

樹脂模型を用いたセラミックス鑄型への検討 (第1報)

- 光造形システムによる複雑形状部品の一品生産に関する研究 -

吉浦洋之・高橋芳朗*
機械電子部・*材料開発部

Fabrication of Ceramic Molds Using Stereolithography Resin Model (Part 1) - Application of Laser Stereolithography System to Mono Production of Complex-shape Part -

Hiroyuki YOSHIURA, Yoshiro TAKAHASHI*
Mechanics & Electronics Division, *Material Development Division

要 旨

光造形法により作成した階段型樹脂模型を用いたセラミックス鑄型の製造方法の検討を行った。その結果セラミックス焼成時の昇温過程に於いて、樹脂の燃焼により多量に発生するガスの圧力で鑄型が破壊されるのを防ぐためには、従来型のロストワックス法よりは厚手のコーティング (今回は1層) と中間層での針金による鑄型の拘束が有効である事が判明した。また同時に鑄型破壊を防ぐ焼成方法として、鑄型内に送風しながら低速昇温し併せてガス圧を低下させる事も重要である。今回焼成実験に用いた樹脂模型は未だ目標の厚みより厚く、従ってガス発生量も多く、ガス圧の影響等が大きいものと思われるが、樹脂を用いた消失模型によるセラミックス鑄型に関しては、適正なコーティング及び昇温方法にて製造可能である。

1. はじめに

我が国の基幹産業である鑄造業界も産業界の変革から精密鑄造部品が増加しつつあり、同時に自動車、自転車、マシン及び一般産業機械分野では光造形法により作成した樹脂模型を用いた精密鑄造品の製造方法が注目を集めている。この樹脂模型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への適用が検討されている。特に難切削材で複雑形状品を集積一体化構造で製造する事が可能であるため、機械加工数の削減や多数個部品を一体化した鑄造が出来る事により、コストダウンが図られる鑄造法である。

ロストワックス法に代表される精密鑄造品は、鑄放しで寸法精度が $20\sim 30\mu\text{m}$ に鑄造出来ると言われていたが、方案から鑄込みまで管理が十分でないと満足な数値は期待出来ない。特に樹脂模型を用いた場合はその形状、更には鑄型材等が精度に大きく影響を及ぼすものと考えられる。そこで、精密鑄造品の肉厚差による面引け及び変形を主体とした階段型を用いて樹脂模型の影響及び強度の安定した鑄型の製造について検討を行ったので以下に報告する。

2. 実験方法

2.1 鑄型の形状及び鑄込み方案

樹脂模型を用いた鑄造法では、従来型のロストワックス法と同様にセラミックスを多層コーティングし、表面

から加熱し、樹脂模型を消失する事によって空洞化し鑄型を製造する。また樹脂を用いる場合は、樹脂消失時に発生するガスの影響を考慮した模型形状にしなければならない。Fig. 1に樹脂模型形状と鑄込み方案を示す。

樹脂模型の形状としては、湯口、湯道、堰及び除滓等の方案についても製品に連結し、一体型とした。その中で湯口方案では、溶湯を注入した時の溶湯の乱流を考慮し、除滓方案としては製品の高さより高くする事によって鉍滓が製品中に流入しない高さを決定している。更に製品と湯道部分を切断する間隔を設定した。

製品寸法では、最小肉厚 5mm 、2段目が 5mm 、3段目が 10mm の合計 20mm の肉厚とし、巾 50mm 、長さ 100mm と決定したのは鑄型へ溶金を注湯したのち各段から切断し、物理試験、機械試験等に供するためであり、各肉厚感度による評価を求めるためである。その中で最先端の 5mm 肉厚部は、樹脂模型を焼成する工程において (樹脂模型として中空になり難い) 鑄型を破壊する恐れがあるため、厚くセラミックスをコーティングする事及び樹脂模型消失時に発生するガス圧によって、鑄型内寸法がどのように変化するかを評価するために決定した。

2.2 セラミックスの物性及びコーティング法について

模型表面にコーティングする泥將セラミックスは、スラリー材として用いるジルコンフロー (Table 2) にコロイダルシリカ (Table 1) を $3:1\sim 4:1$ (重量比) に添加し、混練したものである。ジルコンフローは耐火度が高く、熱膨張が低いため本実験用として適し、また粒度

