

銀合金の鑄造欠陥の低減に関する研究

林善永・宮川和博・小松利安・有泉直子・神藤典一・小玉実^{*1}

Research on Reduction of Casting Defects of Silver Alloy

Zenei HAYASHI, Kazuhiro MIYAGAWA, Toshiyasu KOMATSU, Naoko ARIIZUMI,
Norikazu SHINDO and Minoru KODAMA^{*1}

要 約

銀合金鑄造品の鑄造欠陥を低減させることを目的にセラミックシェルモールド法の適用を検討したところ、傾胴式ミキサーを用いることでスラリーの安定的な攪拌が行える事が分かり、また、ソリッドモールド法では湯道切断部に引け巣が生じてしまった製品形状において、セラミックシェルモールド法では引け巣が生じなかったことを確認し、セラミックシェルモールド法が引け巣の低減に効果がある可能性が示唆された。

1. 緒 言

近年、宝飾業界では地金価格の高騰や消費者の節約志向により、銀合金の需要が増加している。銀合金鑄造品は金やプラチナと比べて単価が安いので短時間で多くの製品を製造する必要があるが、鑄造品は引け巣等の鑄造欠陥が発生しやすく、修正に時間がかかり、生産性の向上が容易ではない。さらに近年、検品が非常に厳しくなっている。銀合金鑄造品に関しても従来よりも高い品質が求められている。このため、引け巣等の鑄造欠陥の低減は宝飾業界における往年の課題であるが、特に銀合金については、現場のニーズが従来よりも高まっている。

精密鑄造には種々の手法が実用に供されており¹⁾、本県の代表的地場産業である貴金属の装身具製品は、小さく複雑な形状であり、多品種少量生産であることから、主にロストワックス精密鑄造により製造されている²⁾。

ロストワックス精密鑄造においては、現在、工業製品分野ではセラミックシェルモールド法が主に用いられている³⁾。しかしこの方法は手間がかかることなどから、装身具の製造にはソリッドモールド法が用いられている⁴⁾。

ところで、引け巣を発生させないためには指向性凝固を行う必要がある⁵⁾が、セラミックシェルモールド法はソリッドモールド法と比較し、鑄込み金属の凝固速度を部分的にコントロールすることができるという利点がある⁶⁾ため、セラミックシェルモールド法を貴金属装身具に適用することで、指向性凝固が行われやすくなり、引け巣が改善される可能性がある。

しかし、貴金属装身具におけるセラミックシェルモールド法の検討は十分になされていない。そこで本研究では、貴金属装身具における引け巣の低減を目的として、セラミックシェルモールド法の適用を検討した。

2. 実験方法

2-1 スラリーの攪拌

セラミックシェルモールド法では、鑄型の材料となるスラリーを十分に攪拌する必要がある。そこで、本研究におけるスラリーの攪拌方法を決定するために、2種類の攪拌方法についてそれぞれの攪拌時間と粘度の関係を調べた。

まず、コロイダルシリカ（日産化学工業製スノーテックス 30）とイオン交換水を体積比 2 : 1 の割合で混合して作製したバインダーにジルコンフラワー #350（岩谷産業製プレミアム #350）を添加し、攪拌を行った。濃度は、バインダー 1 L に対しジルコンフラワー 4.5 kg とした。

攪拌方法は、プロペラ式と傾胴式の 2 種類とし、プロペラ式の攪拌機は SHIANGTAI MACHINERY INDUSTRY 社製 DC-4E を、傾胴式の攪拌機はアルミス製 AMZ-25Y（家庭用コンクリートミキサー）を使用した。傾胴式ミキサーについては、開口部をラップフィルムで密閉した。回転数は、プロペラ式は 275 rpm、傾胴式は 30 rpm とした。

