

貴金属装身具のロストワックス精密鑄造条件についての研究 (第2報)

中山 信一・上野 正雄・芹沢 速人

Study on Investment Casting of Noble Metals (2nd Report)

Shin-ichi NAKAYAMA, Masao UENO and Hayato SERIZAWA

要 約

貴金属装身具製品の精密鑄造工程において、欠陥が発生しやすい薄物で中空形状部品について、銀 (Ag925) 素材を用いて鑄造実験を行った。この結果、中空部を構成する埋没材の保持強度等が鑄造欠陥の一因であることを解明した。

プラチナ (Pt900) 素材については、ワックス原型をツリー状に取り付け、鑄造した製品の構成位置による表面状態と物理的特性を検討した結果、ワックス原型の取り付け位置により特性が異なることが明らかとなった。また、従来のワックス原型と低温で熱分解するとともに、溶剤による溶解性に優れたポリマー原型とに宝石を挿入し、石留め鑄造実験を行った結果、脱蠟・焼成温度が宝石の変色等に影響を与えていることが判明した。さらに、従来のワックスは、低い脱蠟・焼成温度での処理では埋没材内部壁に炭化物や硫化物等が残留するほか、原型自体の表面粗さが鑄肌面へ影響を与えていることが明らかとなった。

1. はじめに

本県の代表的地場産業である貴金属装身具製品は、比較的小物が多く複雑な自由曲線で形成されている。これらは多品種少量製品が多いため、一般的にこの生産に適したロストワックス精密鑄造法により製造されている。しかしこの方式では、未だに鑄造時に生ずる欠陥が問題となっている。

最近、ワックス原型に耐熱性のある宝石を挿入して鑄型を製作し、石留め工程を同時に行う鑄造方式が注目されている。この方式は、数多くの小さな宝石で、しかも石留め作業に時間を要する製品に適している。しかし、宝石を挿入したワックス原型を石膏に埋没後、数時間の脱・焼成工程を経るため、宝石類の割れや変色等の不良が生じることが多い。これらを防止するため脱・焼成時間や加熱温度の低下を行うと、埋没材内部壁に炭化物や硫化物が残留して、鑄造欠陥の要因となる。

本研究は、原型素材としての従来のワックスとこれに代わるポリマー (開発素材) との特性を比較し、鑄造欠陥の低減とワックス石留め鑄造法の開発を目的に研究を行った。

2. 実験装置及び条件

今回の実験に用いた遠心式精密鑄造装置 (Aurum digital Type-16M) とコンピュータ制御の高温電気炉 (Operuser) を図1に示す。

さらに、埋没材の定性分析はICP (プラズマ誘導発光分

光光度計) を用いた。

金 (K18) 及び銀 (Ag925) 用の埋没材については、石膏系を用い、混水比は全て39% (重量比) で行った。一方、プラチナ (Pt900) 用埋没材は、無結合型埋没材 (A1,A25) を使用し、バインダーに水を混合して、この混水比を30%とした。攪拌後、混合容器のまま減圧ベルジャー内で振動を与えて一次脱泡を行い、二次脱泡は直径60mm長さ90mmのステンレス製鑄枠を使用して同様に行った。なお、プラチナ用埋没材は、金及び銀用に比べ粘性が高いため、攪拌及び脱泡時間を20分と幾分長めに行った。

通常のワックス原型用埋没材の脱蠟・焼成工程は、200℃まで約2時間かけて昇温させ、その後は毎分5~10℃で規定温度まで昇温させた。また、貴金属素材の鑄造温度は、銀 (Ag925) が800℃、金 (K18) は1050℃、プラチナ (Pt900) は1700℃で溶解し実験を行った。



図1 鑄造装置と電気炉

3. 実験結果及び考察

3-1 薄物中空形状の casting

実験に使用した中空瓢箪形状のワックス原型は、当センターで開発した簡易ワックス積層装置¹⁾を用いて製作した。瓢箪は、全長21mm、小球直径10mm、大球直径12mmの形状で、0.2~0.5mmの厚さを有する。なお、小球上部には直径約4mmの穴が明いている。この瓢箪4個を一組のツリー形状に構成し、銀 (Ag925) 素材を用いて casting 実験を行った。

