

# 7 ロストワック法による精密鑄造部品の新製品開発

材料開発部 吉 浦 洋 之

## 要 旨

インベスメント鑄造法（ロストワックス法ともいう）は砂型鑄造法の範ちゆうに入るが普通鑄造法と比較し、格段と寸法精度の高い製品をつくることが可能であるため、近年急速に普及した手法である。

そこで今回は階段型試験片を用いて肉厚感度を中心寸法精度を検討した。その結果、球状黒鉛鑄鉄の伸尺範囲である10/1000~15/1000の範囲内に収縮率が納まった。また肉厚差によって冷却速度が異なり、黒鉛の析出及び基地組織にも影響を与えることが解明した。

なお基礎実験を踏えて実態鑄物として、ステンレス製のビーナス型製品を試作した。

## 1. はじめに

ロストワックスによる精密鑄造品は、セラミックスを用いた鑄型で強度が高く、従来の砂型鑄造法とは根本的に異なった手法であり、機械加工の困難な形状及び精度の要求される部品等は、この方法によって製作されている。特に難切削材で複雑形状を集積一体化構造で製造することが可能であるため、機械加工後の節減や多数個部品を一体とした鑄造ができることによりコストダウンが図られている。

精密鑄造品は鑄放しで寸法精度が2/100~5/100に鑄造できるといわれているが、方案から鑄込みまでの管理が十分でないと満足な数値は期待できない。

その中で設計段階での検討が重要である、鑄物の形状、方案の検討、ワックスツリーの組立（脱ロー時を考慮）、更には鑄型材の選定及びその温度と湿度の関係等から膨張、収縮を考慮した金型の設計が重要なポイントとなる。

そのため、膨張、収縮を考慮した材質には、熱伝導性がよく放熱性のよいアルミ材の金型模型を用い、ワックスにも膨張、収縮の少ない材質を選定する必要がある。更に、鑄型強度を左右するコロイダルシリカとスタッコ材、ジルコンフラワー等の選定も重要となってくる。この様な材料は恒温、恒湿の部屋でコントロールする必要があり、膨張、収縮の少ない管理をすることによって高精度な精密鑄造品を製造することが可能となる。

そこで、精密鑄造品の寸法精度について肉厚差による面引け及び変形を主体とした段階型について試作し、検討した。

## 2. 実験方法

### (1) ロストワックス鑄造工程

ロストワックス精密鑄造法は、金型を使用して精度の高いワックス模型を製作するため、機械加工による金型の製作が最も重要な要素となる。

金型に圧入されたワックスは、型縮圧力、射出圧力、ワックス温度及びワックスの材質によって収縮及びワックス肌の影響は大きく異なる。従ってこれ等の諸条件を満足する設定が必要である。更に、鑄型に用いるバインダーの種類、スタッコ材の種類及び粒度等が鑄型の強度に影響を及ぼすため、適正なる成形条件を定めるには、コーティング層の回数、コーティング層の厚さ、乾燥時間及び焼成時間等が必要条件となってくる。（図1）

