

装身具のロストワックス精密鑄造条件についての研究

中山 信一・上野 正雄

Study on Investment Casting of Noble Metal

Shin-ichi NAKAYAMA and Masao UENO

要 約

装身具用貴金属製品の鑄造欠陥発生状況を調査したところ、欠陥の発生しやすい場所は、急激に体積が増減する部分や、細くて長い形状の一部に多く発生している。これ等をもとに鑄造欠陥が発生しやすく、しかも解析が容易な形状で板厚の異なる各種原型を製作した。これ等の型とワックスインジェクション装置を使用して、ワックスのゴム型への流動性、表面状態及びワックス表面に現れる微小な泡（ $\phi 0.1$ 程度）の発生原因を究明した結果、ワックス素材の含有気体の影響も大きいことが判明した。

また、原型をもとに実際に鑄造した製品の表面状態と物理的特性について検討したところ、埋没材の脱蠟・焼成方法と、ワックスパターンをツリー状に取り付ける位置により特性が異なることが分かった。

1. 緒 言

本県の代表的地場産業である貴金属装身具製品は、比較的小さく複雑な自由曲線で形成されているとともに、多品種少量生産が多いため、80%以上がロストワックス精密鑄造法により製造されている。この生産方式は相当以前から行われているが、未だに鑄造時の欠陥が問題となっている。特に鑄巣、湯回り不良及び割れは欠陥の代表とされている。

最近の貴金属製品の傾向は、高品質・高付加価値化した製品が好まれ、中でも特に低価格製品の需要は益々顕著な発展が期待されている。しかし、貴金属製品製造企業は、ロストワックス精密鑄造製品を如何に高品質で、安定した生産性を維持し製造するかにより、企業の収益性が著しく異なってくる。従って、ロストワックス精密鑄造の不良原因の技術的な解明は、生産性を優先する企業にとって非常に有効と思われる。本研究は、これらの背景から、ロストワックス精密鑄造の欠陥発生原因を究明することにより、県内貴金属加工業者の新商品開発や、高品質維持に役立てることを目的として実験を行ったのでその結果を報告する。

2. 貴金属精密鑄造製品の欠陥原因

表1は、ロストワックス精密鑄造法で製造された貴金属製品の鑄造欠陥について、技術相談として持ち込まれた製品や、巡回技術指導を通して調査分析したものである。この結果、素材別不良率は、それぞれPt900は8%、Ag925は5%、並びにK18は3%の率で発生している。

表1 ロストワックス精密鑄造における欠陥原因

素 材	Pt900	8% (平均不良率)
	K18	3% (")
	Ag925	5% (")
形 状	リング	<ul style="list-style-type: none"> ・細く長い ・薄く広い ・幅広と幅の狭い部分が連続 ・体積変動が大きい ・複雑形状
	ピアス	
	ブローチ	
鑄造条件	ワックス	粘性・吐出、吸引温度、時間・圧力
	埋没材	混水比、水温・脱泡時間・焼成温度
	温 度	鑄込温度
		埋 堀
	時 間	鑄込時間
	素 材	合金種類、割合
	鑄造機械	真空・真空加圧・遠心
周囲環境	温度・湿度・気圧	
そ の 他	仕上げ法	電解研磨・酸洗い

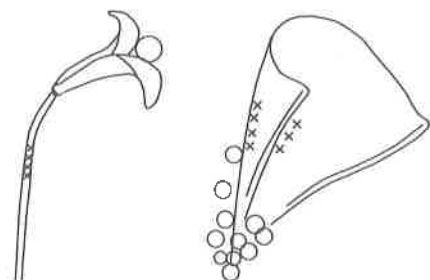


図1 欠陥の発生しやすい形状

図1は、鑄造欠陥が発生しやすい代表的な形状を示したものである。発生箇所（×印）は、細く長い形状や、薄く広い部分に集中している。

一般的に、鑄造製品に発生する鑄造欠陥の原因として、次のものが考えられる。

- ① ワックス型表面に付着した離型剤や細かい凹み、或いは気泡が影響したもの。
- ② 鑄造に使用する貴金属素材の中に含まれているガスや異物が、鑄造時に混入したもの。
- ③ 鑄造時に空気を巻き込んだもの。
- ④ 埋没材内の空気や異物が、貴金属に混合したもの。
- ⑤ 埋没材から発生したガスや埋没材壁面に付着した炭化物等が、貴金属に混入したもの。
- ⑥ ルツボから放出されたガスや異物が貴金属に混入したもの。
- ⑦ 溶解した貴金属の凝固収縮時に生じた凹み、割れ、鑄巣。