この結果、瓢箪大球の底に湯道を設け casting したところ、溶湯は、薄板部を通過して小球の入り口部を含む全体に行き渡っていたが、図2のように4個全ての大球及び小球の中央部に一箇所ずつ、湯まわり不良が原因と考えられる穴明き現象が現れた。この現象を防ぐために湯道の数及びその形状を変えて何度か casting 実験を繰り返したが、全てにおいて欠陥は改善されなかった。

これまでの casting 欠陥状態から推察して、これらの欠陥は中子を瓢箪の小球上部にある直径約4mmの片持ち石膏のみで支えているため、遠心力を利用して溶湯を注入する初期の時点で折損し、中子と外壁が接触することに起因すると考えられる。

このため、大球の底部にも小球同様に約4mmの穴を明け、中子を両端で支える方式で casting を行った。その結果、図3に示すとおり4個全てに casting 欠陥は発生しなかった。この実験から中空製品の casting 欠陥は、特に中子の折損による脱落が湯廻り不良の一因となり得ることが分かった。

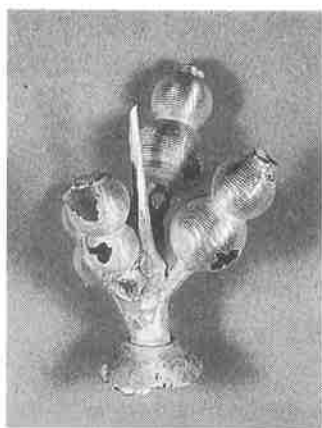


図2 湯廻り不良品

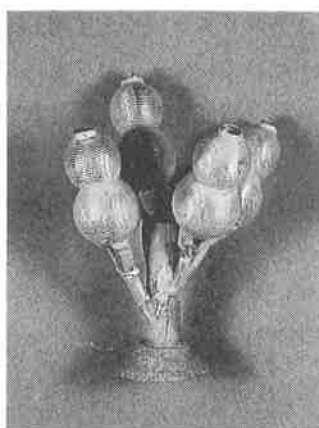


図3 改良後の製品

3-2 ツリー状の部位による表面状態と硬度

ロストワックス精密 casting では、ワックスパターンをツリー状に構成して casting を行うが、ツリー状の部位から生ずる casting 物の表面状態及び硬度と casting 欠陥との関連を把握するため、次の実験を行った。

casting 素材はプラチナ (Pt900) を用い、装置は遠心 casting 機を使用した。

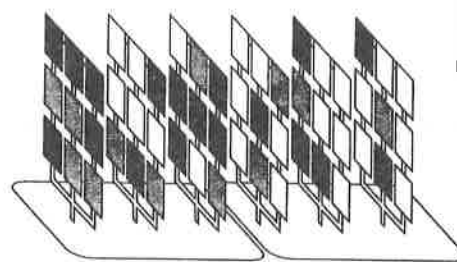
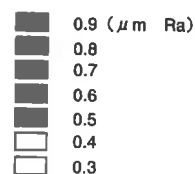


図4 ツリー状構成による表面粗さ分布

図4は、ツリー状に構成した casting 品について、各部位における表裏両面の表面粗さの平均値を求め、これを立体的に表したものである。なお、図の下部に湯口と湯道を設け、左図が表側、右図が裏側の測定結果を表している。

この図から、表面粗さの値は全体的にばらついてはいるが、中心部に比べて外側に配置したものの方が、表面粗さ及び形状が劣る傾向にある。これは、 casting 時に溶融したプラチナが凝固・収縮する過程で、ツリー状に構成した casting 型の位置及び埋没材壁面での、冷却過程の違いによる熱応力の影響と推察できる。

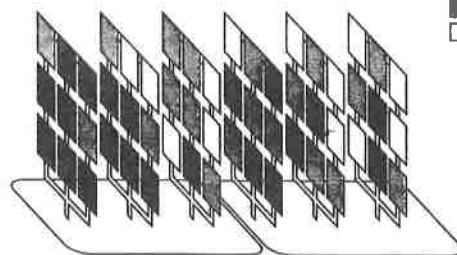
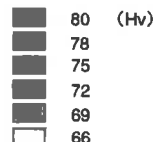


図5 ツリー状構成による硬度分布

図5は、ツリー状の部位による硬度分布を表している。この図から、部位による顕著な硬度差は認められないものの、湯口や湯道に近い、つまり冷却速度が緩やかな部分ほど、硬度が高い傾向を示している。これは、プラチナ合金の特徴である固溶体を作るためと考えられる。また、凝固・収縮による変形、割れ、 casting 機の影響を受けにくい位置でもあることが考えられる。これ等のことから考慮すると、比較的面積が広く薄い形状、変形を嫌う形状並びに異なる形状の製品を同時に casting する場合には、ワックスツリーの中心部に配置することにより、欠陥の少ない製品が得られることが推察できる。このことは、前報²⁾の Ag925 の素材においても共通した傾向を示した。

