事に成功した。本報ではこれらの詳細について報告する。

実験方法

1. 差圧鑄造装置

砂型用の差圧鑄造装置の概略を図1に示す。溶湯を装置下部の保持炉室に蓄え、上部の鑄型室に設置した砂型に溶湯を充填して鑄造を行う。鑄型のセットから注湯、取り出しまでのシーケンスは、①鑄型室の待避・溶湯量の測定、②鑄型のセット・差圧鑄造、③鑄型室開放・型移動の順で行われる。なお、①の工程では、製品パッチ毎に鑄型をセットする段階で溶湯量をレーザ計測している。これは、正確な注湯量を決めるためには、保持炉中の溶湯残量に応じて圧力制御値を微調整する必要があるためである。

鑄型への溶湯充填は、ストークを介して行われ、図2のように大気圧以上の圧力Pを中心に制御した加圧環境下で鑄造し、溶湯含有ガス放出を押さえることにより鑄造品中のガスポロシティ欠陥を抑制する。差圧による溶湯充填は、まず保持炉と鑄物室を同時に圧力Pまで加圧し、次に保持炉室のみ ΔP_x 加圧する。この時、保持炉と鑄型室に生じた差圧によって溶湯はストークまで上昇する。次に、鑄型室を ΔP_y 減圧することにより砂型に溶湯を充填する。最後に、保持炉室をさらに ΔP_z 加圧して凝固収縮分に相当する充填を行い、引け巣欠陥を抑制する。なお、このとき最後の除圧を行うために、鑄型室も加圧して保持炉室と同じ圧力にする。本装置では、このように差圧制御が行われ、それぞれの時間や圧力条件は可変になっている。以下、上記のような鑄造方法を中心圧力Pでの差圧鑄造と呼ぶ。

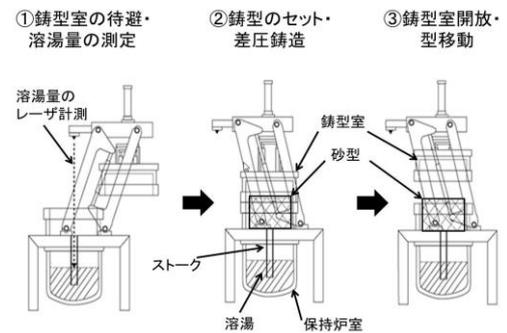


図1 差圧鑄造装置

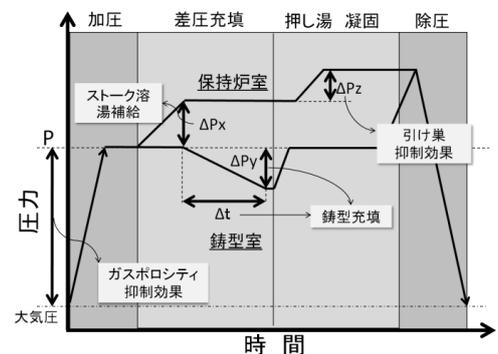


図2 圧力制御概念図

*機械金属部 **谷田合金(株), *** 富山大学

2. 欠陥抑制試験

欠陥抑制評価のための鑄造実験では、ガスポロシティと引け巣欠陥の発生挙動を分離して評価するために、図3に示すような円錐形状試験片を用いた。鑄型材は、アルカリフェノール樹脂と6号硅砂による自硬性鑄型とした。また、溶湯はAl-Si-Mg系合金であるAC4CH (7.5%Si) の他、Siを1.5%に低減し、その他成分はAC4CHと同じ組成の低Si合金を用いた。圧力制御は、図2に示すPを650kPa、 ΔP_x を18kPa、 ΔP_y を7kPa、 ΔP_z を8kPaの差圧条件とした。また、比較として鑄型室を加圧せずに保持炉のみ23kPaで加圧する低圧鑄造を行った。