(#350)の細かい材料を用いることにより、模型の表面を正確に転写する事が出来る。Table 3にはこの泥將セラミックスの調合及び適正な粘度について示す。

ところで、ジルコンの粉末にコロイダルシリカを添加し、混練して安定化したのち、ぬれ性の改善を図るためには、一般的には1~2層まではジルコン系のフラワーを用い、3層以降はムライトフラワー及び熔融シリカを用いるが、本実験ではジルコン系のみを用いた。

次にTable 4に泥將セラミックスにスタッコ材をサンディングする工程を示す。1~2層は細目のジルコンサンドを用い、3層~6層までは若干粗いムライトサンドを用い、更にそれ以上のコーティングは粗目のムライトサンドをスタッコ材として用いた。模型表面に近いほど細かいスタッコ材を用い外層面になるに従って、粗目のスタッコ材で積層を行った。Fig. 2にセラミックスのコーティングフローを示す。

Table 1 精密鑄造用バインダー(スノーテックス30)の物性値

SiO ₂ (%)	Na ₂ O(%)	水素イオン(PH)	粒径(μm)
30~31	0.6以下	9.5~10.5	10~20

Table 2 ジルコンフラワーの化学成分(wt%)

ZrO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	PH
66.16	32.58	0.068	0.132	0.30	6.9

Table 3 スラリー調整割合及び適正粘度

スノーテックス30	100
界面活性剤(ヒクターウェット)	0.005~0.01
ジルコンフラワー(#350)	330~380
粘度(サーンカップ°粘度#5)	30~40秒

(注) 添加調整 2~3 時間後から使用

Table 4 サンディング方法

積層数	スタッコ材	乾燥時間
1~2	ジルコンサンド°細目#70(0.2~0.8mm)	3時間
3~6	ムライトサンド°細目 #40(0.7~1.2mm)	2時間
7~11	ムライトサンド°粗目 #20(1.0~1.5mm)	2時間

2.3 鑄型の焼成方法について

階段型試験片をセラミックコーティングし、乾燥後箱形電気炉にて昇温、焼成を実施した。

3. 実験結果及び考察

3.1 鑄型強度の確認

第一回目の焼成実験として、階段型試験片(3試料)に従来のロストワックス法と同等の8回のセラミックコーティングを行い、乾燥後焼成実験を実施した。Fig. 3に昇温パターンと焼成実験結果を示す。No1の実験では、電気炉内で室温から徐々に加熱し、2時間程度で350℃まで昇温した時点で鑄型が完全に破壊した。