粘度の測定には、ザーンカップ粘度計 No.4 を用いた。攪拌初期は粘度が高くザーンカップで測定できないため、十分攪拌できた時点から測定を開始した。

*1 山梨県水晶宝飾協同組合

2-2 ソリッドモールド法とセラミックシェルモールド法との比較

引け巢の発生状況について、ソリッドモールド法とセラミックシェルモールド法での比較を行った。本研究で用いるろう型の形状は図1に示すとおりとした。

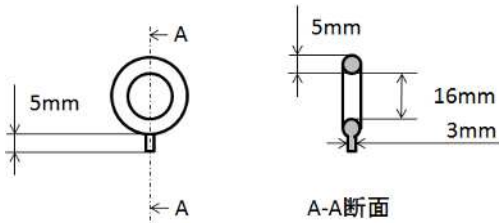


図1 ろう型形状

ソリッドモールド法では以下の方法で鑄型を作製した。まず、ワックス（フリーマン社製ターコイズ）をワックス成型機（安井インターテック製真空ワックスインジェクター）でゴム型に射出してろう型を作製し、それをゴムベースに取り付けてワックスツリーを作製し、ゴムベースにフラスコをはめた。それから、重量比が 100 : 40 となるように石膏系埋没材（KERR 社製スーパーベスト 20）と水を混合し、混練機で3分間攪拌して埋没材スラリーを作製し、それを 20 秒間一次脱泡してからフラスコ内に流し込んだ後、90 秒間二次脱泡し、2 時間乾燥させ、生鑄型を作製した。その後、250℃で脱ろうし、750℃で焼成を行って鑄型を作製した。温度曲線を図2に示す。

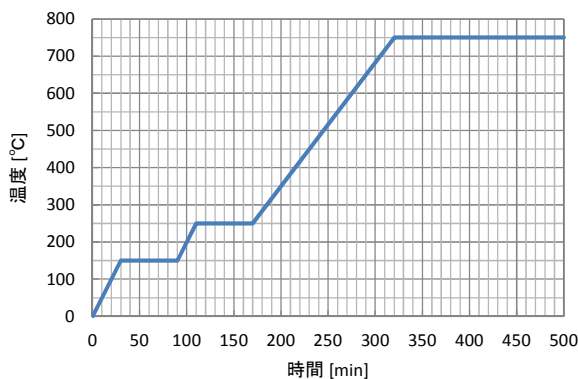


図2 脱ろう・焼成温度曲線

セラミックシェルモールド法では以下の方法で鑄型を作製した。まず、ワックスをワックス成型機でゴム型に射出してろう型を作製し、ゴムベースに取り付けてワックスツリーを作製した。そのワックスツリーに界面活性剤（GC 製ジュールミスト）を散布した後、スラリーへディッピングした。その後速やかに、耐火物を振りかけて付着させることでスタックイングを行い、2 時間乾燥

させた。その後、スラリーへのディッピングと耐火物のスタックイングと乾燥の工程を 5 回繰り返して、計 6 層のコーティングを施した。

その後、ゴムベースから生鑄型を取り外して 1000℃のマッフル炉の中に 1 時間入れて脱ろうと焼成を行い、その後マッフル炉から取り出して空冷した後、ワックスを用いて再びゴムベースに取り付けた。その後、ゴムベースにフラスコを取り付けて、重量比が 100 : 40 となるように石膏系埋没材と水を混合し、混練機で 3 分間攪拌して埋没材スラリーを作製し、それを 20 秒間一次脱泡してからフラスコ内の湯口カップ部まで流し込み、2 時間乾燥させた後、750℃で石膏系埋没材を焼成して鑄型を作製した。鑄型に使用した材料を表1に示す。なお、コロイダルシリカは体積比 2:1 となるようにイオン交換水で希釈して使用した。

表1 鑄型材料

第1層用 スラリー	フィラー	#350 ジルコンフラワー
	バインダー	コロイダルシリカ
第2層以降用 スラリー	フィラー	#200 ジルコンフラワー
	バインダー	コロイダルシリカ
耐火物	第1~2層	ジルコンサンド
	第3~4層	ムライトサンド (0.3~0.7 mm)
	第5~6層	ムライトサンド (0.7~1.0 mm)

