

入門講座

鋼の凝固入門-12

各種鑄造法Ⅱ：精密鑄造法の品質制御

Various Casting Methods II : Quality Control of Precision Casting Process

(株)日立メタルプレジジョン
取締役生産センター長
岡 照恭
Teruyasu Oka

(株)日立メタルプレジジョン
主任技師
伊達正芳
Masayoshi Date

1 はじめに

精密鑄造法は砂型鑄造法と比較して寸法精度が高く、ニアネットシェイプで複雑形状の製品を製造する方法で、1940年代頃から工業的に発展した技術である。鑄造法にはインベストメント法(ロストワックス法)、セラミックモールド法、プラスターモールド法¹⁾がある。本稿では航空宇宙エネルギー産業や自動車部品等の用途に使用されているインベストメント法のセラミック・シェル・モールド法について概説する。その原理は古代エジプト文明に見出され、青銅鑄物は蜜蝋を使用した古代インベストメント法により作られていた。現在では、0.5mm以下の薄肉厚の湯廻りを確保するため減圧吸引鑄造法^{2,3)}(CLA, CLI, CLV等)を用いた精密鑄造法も採用されており、極薄鑄物の鑄造も可能である。

本入門講座において精密鑄造の原理を元に鑄造製品の形態制御や欠陥発生を理解の一助になれば幸甚である。

2 精密鑄造製品の製造概論

精密鑄造は、最初に製品と相似形のワックス模型をつくり、この模型にセラミック等の耐火物のシェルを形成して、

乾燥後に加熱してワックスを流出させて鑄型とする。鑄型に残留するワックスを完全に燃焼除去すると共に鑄型強度を付加するために加熱焼成し、この鑄型に熔融金属を注入して冷却後鑄物を取り出す。図1に製造工程の概要を示す。

2.1 ワックス模型成型

ワックス模型は量産では金型成型、サンプル試作ではマシニングセンターによる削り出し、近年ではRP (Rapid Prototyping、迅速造型法⁴⁾) 模型が使用される。表1にはRP模型の種類について紹介する。

一般に模型成型は射出成型機から熔融あるいはセミソリッドのワックスを金型に射出、冷却固化させて成型する。この



図1 精密鑄造法の製造工程

表1 RP造型法の種類と特徴

分類	造型法	材料	特徴
光造形法	レーザービーム照射	液状硬化性樹脂	樹脂にレーザー光を照射し、照射した部分だけを固体に変えて積層造形
粉末焼結法	レーザービーム照射	粉末素材 (金属、砂、ワックス)	粉末をレーザー光で瞬間焼結させ、粉末層を積上げて造型
インクジェット法	結合剤接着	樹脂、ワックス	インクジェットノズルから結合剤を出し、接着・固化・積層する造型
樹脂押出法	ノズルから押し出し	熱可塑性樹脂	樹脂を加熱して液状にし、ノズルから押し出し、冷却・固化・積層
シート切断法	切断・接着	紙、樹脂シート	シート状素材をレーザー光、カッターで切断し、接着して積層

金型の寸法は、製造工程中に生じるワックス模型の収縮率、鑄型の予熱温度までの膨張率および鑄造合金の収縮率を加味して設計製作する。

ワックスはパターン寸法の安定性や表面仕上がりの良好性に加え、製品の大型化や形状の複雑化等に対応するため、粘度や温度感受性特性を考慮して種々設定される。例えば薄肉小型を大量に自動成型する場合には固化速度が速いワックスが有利である。この特性にはワックスの温度低下と共に急激に粘度が上がる温度感受性の高いものが求められる。一方、比較的大型パターンの場合には、表面が固化してもパターン内部が流動可能な状態であるため、成型が完了するまで射出時の圧力を付加することが出来る温度感受性の低いワックスが有効である。ワックス原料⁵⁾の特徴について表2に纏める。これらワックス原料を配合設計して、ワックスの特性である温度—粘度特性、硬さ、熱膨張、寸法収縮率、材料強度、粘弾性を射出成型時の挙動に照合することで、製品形状に最適なワックスを得ることが出来る。