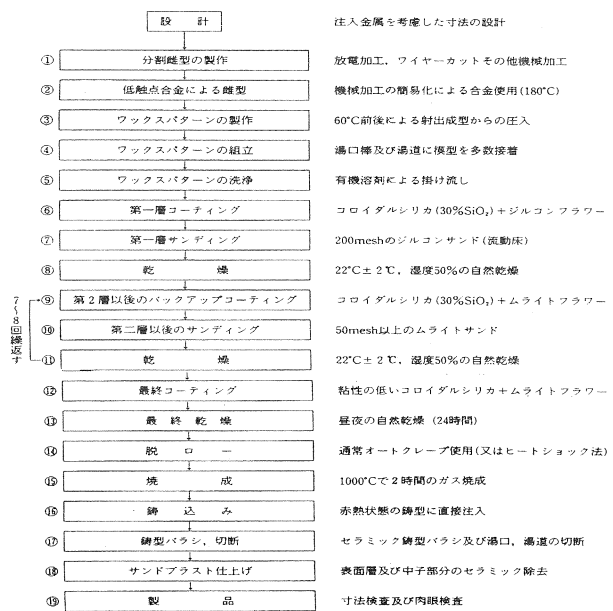


図1 ロストワックス鑄造法のフローチャート及びその用途

ロストワックス法は一般の砂型鑄造法に比較して工程が複雑である反面、精度が高く小物鑄造に適した方法である。図2は段階型試験片の形状について示す。

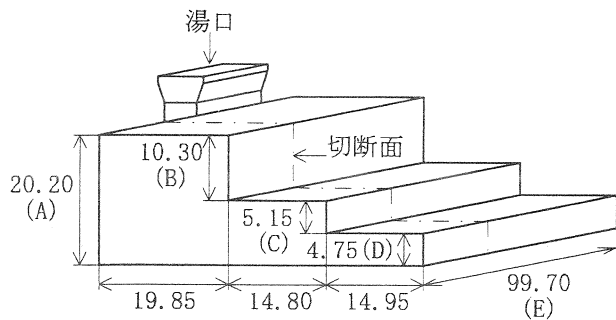


図2 段階型試験片の形状(鑄込方案と顕微鏡撮影切断箇所)

(2) 実験用機器の特徴

ロストワックス法による精密鑄造では、ワックス模型をいかに精度よく造るかが最も大きな要因であるため、高性能な射出成形機を必要とし、また同時に金型の精度

が最も大きな要因となる。更に模型のコーティングには、ロータリースラリートンクにて模型の表面にコーティングを施し、流動床によってセラミック材をサンディングし一定の厚みを得る。サンディングには、細粒、粗粒の二種類を用いた。焼成時に於ける膨張、収縮を最小にするため、細粒から粗粒へ順次積層する必要があり、サンディングの方法としてはブロワーで粒子が浮上する流動床を用いた。

鑄型の焼成には、昇温速度が速く、酸化性雰囲気であることが条件であるため、プロパンガスを燃料とするガス焼成炉を用い、約30分で1000℃まで昇温する構造を用いた。溶解炉も1時間以内で高速溶解の出来るサイリスタ式高周波溶解炉を用いた。鑄造後の製品清浄にはサンドブラストを用いて酸化物の除去、セラミックの除去を行える構造の機器を使用した。機器の性能、特徴については表1に示す。

表1 実験に使用した機器及びその用途

| 使用機器名                        | 機能                                                        | 用途                                                                                       |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ワックス射出成型機<br>(カートリッジタイプ)     | 型締圧 5 ton<br>射出圧力 70kg/cm <sup>2</sup>                    | 雌型金型中へのワックス注入<br>ワックス注入温度 58~61℃                                                         |
| ロータリースラリートンク<br>(タンク回転機)     | 500φ×600H<br>定速回転(30回/分)                                  | ワックス表面にスラリーをコーティング<br>第一層 ザーンカップ #5 30秒<br>第二層 ザーンカップ #5 15秒                             |
| 流動床<br>コンプレッサー<br>及び<br>ブロワー | 500φ×600H<br>9 cm <sup>3</sup> /min<br>通気機構はセラミックス        | スラリーコーティングした上からセラミックスを数回振りかけ7~8mmの積層<br>第一層 150~200meshのジルコンサンド<br>第二層 30~50meshのムライトサンド |
| 焼成炉<br>(LPGガス)               | 600H×500W×600L<br>0~1000℃/20min                           | 脱ロー及び鑄型焼成(酸性雰囲気)<br>焼成時間 2時間                                                             |
| 高周波溶解炉<br>(サイリスタ式)           | 30KW/hの3KH<br>鉄換算30kgの溶解                                  | 鑄鉄, ステンレス, 銅等を溶解<br>(1バッチ約1時間溶解)                                                         |
| サンドブラスト<br>(定置式)             | 5 m <sup>3</sup> /min, 250mmAg<br>噴射ノズル φ6<br>(エアーノズル φ3) | セラミックス鑄型の除去(主に中子)及び表面の清浄                                                                 |