3. 実験装置及び条件

貴金属製品における鑄造欠陥の調査結果から、欠陥の発生しやすい形状と場所が推定できた。これらをもとに、欠陥が発生しやすく、しかも解析が容易な板厚の異なる3種類の形状の原型を製作した。図2は、この原型を示す。

この原型をもとにゴム型を製作し、図3のワックスインジェクション装置を使用して、ワックス充填実験を行った。

この装置は、真空ポンプ、ワックスインジェクター本体、オートクランプ部、圧力コントローラーから構成されている。本体には、ワックス槽とノズル温度調製ノブ及びワックス充填と真空引きタイマーが設けられている。一方、オートクランプ部は、ゴム型を充填ノズルに対して前進、後退及び型締圧力を調製できるようになっている。

ワックスパターンは、ゴム型内を一旦吸引し、その後真空状態の型内に溶解したワックスを充填して、原型に出実なワックスパターンを製作した。実験に用いたワックスは、ACCUインジェクションワックス・ターコイズブルーである。

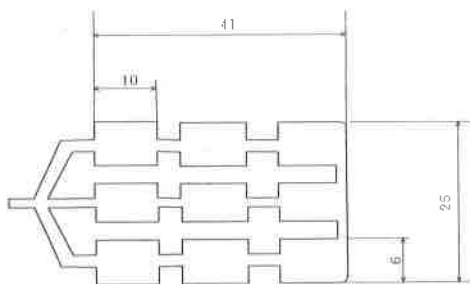


図2 原型

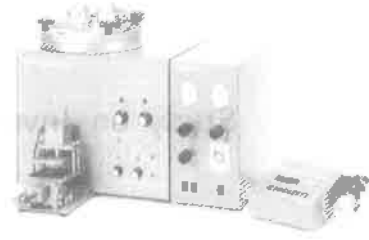


図3 ワックスインジェクション装置

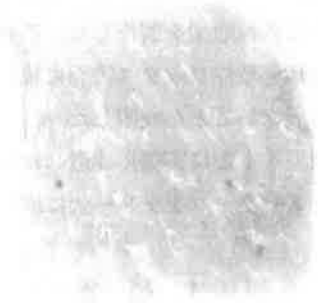


図4 ワックス表面の気泡

この時、ワックスパターン表面に無数の微小な空気の泡が現れた。図4は、この気泡の発生状況をビデオマイクロスコープで、100倍に拡大して撮影したものである。

このような微小な泡は、鑄造品の表面状態を悪化させるばかりか、図1に示すとおり、仕上げ加工が困難な場所に集中しやすく、また鑄巣や割れ等の欠陥を誘発する原因にもなっている。

そこで、気泡の発生状況を把握するため、ゴム型内の吸引時間、充填時間の因子に対して、0から10秒までの6水準、充填圧力の因子に対しては0.08、0.10、0.12MPaの3水準について実験を行った。この場合、実際には充填時間が0秒の時は、ワックスパターンが成形できないので、成形可能な最小値である0.1秒程度とし、また、この時のワックス温度は、82°C（ノズル温度80°C）とした。

4. 実験結果及び考察

4-1 ワックス表面の気泡の影響

図5は、ワックスパターンのサンプリング部を示し、特にワックスの流れが急激に変わり気泡の発生しやすい代表的な箇所A、B、C部を100倍に拡大して観察した。

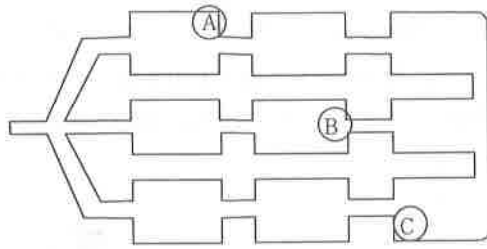


図5 ワックスパターンのサンプリング部

図6から図8は、撮影した写真に、5×5mmのマトリックスをあてはめ、A、B、C部における気泡の数の合計を求め、充填圧力別に吸引時間と充填時間との関係について表したものである。