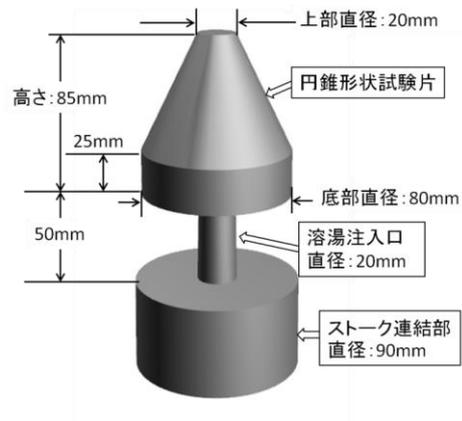


図3 円錐形状試験片

実験結果と差圧鑄造品の実用例

低Si合金の円錐形状の試験片を縦方向で1/4に切断し、浸透探傷を行った結果と指示箇所マイクロ組織写真を図4に示す。左側が低圧鑄造品、右側が、差圧鑄造品である。浸透探傷試験結果において、低圧鑄造品では、ガスポロシティと推察される粒状の黒点が試験片全体に分布し、溶湯注入口に近い中央部には、引け巣と思われる粗大な空隙欠陥が確認された。これに対して差圧鑄造品では、試験片にガスポロシティは観察されなかった。すなわち、ガスポロシティは円錐形状先端の薄肉部と下部の厚肉部で差異が無く、一様に抑制されていた。引けに関しましては、テーパ面でAC4CHにはなかった外引けによる凹みが観察された。これより、低Si合金を用いて鑄造する際、最終凝固部の溶湯補給に加え、鑄壁側製品部の外引けの両方に注意を払う必要があることを明らかにした。

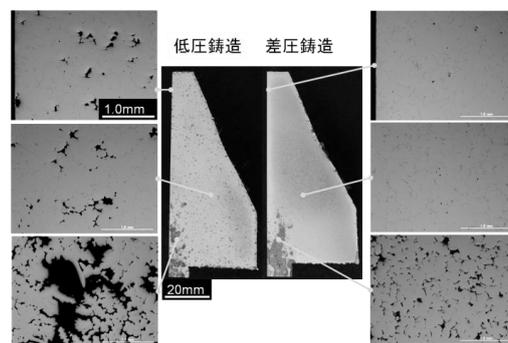


図4 円錐形状試験片の浸透探傷試験結果及びマイクロ組織写真（低Si合金）

低Si合金を用いた差圧鑄造により、図5に示す様な半導体製造装置用真空チャンバを製造した。機械加工面にはアルミニウム合金鑄物特有のザラザラ感がなく、展伸材と同等の光沢が得られた。また、陽極酸化処理を施すことで内壁面からのガス放出が少なく、真空部品として使用されている。

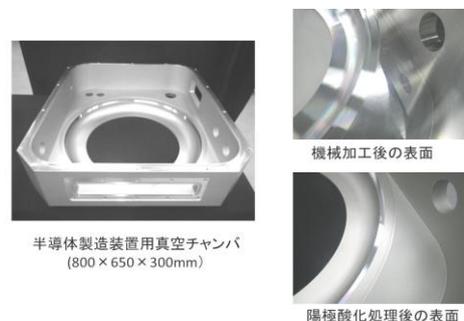


図5 差圧鑄造品の実用例

結言

得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 差圧鑄造はガスポロシティの抑制に非常に有効であり、肉厚に伴う欠陥発生量の差異を生じない。
- (2) 低Si合金において、ガスポロシティ抑制に対してはAC4CH合金と同様に有効であるがマイクロ収縮巣や外引けが顕著となるため指向性凝固となるよう鑄造方案の検討が必要である。
- (3) 低Si合金を用いた差圧鑄造品では、陽極酸化処理を施すことで内壁面からのガス放出が防止された。

これにより、展伸材から機械加工により作製していた真空チャンバの鑄物化に成功した。鑄物化によるコストメリットが大きく、従来の砂型鑄物では微細な欠陥や陽極酸化処理皮膜不良により砂型鑄物の適用が困難であった製品に対して、差圧鑄造の適用は非常に有効であると考えられる。

論文投稿

鑄造工学 2012, vol.84, no.8, p.468-472.