3-3 ワックスが埋没材に及ぼす影響

貴金属製品をロストワックス精密鑄造法で製造する場合、ワックス原型を石膏に埋没後、一定時間加熱して脱蠟・焼成を行うが、この工程で炭化物、硫化物等が発生し鑄型成形埋没材内に残留する。この原因は、溶解した蠟が埋没材の粒子の間に毛細管現象で浸み込み、焼成時に炭化した蠟が燃焼しないことで、細部の蠟を分解除去できなく、溶湯の時点でガス等が発生し、これが鑄肌を荒らす原因と考えられている。

そこで、金及び銀の鑄造用埋没材を電気炉で、約3.2時間かけて650℃に昇温したものと、4.5時間で750℃まで昇温したものを取り出し、埋没材内部壁を観察した。650℃の条件では内部壁がまだ黒色で、750℃のものは白色に変化していた。650℃の条件で内部壁に発生した黒色の残留物の原因を追求するため、ICPによる定性分析を行ったが、物質の同定には至らなかった。その黒色の試料を再度3.5時間かけて750℃まで昇温して観察したところ、白色に変化した。

次に、プラチナ用埋没材について3.5時間で650℃、5.0時間で750℃、8.0時間で900℃まで昇温し、焼成した試料の内部壁を観察したところ、650℃で焼成したものはやや黒く変化していたが、750℃から900℃と温度が上昇するに従い、内部壁及び外部ともに白色度が増す傾向を示した。なお、上記の3試料ともに、焼成温度による埋没材の硬度差は認められなかった。

さらに、通常のワックスに開発したポリマー³⁾を25% (重量比) 混合したものを原型に用い、埋没材と混合ポリマーとの内部壁面を観察する目的で、脱蠟・焼成実験を行った。この際、金枠と埋没材の分離を容易にするため、ステンレス製金枠内面に普通紙を巻いて実験を行った。

このポリマーは溶剤で溶解する特徴があるため、電気炉で鑄型成形埋没材を昇温途中の160℃で取り出し、湯口より溶剤を注入して埋没材内部壁に付着している残留ポリマーを完全に除去した。

埋没材を650℃で取り出したものは、金枠内周面に巻いた普通紙の影響から埋没材の外周が最も黒く、内側にかけて濃度が低下傾向を示した。さらにポリマーが除去された空洞部壁面は、普通紙の燃焼時に発生した物質が浸みこみ黒く変わっていた。しかし、750℃から900℃と温度が上昇するにつれて、周囲ならびに埋没材内部壁面ともに白さを増す傾向にある。この場合の埋没材壁面に付着した黒色の物質は、金枠の内周面に巻いた紙が不完全燃焼のために発生した物質の影響が大きいと考えられる。

3-4 金素材のワックス石留め鑄造

金素材を用いたリング等で、宝石の数が多く石留めが困

難な製品には、ワックス原型の石留め部に比較的耐熱性のある宝石を挿入後、一連の鑄造工程を経て石留めされた鑄造品を得る方法が用いられている。そこで、この方法のメカニズムを追求するため、次の実験を試みた。

ここでは、一般に使用されているワックス素材でリング形状の原型を製作し、これに4個のダイヤモンドを挿入した。この4本のリングをツリー状にセットし、そのうち2個のリング全体に、耐熱材 (CBN) を塗布して鑄造を試みた。埋没材の脱蠟・焼成は、目的の650℃まで7時間かけて昇温し、素材熔融温度を1050℃で鑄造実験を行った。

この結果、図6のように耐熱材を塗布したダイヤモンド表面の輝きは、鑄造前と殆ど変化は見られなかった。しかし、リングの鑄肌は鑄造後緑色をしていたが超音波洗浄後は茶に変色して表面も荒れている。これは、ワックス表面に塗布した耐熱材が悪影響を及ぼしているものと考えられる。

