

Catamold®金属射出成形用フィードストック：

工程・特性・用途

技術情報
BASF AG

1. まえがき

金属射出成形(MIM)は、形状が複雑で大量生産する部品において従来の生産方法よりも多くの利点をもつ加工方法である。金属微粉末を熱可塑性バインダーと混合することによって、均質なフィードストックが生産される。この熱可塑性バインダーは、高分子材料でよく知られている造形能力と、十分に確立された粉末焼結技術とを一つの製造工程において組み合わせる役目を果たす。成形された部品は、成形工程終了後バインダーの除去が行われ、その後バインダーが除去された粉末成形品の焼結が行われて高密度の部品ができあがる。

Catamold フィードストックは、加工特性が良好で、寸法安定性に優れており、剛性が高く、そして昇温時の強度低下も少ない半結晶性熱可塑性材料であるポリアセタールバインダーを基に製造されている。ポリアセタールは総合的に優れた物性をもっているため、精密機械部品のような用途によく使用されるが、成形段階におけるこれらの特長は粉末射出成形においても同様に活用することができる。

しかし、Catamold®フィードストック用バインダーとしてのポリアセタールの決定的な特長は、触媒脱脂が短時間でできることにある。適切な触媒が存在すれば、ポリアセタールは融点よりもはるかに低い温度で非高分子化しガス状の組成をもつモノマーまで分解される。このため、収縮中の未反応コアモデルの線に沿って固体バインダーからのガスが制御されながらスムーズに広がっていくことにより、触媒脱脂は成形品からバインダーを除去することが可能になる。バインダーが除去された粉末成形品は扱うときに壊れないようある強度が必要で、その強度を得るために少量のバインダーを残しておくなければならない。このバインダーは通常の焼結工程の早い段階で容易に除去できる。その後の焼結処理では高密度化が圧力をかけずに行われ、実質的にその金属材料の理論的密度に達する。以下の章では、射出成形、脱脂および焼結の各段階においてCatamold®フィードストックに高負荷をかけた場合の加工物性について検討する。

2. 射出成形

Catamold®は、プラスチックよりも熱伝導率、密度および粘度が高い。適切な機械の選定、金型設計、そして加工に際してこれらの差違を考慮しなければならない。

2.1 射出成形機

成形機: Catamold を使って金属射出成形部品を生産する場合、通常の油圧式または電動式射出成形機が使用可能である。

電動射出成形機は、制御フィードバック回路が迅速に動作しし射出および保持段階の間油圧式よりも精度の高い速度制御ができるので、成形が困難な用途の場合に特長を発揮することになる。

スクリー形状: Catamold®は、熱可塑性プラスチック用標準スクリーを使って加工できる。射出容積が可塑性能力によく合ったスクリーを選定する。さもないと、滞留時間が長くなりすぎバインダーの劣化につながる。これは気泡の発生で分かる。圧縮比の小さい3ゾーンのスクリー(圧縮比は1:1.6が望ましいが、最大でも1:2にする)を推奨する。スクリー直径は、通常18~25mmにする。

ノズル: Catamold®には、開放ノズルがもっとも適している。非常にシンプルで流れにやさしい形状のため、射出中にほとんどエネルギーを消費しないからである。

チェックリング: 射出中にスクリー溝に逆流するのを防止するために、Catamold®用スクリーにチェックリングを取付ける必要がある。これにより射出中および圧力保持段階でのピストンの働きが改善される。最も重要な固化段階での制御が不正確なことによる逆流は、焼結部品の異常につながる平坦粒子積層欠陥の前兆になる可能性がある。

耐摩耗処理: Catamold®の加工には通常、窒化または焼入硬化したスクリーと窒化シリンダライナが適している。スクリー先端およびチェックリングは必ずこのような窒化処理を施す必要がある。

2.2 射出成形

金型設計: 金型の設計工程は複雑で、Catamold®の加工挙動、その部品の用途およびコスト関連事項についての正確な知識を必要とする。例えば、生産する部品の数量、利用できる射出成形機の口径および稼働率によって金型中の必要なキャビティーの数が決まる。その部品の機能を考慮して、ゲート、合わせ面およびエジェクタピンの最適位置を検討する。その後、各種ゲート形式についての金型充填挙動を図で表わし、最適位置を決定しなければならない。これにより、合わせ面が一つでよいかどうか、また合わせ面が二つ以上の複雑な金型を作る必要があるかどうか分かる。金型の基本設計が完了すれば詳細設計を開始する。