この図から、充填圧力が0.08MPaの時は、吸引時間が2秒と短く、充填時間は8秒近傍が気泡が少ない。しかし、図8に示すように充填圧力が高いと、吸引時間に対しての充填時間が短くなるほど、気泡の数が減少傾向に向かうことが分かる。

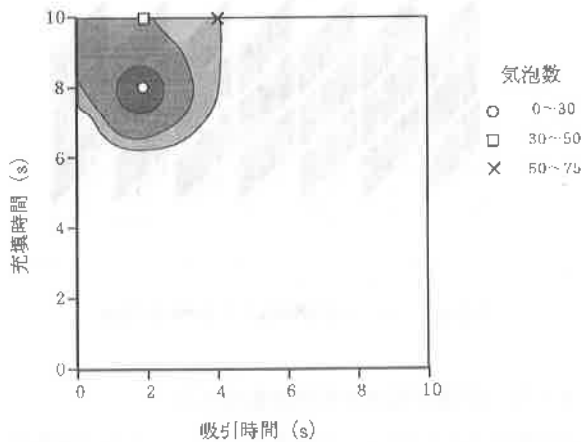


図6 充填圧力0.08MPaの気泡数

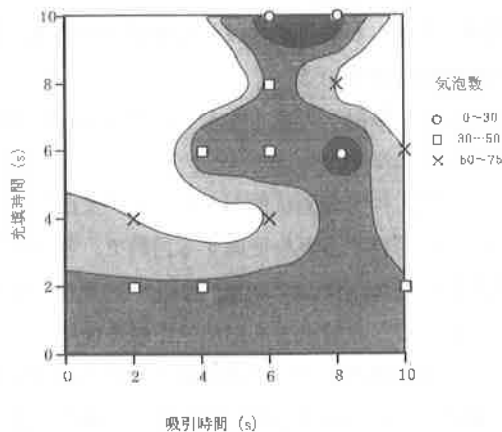


図7 充填圧力0.10MPaの気泡数

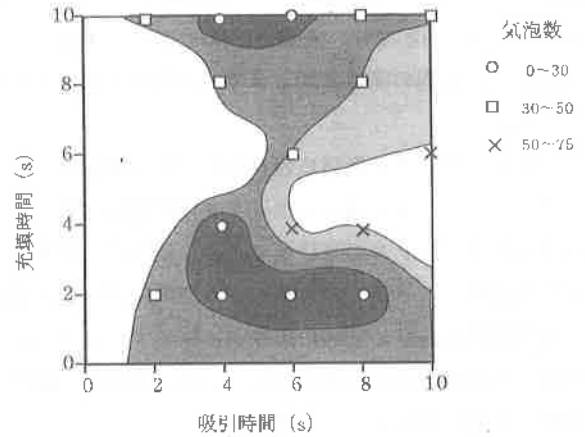


図8 充填圧力0.12MPaの気泡数

また、気泡の数は吸引時間及び充填時間が短い時は、 $A > B > C$ となっていたが、双方の時間が長くなるに従って $A < B < C$ と変化している。さらに、図8の充填圧力が0.12MPaの場合、ほぼ全部のワックスパターンにバリが発生して、そのバリの中に気泡が含まれた状態で排出されるため、図中の吸引時間が4～6秒で充填時間が10秒の時、気泡の数が少ない範囲が表れている。

また、表2は充填圧力0.10MPaの条件で、A、B、及びCの表面に発生した気泡の大きさを測定した結果である。なお、この時のワックスパターン表面の泡の深さは28μmであった。

表2 ワックスパターン表面の気泡の大きさ

	X方向(mm)	Y方向(mm)	測定箇所
ワックスパターン表面	0.106 (0.019)	0.069 (0.010)	A、B
	0.450 (0.260)	0.135 (0.045)	C