(3) ワックス及び鑄型の成形条件

ワックスの成形には、射出温度、射出圧力、加圧時間等を考慮したワックス成形条件を設定する必要があり、特に冷却時間の適正が模型の収縮に影響を及ぼすため、表2のように7~10秒に設定した。

鑄型の成形には、使用するバインダーとしてSiO<sub>2</sub>含有量が30%のコロイド状を使用し、粒子径も10~20

μmの細かい微粒であることが必要条件である。このバインダー材にスラリー材として1~2層にはジルコン系を、3層以降にはムライト系を混合して、初層及び積層用のバインダー材とした。またスタッコ材に用いられるサンドの粒度分布及び特性値として、ジルコン系では40 mesh以上を用い、ムライト系では40 mesh以下を用いて鑄型を積層し、一定の厚みとした。(表2)

表2 ワックス成型条件

| 条 件 | 射出圧力<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 型締圧力<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 加圧時間<br>(秒) | 冷却時間<br>(秒) | 射出温度<br>(°C) | 備 考 |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|-----|
| 測定値 | 35                            | 50                            | 10          | 7~10        | 59~60        |     |

ワックスの表面にはセラミックスのスラリーが粘着し易い様、界面活性剤を微量添加した。尚1~2層用の粘性として、ザーンカップ粘度計で30秒前後、3層以降は15秒前後になるよう調整した。

更に積層工程中、一層ごとに恒温、高湿の部屋で自然乾燥することが鑄型強度の面から重要であり、各層毎に3時間と最終工程では一昼夜以上の乾燥を行った。

鑄型の最終工程として、鑄型を1000°Cで3時間以上焼成すると同時に酸化性雰囲気にして、鑄型内部が完全に焼成し、鑄型面をポーラスにすることが重要な工程である。

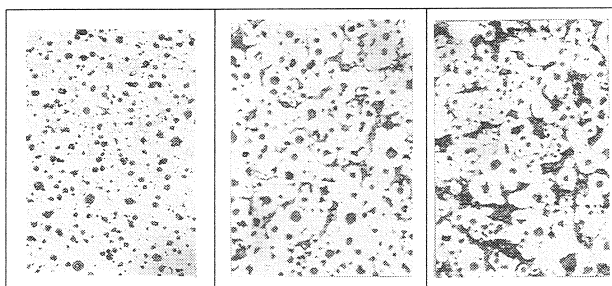
3. 実験結果及び考察

(1) 化学分析

球状黒鉛鑄鉄 (FCD550) を溶解し、JISによる鑄型に鑄込んでチル試験片から分析試料を採取した結果、C:3.8%、Si:2.71%、Mn:0.45%、P:0.031%、S:0.02%、であった。

一般的なFCD550相当の分析値である。

(2) 顕微鏡組織



①肉厚D部(15mm×5mm) ②肉厚C部(15mm×10mm) ③肉厚B部(20mm×20mm)

写真1 階段型試験片の顕微鏡組織 (×100)

写真1は段階型試験片の①薄肉部のD部(15mm×5mm)では、黒鉛形状も小粒で粒数も多く、パーライトはほとんど析出していないが②中間肉部のC部(15mm×10mm)では黒鉛も大きく、基地にパーライトが析出している。また③肉厚部のB部(20mm×20mm)では、ブルースアイ組織となり、パーライトも多く析出している。このことから肉厚が厚くなるほど黒鉛も大きく、基

地組織のパーライトも粗大化している。

この理由として冷却速度が肉厚によって異なり、薄肉ほど凝固速度が速く、厚肉ほど凝固速度も遅いため、黒鉛の成長に伴って基地組織にも影響されたものと思われる。

(3) 段階型試験片の肉厚感度

金型に対するWAX・FCD材の収縮

①段階型試験片の長手方向に対する収縮

図3は金型にワックスを注入し模型を作製した時の収縮率とワックスにセラミックスをコーティングし、脱ろう後球状黒鉛鑄鉄を注入し、冷却後取り出し段階型試験片の長手方向から測定した結果を示したものである。