製品形状に中空部や細長穴、深溝部がある場合にはセラミック・コアやソルブル・ワックス・コアを用いる。中空部形状が簡単な場合には、金属コアを使用してワックス模型から金属コアを抜き取る方法が用いられる。セラミック・コアは鑄型製作時にコーティング・スラリーの付着が困難な中空形状の場合に使用され、鑄造後に苛性ソーダ、水酸化カリウム等のアルカリ溶剤で溶出する。ソルブル・ワックス・コアは水溶性の物質で、ワックス模型成型時にコアを金型に固定してワックス模型を成型する。その後に水中あるいは希酸中でコアを溶出する。これらのコアは、プレス成型や射出成型で成型されている。

ワックス模型の組み立ては、ツリー・バーやドラム型スプルーに加熱したコテ等でろう付けされる。小型模型は湯口を同時成型してロボットによりろう付けされる自動化が進んでいるが、大型模型の場合は湯道用模型を別々に成型し手造りで組み立てる。組み立てられたワックス模型の一例を図2

に、組立時の留意事項を表3に纏めて示す。

2.2 コーティング

ワックス模型ツリーに耐火物を被覆して鑄型を形成する工程をコーティングと言う。最初にワックス模型に付着している離型剤、油脂等をアルコール溶液や脱イオン水で洗浄する。自然乾燥後、コロイダル・シリカ等の耐火性バインダと耐火物微粒子フィラーを混合したスラリーに浸漬し、過剰付着したスラリーを液切りした後、乾燥した耐火物スタックをフリーダイズド・ベッド方式やレイン・サンダー方式のス



(1)ツリータイプ (2)ドラムタイプ

図2 ワックス模型一例

表3 ワックス模型の組み立て留意事項

欠陥	留意事項
(1)変形	接着時の加熱過多、製品間隔が狭いため凝固時に歪み
(2)欠損	接着コテ、ホットプレートで溶融
(3)凸	接着ワックスの垂れ
(4)凹	コテ痕跡
(5)スラリー差込	ゲート接着部のピンホール、アンダーカット 模型の割れ
(6)ワックス残渣	ワックスが容易に流出しやすい配置
(7)引け巢	押湯が有効となるゲート形状および配置

表2 ワックス原料の特徴

原料	特徴
パラフィン	直鎖飽和炭化水素を主成分、分子量は300～500、融点は32～66℃、冷えると塑性が無く脆い。凝固収縮が大きい
マイクロクリスリン	主鎖に側鎖を持つ構造で、分子量は450～700、融点は60～93℃、溶融時は粘性が大きい。凝固収縮が大きい
ロジン	天然ロジンと合成ロジンがあり、ワックスが固化する際の固化速度を速めることが出来、また収縮を抑制する効果がある
カルナバ、 キャンデリラ	代表的な植物性ワックス、ワックスパターンを硬くする目的で添加。添加により液相から固相に急激に固化する性質を有する
高分子材料	ワックスパターンの強度特性を向上させる目的で添加される。ワックス構成成分間の相溶性を改善する効果がある。配合比率は小
フィラー	ワックスが液相から固相へ変わる際の収縮を抑える効果を目的に添加され成型性が改善される。添加により粘度が上がる

タッコイング・マシンを使用して付着させる。スラリー浸漬→スタッコイング→乾燥の工程をセラミック・シェル・モールド法では5~10数回繰り返す。乾燥時間は2~4時間程度であり、一般的に第1層では自然乾燥、2層目以降は秒速1.5~6m/秒の風速で強制乾燥される。乾燥工程に長時間を要するため、強制乾燥の方法に工夫が必要であるが、コーティング層とワックス模型との接触面に剥離や割れを発生させない条件を見出さなければならない。最終層の乾燥では鑄型内の余剰水分を24時間程度かけて除去する。ワックス模型の成型からコーティング最終乾燥まではワックスと鑄型の膨張・収縮による寸法異常や鑄型の割れを防止するために恒温・恒湿を維持する。通常は室温25℃±2℃、湿度50%±10%位に調整する。