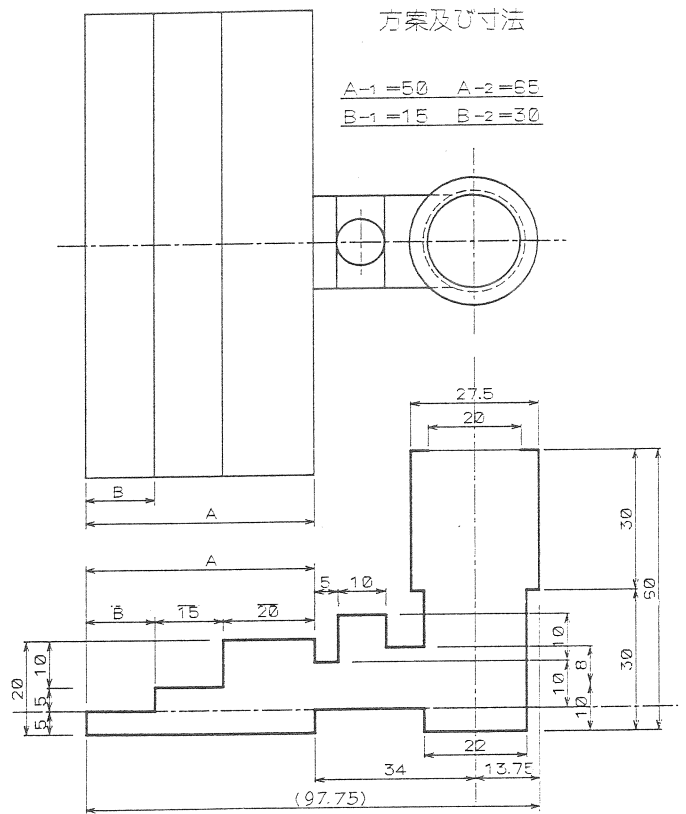


Fig. 1 樹脂模型形状と鑄込み方案

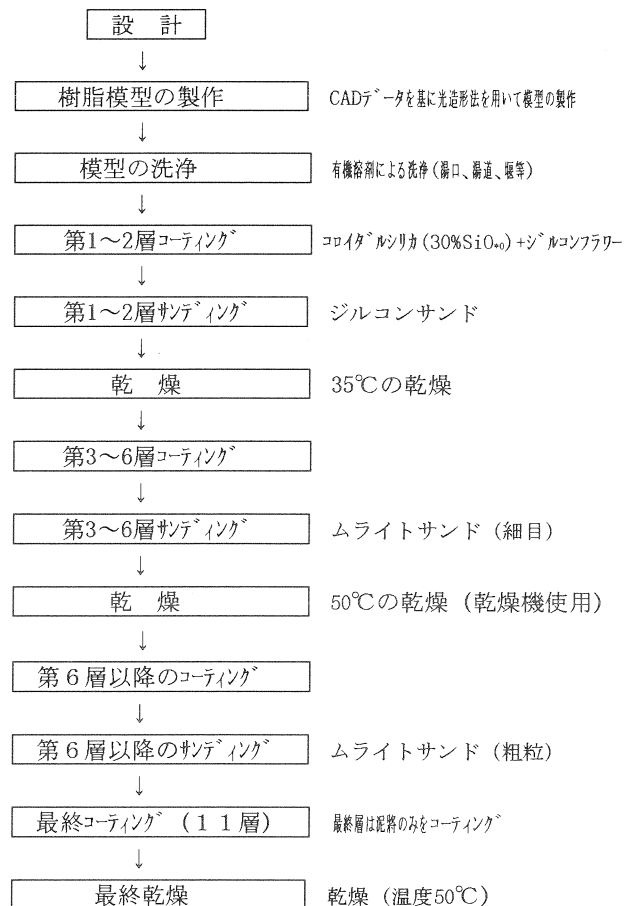


Fig. 2 セラミックコーティングフロー

次にNo2の焼成実験として、電気炉内を350℃に昇温した時点で鑄型を装入した結果、鑄型は完全に破壊した。更にNo3の実験では、電気炉内を1000℃に昇温した時点で鑄型を装入した結果、これも完全破壊した。以上の結果から、鑄型内に発生する樹脂の燃焼に伴うガス化によって鑄型内（鑄型の鑄込口は開放）の圧力が高くなり、鑄型が破壊したものと考えられる。更にNo1, No2の鑄型共300～350℃付近の温度で破壊を生じる事、また1000℃に直接装入したNo3の鑄型でも、350℃付近で破壊を起こしている事から、300～350℃の温度領域での温度対策と焼成方法の工夫が必要である。

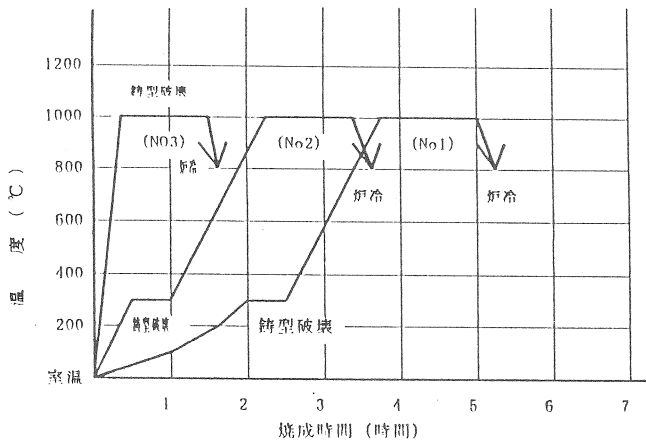


Fig. 3 第一回鑄型焼成結果 (通常の箱型電気炉内昇温)