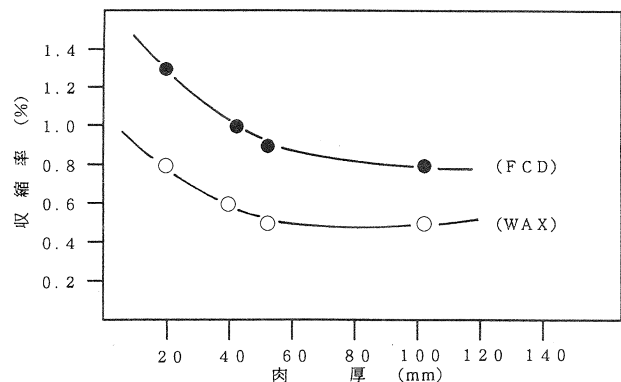


図3 金型に対するWAX・FCDの収縮 (段階型試験片の長手方向)

肉厚20mmから50mm付近までは収縮率も直線的に減少するが50mm以上になるとほとんど減少せず、横ばいとなっている。ワックスと球状黒鉛鑄鉄の20mm肉厚では、球状黒鉛鑄鉄はワックスに対し、38%の収縮差を生じているが、肉厚100mmでは収縮差も若干少なくなっている。

薄肉部から厚肉部になるに従って収縮率が異なる理由として、薄肉部ほど冷却速度が速く黒鉛の成長も少なく基地組織も緻密である。一方肉厚部では黒鉛が大きく成長し、膨張傾向にあるため収縮率も少ないものと考えられる。

一般的に球状黒鉛鑄鉄の収縮は10/1000~15/1000であるため、JIS精級の範囲に入ることから非常に少ない

収縮率である。

②段階型試験片の厚み方向に対する収縮

図4は段階型試験片の厚み方向に対する収縮率である。長手方向の図とは若干異なる点として、5mmから20mmと厚くなるに従ってワックスの収縮率と球状黒鉛鑄鉄の収縮率による差は広がる傾向にある。

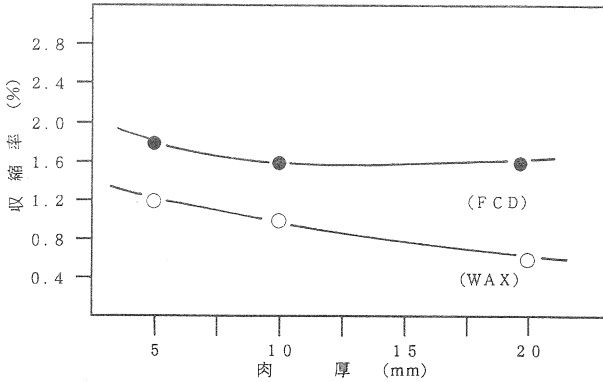
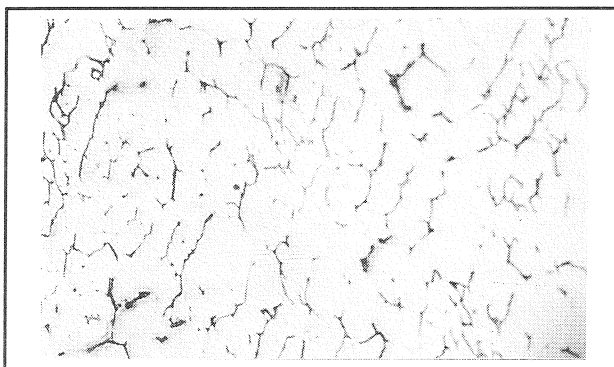


図4 金型に対するWAX・FCDの収縮 (段階型試験片の厚み方向)

20mmの場所を図3と比較すると収縮率は同一傾向にある。しかし薄肉部における収縮率が小さくなっているのは測定による誤差と考えられるが収縮率からはJISの精級の範囲内に入るものと考えられる。

(4) 実態鑄物 (ビーナス型鑄物)