スラリーの配合およびスタッコの種類について表4に纏める。コーティング層第1層は溶湯と直接接触するため、熱的・化学的に安定したバインダーとフィラーを使用する。一般には耐火性バインダーにはコロイダル・シリカ、フィラーには350mesh以下のジルコン (ZrO₂・SiO₂) が使用されている。スラリーの管理には粘度、比重、pH、温度、付着量、スラリーの固形分が測定され、特にpHは9~10.5に維持しないとコロイダルがゲル化しスラリーの機能を発揮できなくなる。これは、コロイダル・シリカにはシリカ粒子の表面にSiOH基およびOH⁻イオンが存在し粒子間の反発により安定していることから、電荷バランスが崩れると粒子同士が凝集しゲル化するためである。ゲル化すると鑄型の強度が出なくなるため、pH値が9.5以下になったらNH₃OH水溶液かNaOH水溶液の希アルカリ溶液を少量ずつスラリーの強攪拌下に添加しpH値を維持する。ゲル化の要因と理論上ゲル化の抑制について表5に示す。スラリーの状態を測定監視し、早期に問題を把握してタイムリーに修正することにより、スラリー寿命を延長することが出来る。製品の品質管理と作業効率の観点からスラリーの測定は重要である。

2.3 脱ワックス

最終層の乾燥が終了したら、脱ワックス工程に移る。ワックスを溶出する方法には、熱衝撃法、加熱液体法、オートクレーブ法、溶剤法があるが、一般にはオートクレーブ法が採

用される。これはコーティング後の鑄型を湯口カップを下にしてオートクレーブ内に配置し、150℃、0.8MPa程度の高圧高温蒸気で加熱し脱ワックスする方法である。加熱による方法であるため、ワックスの膨張に注意しないとコーティング層に割れを生じる。そのため昇圧速度を例えば0.5MPa/5秒とし、ワックス模型全体が加熱膨張する前にワックス表面から急速に溶融溶出するように加熱する。

また、オートクレーブ内が冷えた状態であれば、一度空の状態状態で蒸気加熱を実施してから脱ワックスをする等の配慮が必要である。加圧した脱ワックス法でもワックスの1割程度が鑄型内に残存するため、ワックス模型の組み立て配置では脱ワックスする際に溶融ワックスが容易に流出するように傾斜をつける等の方案を設計しなければならない。溶出したワックスは容器に回収し、固形物を除去して再利用される。

2.4 鑄型焼成

鑄型に残存するワックスを完全燃焼させるためと、鑄型を加熱焼結して強度を高めるために脱ワックス後に焼成をする。この際に鑄型外表面のスタッコが剥がれ落ちるのを防止するためにスラリーをディッピングする場合もある。

セラミック・シェル・モールド法の場合には約1,000℃の焼成炉に鑄型を装入して1時間程度焼成する。焼成温度、焼

表5 ゲル化の要因と抑制

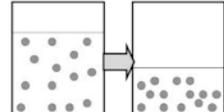
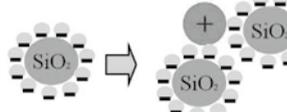
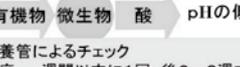
<p>1. バインダー固形分の上昇</p>  <p>粒子同士の衝突回数が増え、結合 測定頻度: 1回/週、脱イオン水で調整</p>	<p>2. pHの低下</p>  <p>(+)イオンによりSiO₂粒子が結合 pH測定 頻度: 1回/日</p>
<p>3. 微生物の増殖</p>  <p>有機物 微生物 酸 → pHの低下 培養管によるチェック 頻度: 一週間以内に1回、後2~3週で1回</p>	<p>5. 電解質の混入</p> <p>pHが低下したのと同じ現象が起こる</p> <ul style="list-style-type: none"> 有害な陽イオンを有するもの ・ジルコン ・アルミナ ・アルミン酸コバルト ・水道水 ・パターンクリーナー
<p>4. 温度上昇 温度測定: 1回/日</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水分の蒸発促進 ・バクテリア繁殖促進(32℃) 	