3.2 鑄型の強化と焼成結果

第一回目の実験結果を踏まえて鑄型の強度を上げる事と、鑄型焼成時の工夫から鑄型内に送風しながら昇温する焼成実験を行った。

3.2.1 鑄型の強化策

通常のロストワックス法での8回コーティングでは樹脂模型消失時のガス圧に耐えきれず破壊に至った。そこで鑄型の強度向上対策として、コーティング回数を11回とした。更に7回コーティングした時点で0.4mmの径線針金を巻締し、その上からセラミックスコーティングを実施し鑄型を作成した。Fig. 4に針金による鑄型の補強状態を示す。

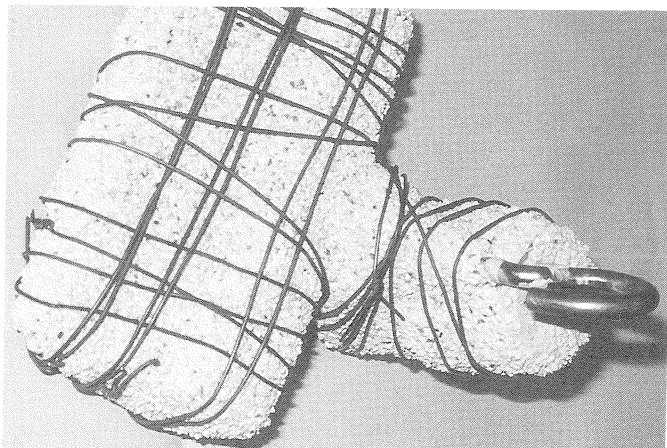


Fig. 4 7回コーティング後の針金による鑄型の補強

3.2.2 昇温方法の改善

第一回の実験結果ではいずれの昇温方法でも300℃～350℃付近で鑄型が破壊した事を踏まえ、300℃～400℃の温度領域を50℃/hrで緩やかに昇温し、急激な昇温による鑄型内での燃焼ガス圧力上昇の防止を図った。更に発生したガスの圧力低下も目的として、鑄型内に送風しながら昇温を行った。具体的には鑄型の湯口部分に直径6mmの銅パイプを挿入し、電気炉外から小型コンプレッサーを用いて空気を鑄型内に送風しながら炉内を昇温した。(Fig. 5)

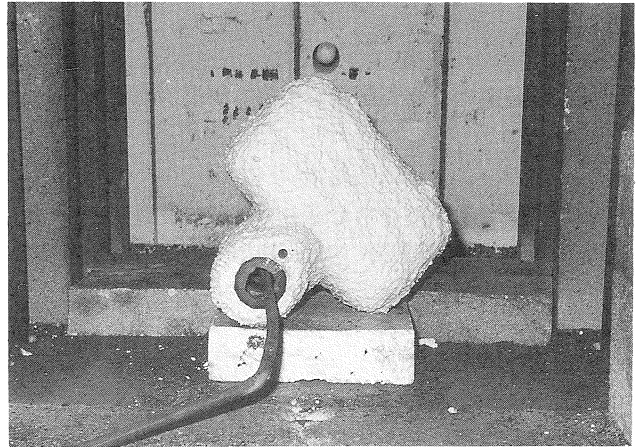


Fig. 5 鑄型内に送風しながら昇温

3.2.3 焼成結果

Fig. 6に昇温パターンと焼成実験結果を示す。鑄型を強化し且つ送風しながらの昇温では、鑄型は破壊する事なく、外層部分に小さなクラックを生じた程度で焼成する事が出来た。また階段型模型の内面には異常は見当たらなかった。(Fig. 7) 更に昇温過程では350℃付近で白煙が発生し、昇温するに従って黒煙が発生し、500℃付近で炎上した、これは特に300℃～500℃付近の樹脂の燃焼温度域では酸素の供給を必要とする事から、鑄型に送風しながらの昇温による助燃効果と考えられる。

本実験の結果、樹脂模型を用いた鑄型の焼成は鑄型の強度向上及び焼成方法の工夫により可能であるが、当焼成法では400℃までの昇温時間に4時間を要した事から、今後短時間焼成でも破壊を生じない適正時間を探索していきたい。