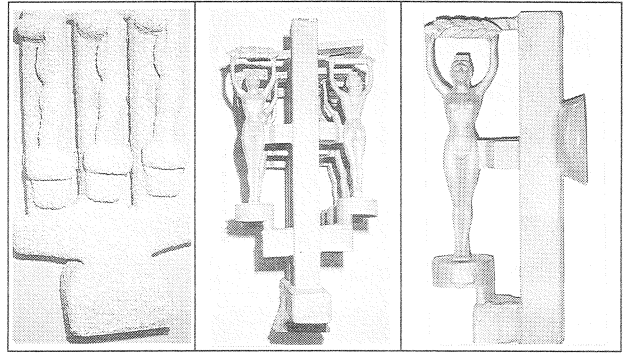
写真2は実態鑄物のSUS304系材料の顕微鏡組織である。



SUS304 (×100)

写真2 実態鑄物の顕微鏡組織

写真3は基礎実験の結果を踏えてセラミックス鑄型を作製し、多数個取り及び1個取りについてSUS304系を鑄込みビーナス型の製品を試作した。



①セラミックス鑄型 ②多数個取り製品 ③1個型製品

写真3 実態鑄物 (セラミックス鑄型と各方案)

写真1は脱ろう後のセラミックス鑄型 (多数個取り) である。

写真2は多数個取り方案によるビーナス像の製品である。形状からヒケ防止及びワックスの変形防止も考慮して上腕部、腰部、足部の3ヵ所から堰を設けて鑄造した。

なお、ビーナス像の頭部及び腕部を下向きにし、足部を上面にして左右に各3体の計6体を設置し、ノロかみ、アカの混入を防止した方案で鑄造した。

その結果、ヒケの発生もなく健全な鑄物を製作することができた。

写真③は1個取り方案である。多数個取りと同様に3ヵ所に堰を設置し、垂平方向から鑄込んだ状況である。製品重量は285gであるが湯口、湯道、堰を含め1580gであり、歩留りは約20%であった。

鑄物製品としては鑄肌の状況も良好でヒケも認められず寸法精度も精級であることから、健全な鑄物を製作することができた。

4. まとめ

(1) 顕微鏡組織観察

球状黒鉛鑄鉄 (FCD550相当) 製段階型試験片による顕微鏡組織写真①は15mm×5mmの薄肉部であるために冷却速度が速く、黒鉛形状が細かくて粒数も多い。②から③へと肉厚が厚くなるに従ってパーライトが多く析出し、黒鉛粒数も少なくなり粒状も大きくなっているのは冷却速度に起因する。

(2) 段階型試験片の肉厚感度

①長手方向からみた収縮率

ワックスと球状黒鉛鑄鉄との比較では、薄肉部ほど収縮率が大きく厚肉部ではその差が小さくなっている。ま

た20mmから50mmまでは直線的に収縮率が低下し、その後は平行状態となる。J I Sの規定からは精級の上位となり寸法精度が高いのは鑄型強度が高いことと、高温鑄型（1000℃）であることから押湯の効果が高いことが要因と考えられる。

②厚み方向からみた収縮率

階段型試験片の5mmから20mmまでの厚み方向からみた収縮率では、長さ方向とは異なりワックスとF C Dとの差は開く方向にある。またF C Dは10mm以降の厚みは変化しないのに対し、W A Xでは収縮率が下っているのは測定誤差も考えられるが、厚み方向に対する鑄型の拘束にも起因すると考えられる。

(3) 実態鑄物への応用

多数個取りのツリーによるステンレス製ビーナス製品では頭部及び腕の上部を下向きに、足部を上向きにし湯道への堰は足部、腰部、腕部のそれぞれ3ヶ所にセットして鑄込む方案が良好である。

又、1ヶ取りでは、多数個取りと同様な方案でも良いが横込め方案でも良好な結果が得られた。

参考文献

- 1) 吉浦 洋之：昭和62年度、大分県工業試験場 研究報告
- 2) 錦織 徳郎：日本鑄物協会精密鑄造研究部会編