表4 スラリー配合とスタッコ

鑄型材料	初層スラリー	中間層スラリー	バックアップスラリー	備考
コロイダルシリカ(kg)	100	100	100	SiO ₂ : 30% 連続攪拌
ジルコンフラワー(kg)	350(350#)	270(200#)	-	
ムライトフラワー(kg)	-	-	200(150#)	
界面活性剤(ℓ)	0.2	-	-	
消泡剤(ℓ)	0.05	-	-	
スタッコ	ジルコン	アルミナ/ムライト	ムライト	
スタッコ粒度	70#	42#/28#	24#	

成時間により鑄型の強度、通気度、寸法が変化する。鑄型の高温強度は鑄型材質により焼成温度が異なるが、1,000℃であれば十分強度が保てる。通気度、寸法は焼成温度が高温の場合と焼成時間と共に焼結が進行するため、通気度は高くなり寸法は収縮する。これら焼成条件は寸法を安定させるためにも一定にすることが重要である。また、薄肉部への湯廻りを可能にすること、鑄型を徐冷し金属組織の安定化を目的として、鑄型を保温し鑄型温度を安定させるために耐火物繊維ウールを鑄型の一部あるいは全体に巻くバックングの方法を採用することがある。この場合に鑄型単独よりも熱伝導度が1/1.5～1/2に小さくなるため、焼成時間はバックングが無い場合よりも長くする必要がある。

焼成時には鑄型に残留したワックスとフィラー入りワックスの場合にはフィラーも未燃焼のまま残り、共に炭化して介在物の原因となるため完全に燃焼させることが必要だが、この場合に雰囲気酸素が10%程度必要であると言われている。また、焼成時に煤が出るので、空気を取り込み2次燃焼させることが必要である。

通常は鑄型焼成後そのまま溶湯を鑄造するが、焼成後に室温まで冷却し鑄型内部を水洗浄することもある。この場合には鑄型に入れた水が一方向に流れ出るようにして、鑄型内の洗浄をする。鑄型は十分乾燥させた後に再度焼成してから溶湯を鑄造される。

2.5 溶解・鑄造

精密鑄造法では、構造用鋼やステンレス鋼の溶解には大気やAr気流中で高周波誘導炉を使用して溶解する。Ni基超耐熱合金はAl、Tiのような活性元素を含有しているため、酸素や窒素との反応を抑える目的で真空誘導炉で溶解される。またTi合金では耐火物を用いないスカル溶解炉が使用されている。一般的にこれらの溶解原料には合金成分が調整されているマスター・ヒートの化学成分で規格を管理している。溶解原料の配合を自社で行なう場合には、溶解チャージ毎に化学成分を調整し分析しなければならない。

溶解に用いられる耐火物は、溶湯との反応を抑制した材料が検討される。大気溶解ではマグネシア坩堝、真空溶解では安定化ジルコニア坩堝が一般に採用されている。

大気溶解では溶湯後にFeSiやAlを添加して脱酸し、湯面を一様に覆う程度に除滓剤を追加してスラグを取り除く。昇温、测温して鑄型に溶湯を直接鑄込むか一度取鍋に受けた後、鑄型に鑄込む。鑄造温度は合金の融点+150℃程度にスーパーヒートするが、取鍋を使用する場合には温度降下を補正して更に60～80℃昇温する。過度の昇温は品質への影響が大きいので、不廻りを防ぐためには鑄型の焼成温度を上げ

たり、バックングを適切に施す等の対策をとる方が有効である。

鑄込み方法は、一般的な重力鑄造法の他、反転加圧鑄造法、吸引鑄造法、遠心鑄造法、減圧吸引鑄造法などがある。これらの概要を表6に纏めて示す。

真空溶解では真空中で溶解と鑄造を行なうため、溶解原料装入及び鑄型の装入取出しにおいても溶解室の真空を破壊しないで実施する。連続式で溶解鑄造をするための真空溶解鑄造炉の構成を図3に示す。原料室、鑄型室を設け、溶解室とは仕切りバルブで接続されており、原料および鑄型の装入時にはそれぞれのチャンバー内を真空排気してから溶解室へ装入する。この操作により溶解室は常に真空が保たれるので、溶解坩堝に付着した金属の酸化を抑制できる。また、坩堝を高温の状態維持できるのでスポーリング（耐火物の剥落）も抑制することができる。