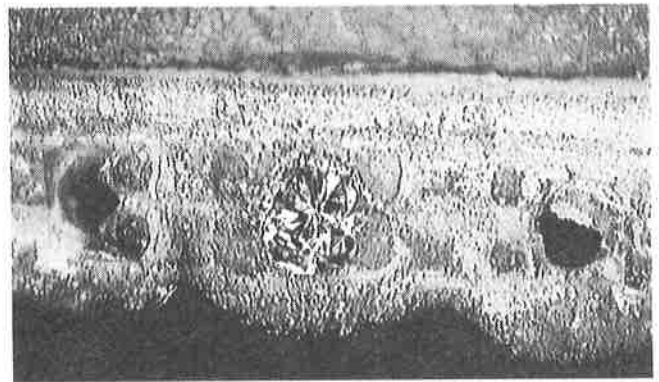


図6 耐熱剤を塗布した宝石表面

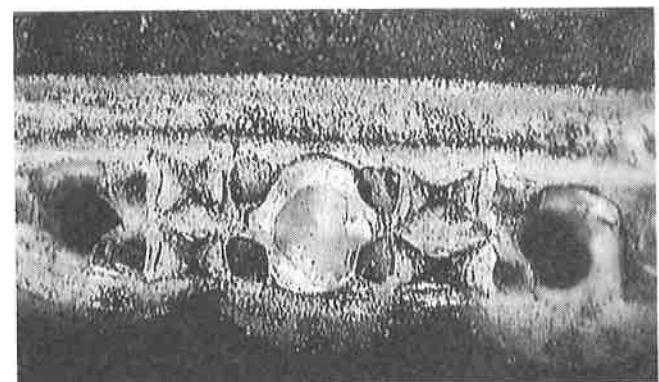


図7 耐熱剤無塗布の宝石表面

一方、耐熱材を塗布しないリングの鑄肌は良好であったが、図7に示すとおりダイヤモンド表面は、高温酸化のため白濁し輝きが失われていた。

図8は、前記の条件によりワックス原型にダイヤモンドを挿入し、この表面に耐熱材を塗布し、脱蠟・焼成工程を経た後の埋没材と宝石の関係を表している。この図から、

ダイヤモンドはクラウン表面とガードル部で埋没材に保持されていることが分かる。さらに、埋没材と宝石表面が接する部分は、耐熱材が燃焼のための酸素供給を妨げていることから黒色に変化している。

この結果から、耐熱剤は宝石表面の酸化を防ぐことにより、十分宝石を保護する効果を発揮しているが、貴金属の鑄肌に対しては悪影響を与えていることが判明した。

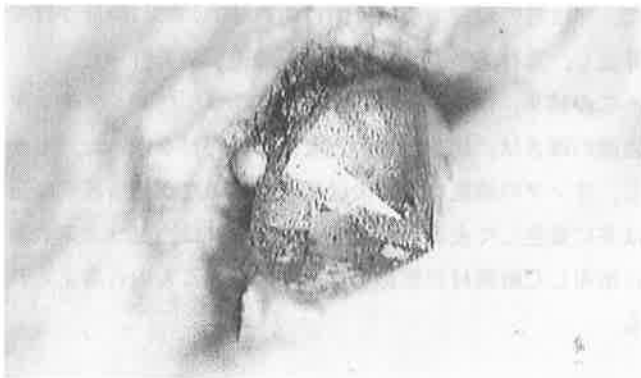


図8 埋没材に保持された宝石

3-5 プラチナ素材のワックス石留め鑄造

プラチナ素材を使用したワックス石留め法は、埋没材の脱蠟・焼成工程及び貴金属素材の溶解温度が高温度で、しかも長時間行われる。従って、宝石の割れや変色等が発生する原因となるので殆ど実施されていない。そこで、これらの問題を解決するため、脱蠟・焼成温度を通常より低く、さらに、加熱時間を短縮しても埋没材内部壁に鑄造欠陥の原因となる残留物が発生しないポリマーを新たに開発した。

そこで、通常使用されているワックスと、新たに開発した湯廻り特性が良く低温分解可能なポリマーとを使用し、鑄造実験を行った。

まず、通常のワックス素材を使用したリング原型に、ダイヤモンドを挿入し、その表面に耐熱材を塗布し、3.5時間かけて750℃、6.5時間かけ900℃で脱蠟・焼成したものとについて、鑄造実験を行った。この時使用したワックスの表面形状を図9に示す。

この結果、750℃の条件で鑄造したものは、耐熱材の塗布状態の影響で鑄肌表面が非常に悪い。900℃の条件で鑄造したものは、750℃に比べ僅かに鑄肌面は良いが、宝石の表面は幾分白濁していた。