そして、それぞれの鑄型について吸引加圧鑄造機（安井インターテック製 KT15F）を用いて表2の条件で銀銅合金 SV925 の鑄造を行った。その後、湯道部を切断し、切断部を研磨して、引け巢の有無を確認した。引け巢の評価は、ポロシティ面積率を用いて行った。ポロシティ面積率は、ポロシティ面積率 [%] = (ポロシティの面積) / (湯道断面面積) × 100 で算出した。

表2 鑄造条件

鑄型温度	700 °C
鑄造温度	980 °C
鑄造圧力	3 kgf/cm ²
置換ガス	アルゴン
冷却時間	5 min

2-3 鋳型作製方法の検討

セラミックシェルモールド法で作製した鋳型はソリッドモールド法で作製した鋳型と比較して鋳型が薄いため強度は劣る。そのため、脱ろう時のろうの膨張によって鋳型に亀裂が生じることがある。そこで、脱ろう後の鋳型を切断し、断面を観察することで、鋳型作製条件と亀裂発生との関係を調べた。

2-4 亀裂の影響

脱ろう時の鋳型に亀裂が入っていると、鋳造時にバリが生じたり割れたりする恐れがある。そこで、亀裂が生じていると思われる鋳型を用いて鋳造を行い、欠陥の発生状況について調べた。鋳造条件は、表2の条件と同様とした。

3. 結果および考察

3-1 スラリーの攪拌

プロペラ式と傾胴式において攪拌時間と粘度の関係を調べたところ、図3に示すように、プロペラ式では粘度が安定していないのに対し、傾胴式では粘度が安定した。

プロペラ式では、容器の隅部にフィラーが堆積しており、良好な攪拌ができていない事が分かった。一方、傾胴式では、フィラーの堆積がなかった。

プロペラ式では乾燥による水分の蒸発やフィラーの堆積により粘度が安定しないのに対し、傾胴式では、十分な攪拌ができており、また、開口部にラップフィルムを取り付けることで水分の蒸発を抑えることができるため、粘度が安定することが推察された。よって、本研究では傾胴式でスラリーを攪拌することに決定した。

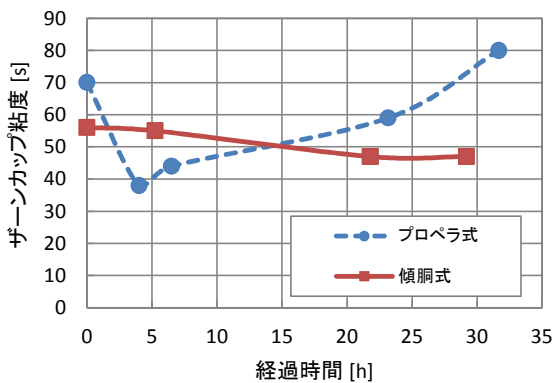


図3 スラリー粘度の安定性

3-2 ソリッドモールド法とセラミックシェルモールド法との比較

ソリッドモールド法により鋳造したリングとセラミックシェルモールド法により鋳造したリングの引け巣の発生状況について比較した結果を表3に示す。

表3 ソリッドモールド法との比較

方式	ソリッドモールド法	セラミックシェルモールド法
層数	なし	6層
イメージ図		
鋳型材料	埋没材: スーパーベスト20	フィラー: ジルコンフラワー バインダー: コロイダルシリカ 耐火物: ジルコンサンド ムライトサンド
鋳型温度	700	
鋳造温度	980	
写真		
ポロシティ面積率	2.15%	0.04%

ソリッドモールド法では、湯道切断部に大きさ約 500 μm 、ポロシティ面積率 2.15%の引け巣が生じていたのに対し、セラミックシェルモールド法では引け巣が生じていなかった。

引け巣を生じさせないためには指向性凝固が必要であり、湯道部は製品部よりも後に凝固しなければならないが、ソリッドモールド法では、細い湯道部が先に凝固してしまったために引け巣が生じたと考えられる。それに対し、セラミックシェルモールド法では製品部先端部の鋳型が薄いため製品部先端から急冷されて、湯道部が凝固する前に製品部が凝固したため、引け巣が生じなかったと考えられ、セラミックシェルモールド法が引け巣の低減に効果がある可能性が示唆された。