さらに溶湯の酸化を防ぐためには、溶解室の真空絶対圧力を維持することが重要であり、そのためリーク速度を測定し監視しておく必要がある。溶解前にArガス導入、真空引きを

表6 特殊な鑄造法

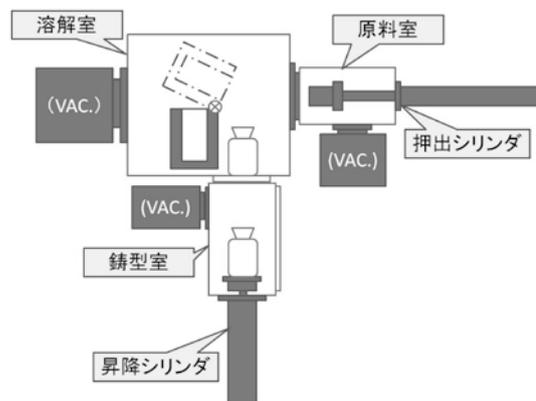
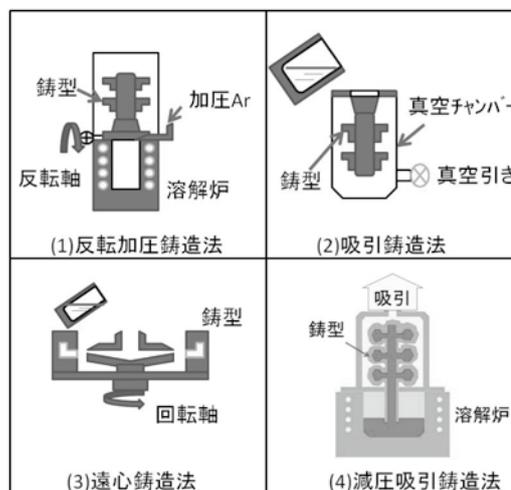


図3 真空溶解鑄造炉の構成

数回繰り返すと、酸素や窒素の分圧を下げる効果がある。また、脱酸にはカーボン源を初装入して溶湯の酸素と反応させる脱酸法を採用する。真空溶解中は溶湯のガス成分がボイリングすることがあるが、Arガスを4~13kPa程度導入すると突沸を抑えることができる。蒸気圧が高い元素の蒸発を抑えるためには合金添加前にAr導入、窒素含有鋼ではN₂を導入する方法がとられる。また、真空溶解ではスラグを除滓することが難しいため、セラミック・フォーム・フィルターを湯口カップに配置してスラグをトラップする方法が採用されている。フィルターの材質はジルコニア質が多く採用されている。

真空溶解での casting は鑄型に直接溶湯を鑄込むが、数個の鑄型に分注する場合には定点に溶湯を注湯出来る溶解炉が適用される。

2.6 後処理および仕上

鑄型の砂落しには振動打撃エネルギーを利用したシェイク・アウト・マシンが一般に使用されている。打撃時間は20秒程度で、時間を掛けてもそれ以上に砂は落ちないため、次工程でショット・ブラスト、サンド・ブラストによって残留した耐火物を除去する。振動打撃法ではインゲート（注入口）にノッチ（切欠き部）を付けて、砂落しと共に製品をランナー（湯道）から分離することが出来る。ランナーを切断する方法は砥石切断、ガウジングやプラズマ溶断による。

湿式の砂落しには高圧水ジェットの衝撃エネルギーを利用する方法とアルカリ溶液に浸漬して化学的に溶融させる方法がある。高圧水は30~100MPaの圧力が適用されるので、製品の掻き疵防止と安全対策を確実にしなければならない。またアルカリ溶液の場合には溶液の流出やスラッジ（廃水洗殿物）の産廃処理に十分留意しなければならない。セラミック・コアを除去する場合にはオートクレーブを使用して、この中に希釈した苛性ソーダまたは水酸化カリウムを入れ130~200℃程度に加熱し、加圧減圧により溶液を沸騰攪拌してコアを除去する方法が用いられている。苛性ソーダはコアの溶解効率が良いが、金属を腐食する傾向が強いため、一般に水酸化カリウムが使用されている。