次に開発した低温分解性ポリマーを使用して実験を行ったが、ポリマーの粘度が155℃で2160CPSと高いため、ゴム型でポリマー原型を製作するのに時間を要した。そこで、ポリマーを25%（重量比）と残り75%を従来のワックスとの混合素材を使用してワックス原型を製作した。この混合

素材と従来のワックスとの原型製作時間は、ほぼ同程度であった。

図10は、この混合素材を使用して原型を製作し、その表面形状を表したものである。図から従来のワックス表面に比べて、表面粗さ値が低いことが分かる。

次に、この素材を使用して前記の条件で鑄造実験を試みた。この結果、脱蠟・焼成温度が900℃と高い程、幾分鑄肌面が良好であるが、焼成温度による際だった差は認められない。

次に、上記のポリマー及び従来のワックスとの混合素材とを用い、脱蠟・焼成途中の160℃の時点で取り出し湯口より溶剤を流し込み、その後750℃と900℃まで昇温し、それぞれの埋没材を使用して鑄造実験を行った。この結果、両条件ともに鑄肌表面は従来のワックス原型に比べ良好であった。

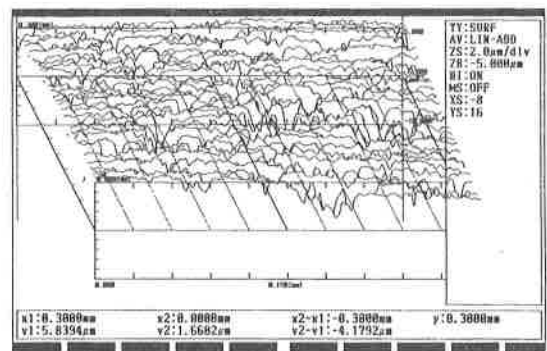


図9 従来のワックス原型の表面形状

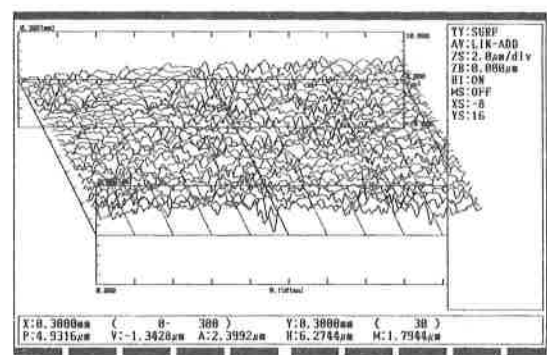


図10 ポリマー原型の表面形状

なお、ダイヤモンド表面を顕微鏡で観察したところ、従来から表面に残存していたと考えられる小さい傷に黒色の物質が入り込んでいた。これは、耐熱材で覆われた部分と埋没材壁面とで発生した、不完全燃焼による残留物の一部が入り込んだものと推察できる。

このことは、混合ポリマーを使用してワックス石留め鑄造を行う場合、ダイヤモンドの石質の選定を十分行うこと

が必要となる。

4. 結 言

貴金属装身具製品のロストワックス精密鑄造欠陥について検討した結果は次のとおりである。

- (1) 薄い板厚でしかも中空の瓢箪形状は、中空部の支持方法及び埋没材の強度が鑄造欠陥の要因となる。
- (2) プラチナ (Pt900) 素材のツリー状構成による表面粗さ及び硬度分布状態の双方から勘案して、湯口に近い中心部は、鑄造欠陥の発生が少ない位置と考えられる。
- (3) 金 (K18) 素材を使用したワックス石留め鑄造では、宝石表面を耐熱剤で被覆することにより、宝石へのダメージを防ぐことができる。しかし、ワックス面に塗布した場合は鑄肌面を荒らす要因となる。
- (4) プラチナ素材のワックス石留め鑄造では、従来のワックス原型に比較して混合ポリマー原型の方がダイヤモンド表面のダメージが少なく、しかも鑄肌表面も優位である。

本研究を進めるにあたって、実験に協力頂いた(株)日本触媒、(有)ヒライデならびに斉藤メッキ工業所に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 中島俊他：山梨県工業技術センター研究報告No.6,1992 三次元原型・加飾加工技術の開発P.7～14
- 2) 市川龍郎：キャスト製品製作技法の実際と考え方、宝石と貴金属工芸吉田キャスト工業(株)
- 3) 濱住松二郎：非鉄金属および合金、(株)内田老鶴園新社、1979,8