注：括弧内は標準偏差

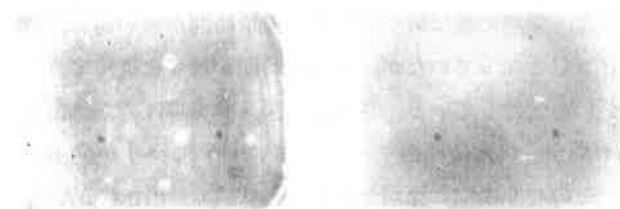
この表から溶解後は長円が多く、湯口から遠ざかるに従い、形状のバラツキが大きくなっている。

そこで、ワックス表面に現れるこれ等の気泡は、何が起因しているのか究明するため、ワックス素材に着目し、ワックスを溶解した状態で吸引と振動により5分間脱泡した。このワックス素材を使用して、先の実験で気泡が多く発生した条件を抽出し、これをもとにワックスパターンを成形して表面観察を行ったところ、気泡の数は多いものでも、これまでの十分の一以下に減少した。また、気泡の大きさも図9に示すとおり五分の一程度となった。

このため、溶解前のワックス素材表面に包含されている気泡の大きさを測定し、平均値を求めたところ、X方向は

0.130mm、Y方向は、0.135mmであり標準偏差の値は、それぞれ0.030と0.029となり、縦横比がほぼ等しい形状であった。しかし、気泡の深さは26 μ mで、溶解後とほぼ同じ値を示した。

この結果、ワックス素材に包含されている気泡は、ワックスインジェクション装置のワックス槽で溶解されても、槽内の加圧とワックスの高粘性のため、殆どワックス内に留まった状態となる。このため、ゴム型内に流入した気泡は、吸引状態ならびに加熱により更に膨張するとともに、挿入時の充填流速により変形され、これらが冷却・凝固する過程で表面に現れることを究明した。



脱泡前 脱泡後
図9 脱泡前後のワックス表面

4-2 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鋳造において、次工程ではワックスパターンをツリー状に構成して鋳造を行う。この場合の、ツリー状の部位による表面状態及び硬度を求めるとともに、鋳造欠陥との関連を把握するため、次の鋳造実験を行った。

鋳造素材はAg925を用い、真空加圧式鋳造機を使用して、通常行っている方法により鋳造を行った。

図10は、ツリー状に構成した鋳造品について、各部位における表裏両面の表面粗さの平均値を求め、これを立体的に表示したものである。なお、図の下部に湯口と湯だまりを設けた。

この図から、全体的に表面粗さの値は、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、表面状態が劣る傾向にある。これは、ツリー状に構成した鋳型の位置により、鋳込み時に溶解した貴金属が、凝固・収縮する過程で、鋳型表面で起こる種々の冷却速度や熱応力が、微妙に異なるための影響と推察できる。

図11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、湯口や湯だまり部に近い、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。このことは、凝固・収縮による凹み、割れ、鋳果の影響を受けにくい箇所であることが考えられる。

表面状態及び硬度分布を考慮して、比較的面積が広く薄い形状のもの、並びに変形を嫌うもの等はワックスツリーの中心部に配置すると、欠陥の少ない製品が得られることが推察できる。