残存する鑄型耐火物を除去するためにブラスト処理をする。サンド・ブラスト投射機構には汎用型の重力吸引式と研掃効果が高い直圧式がある。サンドには研削力が大きいアルミナ質が用いられる。ショット・ブラストではスチールショットを投射するため研掃力、ピーニング効果が大きく最終のブラスト処理に採用できない場合がある。またスチールが薄く付着するので、このブラスト処理の後に、サンドショットまたは酸洗いを実施し、もらい錆とならないように注意を要する。

湯口ゲートは精密切断、研削砥石、ベルトグラインダ等で製品要求寸法に仕上げる。ベルト研磨の場合には自動可動治

具を稼動してベルト幅全体で研磨する方法を採用すると、ベルトの摩耗が少ないうえ、研磨中に外観検査も同時に実施できるので効率的である。また、ゲート研磨は研磨面の欠陥を被覆することがあるため、研磨後にサンドブラストを掛けるかあるいはブラスト処理の前に研磨を実施しても良い。

仕上工程は製品仕様書と承認図に基づき、表面欠陥の補修、歪の矯正、寸法の修正が行なわれる。種々の検査で検出された表面欠陥や引け巣は、溶接補修が許容されている部分に限り欠陥部を機械的に除去した後TIG溶接で補修する。溶接後は所定の熱処理を実施する。歪矯正は基準面からの寸法をゲージ検査し、プレスによる矯正が行なわれる。寸法修正はワックス模型では保証が難しい嵌合公差の許容値等を機械加工で修正する。精密鑄造品の寸法精度⁶⁾に関し長さ公差と角度公差を表7に示すが、製品寸法に誤差を生じそうなところはワックス模型の設計段階から十分配慮しておく必要がある。

3 精密鑄造品の品質制御

精密鑄造品の品質保証は、外観目視検査、寸法検査、非破壊検査および材質検査で監視される。製品仕様によりロット毎の抜き取り検査または重要保安部品の場合には全数検査が実施される。欠陥の特徴について、工程別に現象と要因・対策を概説する。

3.1 ワックス模型・組立工程

ワックス模型はワックスの成型温度、射出圧力、成型保持時間により寸法や形状に影響を受ける。表8にワックス模型の欠陥と主要因について示す。ワックス模型の収縮率は、ワックス射出温度が高いほど大きくなり、射出圧力が高いほど、射出時間が長いほど小さくなる傾向にある。成型条件を変更する場合には、ワックス模型の寸法を確認した上で変更することが必要となる。寸法は脱型後にワックスの収縮が安定した状態で検する。

ワックス模型を組み立てる工程でワックスの垂れが模型に

表7 精密鑄造品の寸法精度

範囲	一般公差	特別公差
0~25mm	±0.25mm	±0.15mm
25~50mm	±0.40mm	±0.30mm
50~75mm	±0.50mm	±0.40mm
75~100mm	±0.70mm	±0.50mm
100~150mm	±0.90mm	±0.60mm
150mm以上	±1%	±1%
角度45°以下	±1°	±1°
角度45°以上		
表面肌	6S-25S(平均12S)	

付着したり、模型を溶かして変形していることがある。また、模型のゲート部の接着箇所には隙間があるとコーティング・スラリーが差し込み、鑄造時に脱落して介在物欠陥を生じる。その現象を図4に示す。これらの欠陥は鑄造後に検出されることから、ワックス模型を組み立てた後に外観検査を実施して修正しておくことが必要となる。

3.2 コーティング・脱ワックス工程

製品表面の性状は鑄型の第2層までのコーティング層の影響を受ける。特に初層スラリーは、フィラーの均一分散性、適正な粘度、高い固形分濃度を維持してスラリー被膜の厚みを安定させることが重要である。スラリー粘度、付着量が異常の場合の製品への影響を図5に示す。コーティング起因の凸欠陥、バリおよび初層の剥離を抑制するためには、初層の厚みが100~200 μ mで均一に形成できるスラリーの状態を

監視する必要がある。コーティング・スラリーへの浸漬、液切りも重要な工程であり、空気の巻き込みを防止するため30度程度の傾斜をつけて浸漬し、湯口カップを下に向けた静止状態で液切りした後、回転させながら均一なスラリー被膜を形成させる。液切り時間は60~90秒程度必要である。