3-3 鋳型作製方法の検討

脱ろう時のろうの膨張によって鋳型に亀裂が生じる可能性があるため、脱ろう後の鋳型内部を観察するため断面観察を行った。断面の様子を図4に、結果を表4に示す。なお、脱ろう時間は30分とした。



図4 切断後の断面（上部から横部に亀裂あり）
（脱ろう温度：300℃）

表4 脱ろう実験結果

	脱ろう温度[°C]	スラリーのpH	亀裂の有無
条件1	100	7.7	あり
条件2	300	7.7	あり
条件3	1000	7.7	あり
条件4	100	8.5	あり
条件5	300	8.5	あり
条件6	1000	8.5	なし

断面を観察したところ、条件6を除くすべての条件で、製品部の外側表面に当たる壁面に、上部から横部にわたって亀裂が生じていた。鑄型にこのような亀裂がある場合、鑄造時に亀裂に熔融金属が鑄込まれてバリになったり、亀裂が進展して鑄型が割れたりする恐れがある。

脱ろう割れは、ろうの膨張による圧力で鑄型壁面に亀裂が生じることが原因であり、これを防ぐためには、急速加熱してろうを素早く熔融させる必要があるが、この条件の中では条件6のみ脱ろう割れを防ぐことができた。

また、バインダーであるコロイダルシリカはアルカリ側に安定領域があり、中性に近づくほど安定性は低下するため、条件1~3の鑄型は、pHが安定域を外れ、凝集やゲル化等が生じ、強度が低下していたと考えられる。

3-4 亀裂の影響

内部に亀裂が生じると思われる脱ろう温度で脱ろうし、その後焼成して作製した鑄型を用いて鑄造を行った結果を表5に示す。

表5 亀裂を有する鑄型への鑄造結果

	脱ろう温度[°C]	スラリーのpH	鑄造結果
条件1	300	7.7	鑄型割れ
条件2	400	7.7	鑄型割れ
条件3	500	7.7	鑄型割れ

すべての条件で、鑄造時に割れてしまい、鑄造ができなかった。脱ろう時に生じていた亀裂に熔融金属が流れ込み、鑄造圧によって亀裂が進展して割れに至ったと考えられる。このことから、脱ろう割れを防ぐことが必要不可欠であることが確認された。

4. 結 言

銀合金鑄造品の鑄造欠陥を低減することを目的に貴金属装身具におけるセラミックシェルモールド法の適用を検討した。得られた結果を以下に示す。

- 1) 傾胴式ミキサーを用いることで安定的にスラリーを攪拌できることが分かった。
- 2) セラミックシェルモールド法が引け巢の低減に効果がある可能性が示唆された。
- 3) スラリーの pH の管理が必要不可欠であることを確認した。pH が中性に近づくとき鑄型強度が低下し、脱ろう時に亀裂が生じ、鑄造時に鑄型が割れて鑄造ができないということを確認した。
今回の実験の範囲では、ツリーにろう型を1個のみとしたが、今後は、センタースプルーに複数のろう型が取り付けられたツリーで検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 日本鑄造協会ロストワックス精密鑄造教本編集委員会：ロストワックス精密鑄造法，pp.1-4（2015）
- 2) 宮川和博，佐野照雄，望月陽介，清水進：ロストワックス精密鑄造技術の向上に関する研究，山梨県工業技術センター研究報告，No.22，pp.75-80（2008）
- 3) 錦織徳郎：精密鑄造法，pp.8-10（1973）
- 4) 諏訪小丸：ジュエリーキャスティングの基本と実際，pp.49-52（2001）
- 5) 鑄造技術講座編集委員会：鑄造技術の基礎，pp.114-118（1967）
- 6) 錦織徳郎：我が国の工業用精密鑄造の初期から現在までのいくつかの話題，鑄造工学，72（12），pp.835-839（2000）