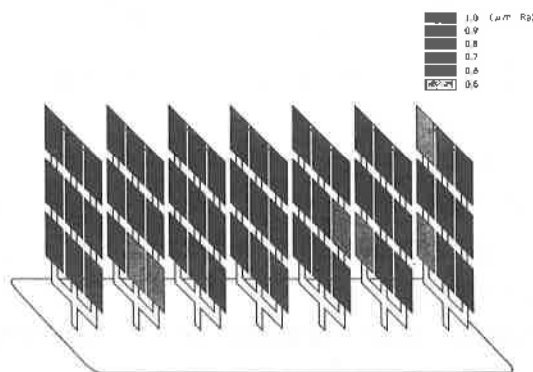


図10 ツリー状構成による表面粗さ分布

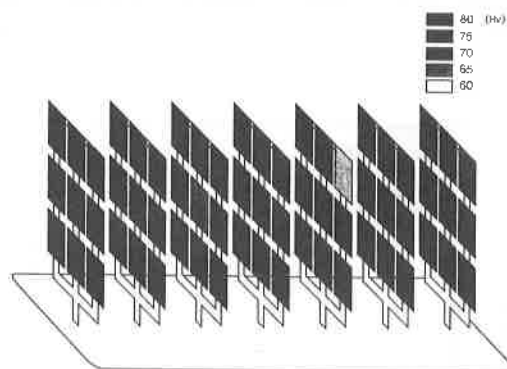


図11 ツリー状構成による硬度分布

4-3 鋳造品製作工程毎の表面状態

貴金属鋳造工程では、金属あるいはワックスの原型をもとにゴム型を製作し、このゴム型にワックスを充填してワックスパターンをつくる。これらのワックスパターンをツリー状に構成した後、石膏等に埋没して脱蠟・焼成後、貴金属を鋳込み製品を得ている。

このように、製品を完成するまでに何回もの転写工程を経なければならない。

そこで、各工程で表面状態がどのように変遷し、次工程へどのように影響するかを把握する目的で、各工程毎の表面状態を観察した。なおゴム型、ワックス型及び埋没材の測定については、非接触表面形状測定機を使用して、1ブロックにつき表裏各1カ所の中心線平均粗さを測定し、平均値を求めた。その結果を図12に示す。全体的に各工程を経るに従って、表面粗さの値が増加傾向を示している。特に埋没材の表面粗さの値が高いのは、ワックスパターンの表面状態の影響に加えて、埋没・焼成工程が複雑なため、表面粗さに悪影響を与える要因が増加するためと考えられ

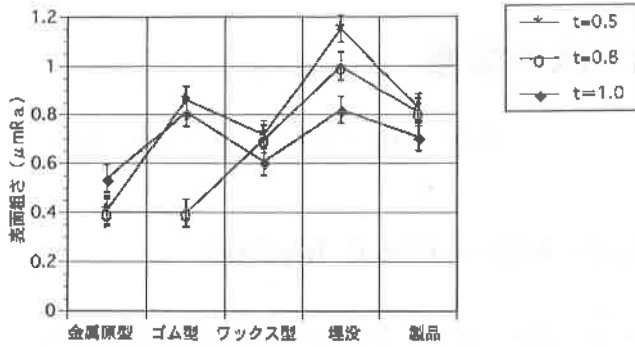


図12 铸造品製作工程毎の表面粗さ

る。

また、铸造品の厚さに対する表面粗さでは、薄いものほど大きい値を示している。このことは、薄いものほど変形しやすいためうねりが相乗されるとともに、溶融したワックスや貴金属が冷却時に凝固・収縮の影響を受けやすいためと思われる。

5. 結 言

貴金属装身具製品のロストワックス精密铸造欠陥について検討を行ったが、得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) 形状別铸造欠陥発生原因と場所は、体積及び湯流れが急変する部分に多く発生している。
- (2) ワックスパターンの表面に現れる微小な気泡の発生原因は、ワックス素材に含まれている気体の影響が大きい。

- (3) ワックス素材の脱泡で、泡の数が従来の十分の一以下、大きさが五分の一程度に減少し、表面状態の良好なワックスパターンが得られる。
- (4) 市販のワックスインジェクション装置を構成するワックス槽と吸引槽との間に、新規に切り替えバルブを設けることで、溶融ワックスの脱泡を兼ね備えた装置の改良が可能である。
- (5) ワックスパターンのツリー状の位置による、表面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、铸造欠陥の発生が少ない箇所と考えられる。
- (6) 铸造製品の各製作工程における表面粗さは、埋没工程以外、工程を経るに従い大きくなる傾向を示す。埋没工程の表面粗さが大きいのは、前工程の表面状態の影響に加えて、埋没材の粒度や埋没・焼成工程が複雑なためなど、諸要因が相乗することに起因していると推察できる。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、実験に協力いただいた中澤製作所、日本寶飾㈱ならびに齊藤メッキ工業所に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 諏訪小丸：キャスト製品製作技法の実際と考え方、宝石と貴金属工学
- 2) 真空ワックスインジェクター取扱い説明書：安井インターテック㈱