第3層以降のコーティング層は、溶湯の圧力、脱ワックス時の模型の膨張などに耐える鑄型強度を有するようにコーティング回数を決定する。また鑄造不廻りを抑制するためには良好な通気度を備えることも必要となる。

3.3 鑄造工程

鑄造工程では、引け巣、不廻り等の鑄造欠陥と非金属介在物、溶湯と鑄型との反応等の溶湯起因の欠陥および寸法欠陥が生じる。表9に欠陥の特徴と主要原因を纏める。

鑄造欠陥は、溶湯が鑄型の内壁を伝わり製品部に不連続的

表8 ワックス模型の欠陥と主要因

欠陥の要因		ワックス模型の欠陥								
		クラック	気泡	面引け	漏しわ	肌荒れ	変形	ばり	コア破損	不廻り
成型条件	保持時間過大	○							○	
	保持時間短い			○						
	射出圧力過大	○							○	
	射出圧力低い			○	○					
	射出速度速い		○			○			○	
	ワックス温度高い			○				○		
	ワックス温度低い				○					○
金型	空気抜き不足	○	○							○
	抜け勾配不足	○					○			
	注入口位置不適			○		○			○	
	金型温度高い			○						
	金型温度低い					○				
	合わせ面の摩耗							○		
	ガイドピン位置							○		
	汚れ							○		
クランプ不足							○			
その他	ワックス気泡		○							
	ワックス劣化					○				
	模型保持不適切						○			
	ソルブル巾木位置							○		
	ソルブル強度不足							○		
	離型剤過多		○		○	○				○

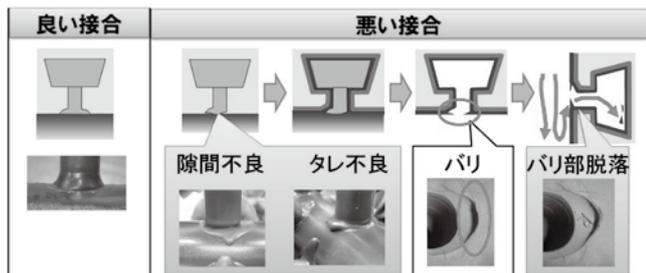
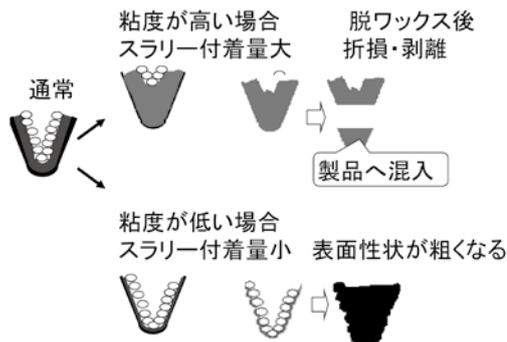


図4 ワックス模型ゲートの接着



な湯廻りを生じると発生し易い。鑄型内の湯流れが出来るだけ速く、静かに立ち上がるように溶湯を鑄込む位置と鑄込み速度を調整する必要がある。また、引け巢は溶湯の供給不足で生じるが、押し湯の高さは最上部の製品上面から70mm以上を確保し、さらに湯口を保温することで押し湯の効果を高めることが出来る。現在は、鑄造方案の設計にCAEを活用して、湯流れと凝固のシミュレーションを一般に実施している。一例を図6に示す。

非金属介在物は、溶湯の脱酸生成物のほかにワックス残渣、鑄型の割れや剥離、フィルターの欠け片、溶解坩堝の剥離などの耐火物起因で比較的大型の介在物欠陥が問題となる。

溶湯起因の介在物は、大気溶解ではスラグを除去できるが、真空溶解ではフィルターの種類や配置方法で濾過する方法が採用される。また、鑄型起因の場合は内部水洗浄が採用されているが、鑄型の初層から第2層までを造り込むことが重要である。非金属介在物は溶湯との比重差により上面側に捕捉されるため、製品の機械加工面は鑄型の下面向きに配置すると比較的加工後欠陥が少なくなる。