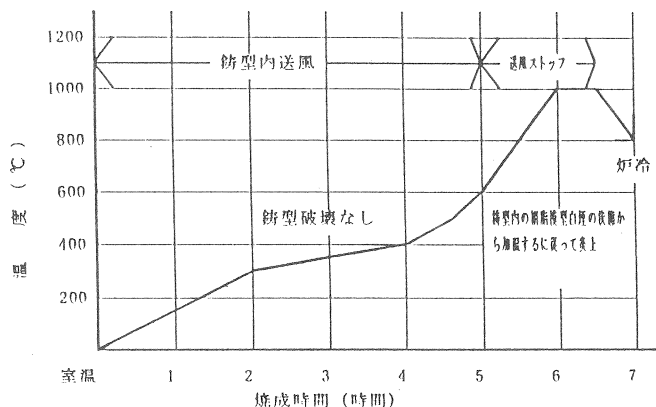


Fig. 6 第二回鑄型焼成結果 (鑄型内送風しながら昇温)

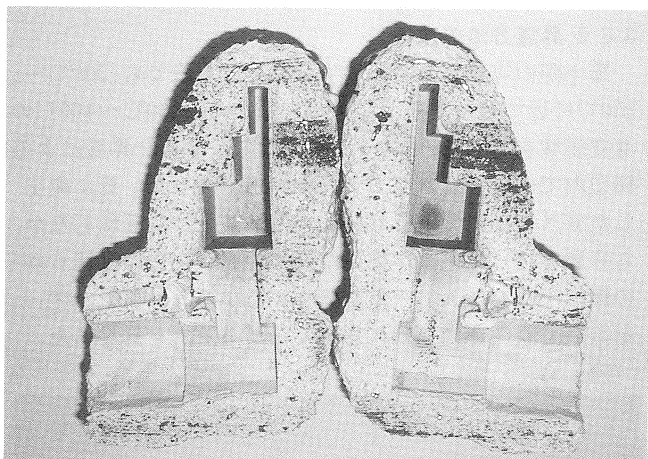


Fig. 7 鋳型焼成後の階段型空洞の状況 (切断後)

4. おわりに

樹脂模型を用いたセラミックス鋳型の製造に於いては、樹脂が350℃～450℃でガス化し鋳型内の圧力が上昇するため、一般的なロストワックス法と同等のセラミックスコーティング方法では、鋳型の強度がその圧力に耐えきれず破壊に至ってしまう。従って樹脂模型を用いる場合は、鋳型の作成及びその焼成方法にガス圧による破壊対策が必要となる。そこで先ず鋳型の強度を上げる対策として、①11回のセラミックスコーティング、②7回コーティング後に針金を巻締めし鋳型の補強を行った。更に焼成方法の工夫としては、第一回目の焼成実験結果から、150℃/時間での急激な昇温では鋳型内のガス圧上昇を引き起こす事が考えられるため、その緩和策として50℃/時間の低速昇温と銅パイプを用いて鋳型内に送風しながら昇温する事とした。以上の方法により第二回目の焼成実験を実施した結果、鋳型の破壊は起こらず、また空洞部も正常に焼成する事が出来た。これにより針金とセラミックスの厚みを厚くする事での鋳型の強度向上効果と、送風の効果が大きい事が確認できた。特に送風の効果としては、①鋳型内部が徐々に昇温、②鋳型内に発生するガスを空気により型外へ放出、③樹脂模型が炎上するまでの鋳型内部と鋳型表面との温度差等が考えられる。

今回樹脂模型を用いたセラミックス鋳型の製造方案に目処を得る事が出来た。しかし今回の鋳型のコーティング方法及び焼成方法は生産性の面からは問題もあるため、最適化については今後の研究課題とする。また本実験にて用いた光造形システムにより製作した樹脂模型は、目標とする厚みより厚いため、ガス量等の影響が大きく出たものと考えられ、今後光造形システムによる模型化に於ける最適化に関しても研究していく。併せて今後実湯の鋳込みによる製品作成とその評価も実施する。

文献

- 1) 吉浦洋之：昭和62年度大分県工業試験場研究報告「ロストワックス法による精密鋳造品の精度に関する研究」