鑄造の欠陥として寸法欠陥や割れが型バラシ後に発見されることがある。主に凝固過程での残留応力により曲がり・反りが発生したり、鑄型の拘束や脆化金属組織により薄肉部に割れが発生する現象である。前者は鑄型の製品配置やゲートの長さで調整できる。後者は結晶粒界を微細化する手法が採用され、一般に鑄込み温度と鑄型温度を調整して凝固速度を速めると効果がある。凝固核の微細化に寄与する例えばアルミン酸コバルトのような結晶微細化剤を初層のスラリーに添加する方法も採用されている。

3.4 後工程

鑄造以降の後工程では、型バラシ時の製品落下や製品同士との接触により打痕疵や薄肉部の折れ・割れが発生する。シェイク・アウト・マシンやガウジング切断の製品落下個所には緩衝材を施工したり、接触を防止するため搬送時には衝撃防止板を設ける等の対策が実施される。砂落しやセラミック・コアの除去工程やサンドショット工程では、製品を分離できるように処理用治具に分離枠を設ける等の工夫がなされている。これ以後の工程及び検査工程では製品間に緩衝材を配置する等により接触による疵の防止がなされる。

この入門講座では、精密鑄造の各工程をその原理から詳述し、欠陥の発生原理についても言及した。精密鑄造法の理解の一助となれば幸いである。

表9 鑄造欠陥と主要因

鑄造欠陥	特徴	主要因
不廻り	溶湯がキャビティを充滿する前に凝固したものの	・鑄型、鑄込み温度低い ・鑄込み速度不適
湯境い	溶湯がキャビティを充滿する前に先湯が凝固	・湯流れ鑄造方案不適 ・鑄型、鑄込み温度低い
引け巢	最終凝固部への給湯不足により空隙部を形成	・鑄型保温方法の不適 ・鑄型方案の不適
気泡	溶湯、鑄型から発生したガスを巻き込み凝固	・溶湯の脱酸不足 ・溶湯と鑄型との反応
高温亀裂	鑄型の拘束により金属の凝固点近傍でクラック	・鑄型の冷却速度過大 ・鑄型強度が過大
非金属介在物	脱酸生成物、スラグ巻込、外来性介在物等	・鑄型初層との反応 ・溶解原料からの生成 ・耐火物の剥離
差込み、割れ	鑄型、コアの割れや空隙部に溶湯が差込み	・初層割れ(強度不足) ・初層の気泡過多 ・鑄型、コアとの反応
変形	ワックス模型の変形や凝固歪による変形	・模型の取扱不良 ・凝固速度が不均一

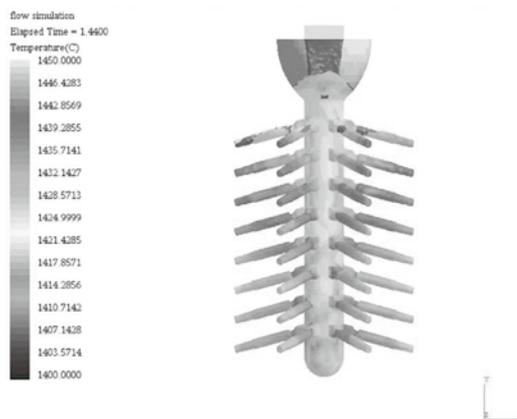


図6 凝固・湯流れシミュレーション一例

参考文献

- 1) 日本鑄物協会精密鑄造研究部会：精密鑄造法，日刊工業新聞社，東京，(1981)，5.
- 2) L.L.Longanecker, M.A.Abdelrahman and W.A.Deabes：The On Line Journal on Electronics and Electrical Engineering, 1 (2009)，2, 109.
- 3) P.Mikkola and G.Scholl：ASM Handbook, Casting, ASM Handbook Committee, 15 (2008)，709.
- 4) 安齋正博：よくわかるRPの活用法，素形材，52 (2011) 8, 29.
- 5) 西川浩二：JACT NEWS, (2002)，19025.
- 6) カタログ，株式会社日立メタルプレジジョン，(2013)

(2014年6月20日受付)