ゲート装置: Catamold®の粘度はほとんどの熱可塑性材料よりも高いので、ゲート装置による圧力降下を最小限におさえる必要がある。これを達成するために以下の施策を講じる。

- ランナをできるだけ短くする
- ランナの断面をできるだけ大きくする
- ランナの断面を円形にする
- 曲がり半径を大きくとる
- 不必要な加速および減速をなくす
- ホットランナは圧力損失を減らしサイクル時間を短縮するのに役立つ

ゲート: ゲートは以下の基準を満足しなければならない。

- 金型へ一様に充填できる
- 再調整が最小限ですむ
- 圧力降下を最小にするためにできるだけ大きくする
- 厚みが最大の部分に設ける
- 溶融物の噴流を壁またはピンに沿わせるかそれらに向かって流れるようにする

公知のゲートタイプはすべて使用する。粉末射出成形における部品の大多数は相対的に小形なのでピンゲートがもっともよく使われる。トンネルゲートは型締め解除のときに自動的にゲート開放できるので特に適している。ゲートはランナのもっとも狭い部分にあたる。せん断による損傷や分離が起らないように断面およびゲート数を選定しなければならない。

成形: Catamold®部品の設計は必ず以下のように熱可塑性プラスチック用金型設計の関連指針に従って行わなければならない。

- 肉厚の不必要な変化、特に急激な変化がないようにする
- 厚肉にする代わりに補強リブを設ける
- 厚肉部分に中子を設ける
- 角部に丸みをもたせる。Rは0.3 mm以上にする。

- 圧力が相対的に長い自立式中子に対称にかかるようにする

Catamold®の成形品を設計する場合、特に以下の点に準拠しなければならない。

- 溶融物は強力な噴流特性をもっているので金型に入るときに方向変換しなければならない。
- 特に相対的に大型の部品においては熱損失のために、ゲートから離れた位置での流れの先端部の接触(ウエルドライン)が弱点となりがちである。
- ゲートから離れた位置に流れの先端が一つ以上ある場合、流れ抵抗が増大するとすぐに、そのうちの 하나가頻りに停止し冷えてしまう。この先端の背後の金型領域はキャビティーの他の領域がすべて充填されてからでないといふと満たされない。これらがまた成形の弱点になりがちである。

型締め解除: 型締め解除を損傷なしに確実にい成形工程中の問題が発生しないように、Catamold®の冷却中に比較的小規模の収縮によって起こる以下の状況を観察する必要がある。

- 型締め解除方向の表面に0.5~1°のテーパを設ける必要がある。これらの表面は磨く必要がある。
- エジェクタが最大可能領域上の部分に傾きなしに接触すると効果的である。プロファイルエジェクタを特に重要な成形領域に設ける必要がある。

脱気: 周知の「ディーゼル」効果が発生しないように含有空気が金型から逃げたことを確認しなければならない。空気をエジェクタピンまたはランナ端部の合わせ目から逃がすことができない場合、専用の脱気手段を設けるのが最良の方法である。流路の端部に適正な脱気スロット(深さ0.01~0.02 mm)を設けることが必要不可欠である。というのはここに空気が閉じ込められるからである。補助エジェクタピンがポケットに閉じ込められた空気を抜くのに役立つ。

金型温度調節: 金型温度はCatamold®の加工に際して非常に重要なパラメータの一つであり、金型を確実に一定の温度(±2°C)に調節しなければならない。したがって、金型とクランプ板との間に断熱板を設けることが望ましい。成形形状によっては金型表面温度を140°Cまで上げることができる。熱伝導率が高い材料を充填するので、金型温度が低すぎると金型充填中に表面付近でかなり早く冷える。固化によって断面積がかなり減り薄肉部分での充填が不均一になる。金型温度調節用として熱媒油温度調節装置(3~6 kW)を推奨する。

ホットランナ金型: スプルーのリサイクルを避けるためにホットランナ法が使われる。金型全体が高温になっているのでホットランナの断熱は困難ではない。型締め解除の際材料が糸を引くことがなくスム

ーズにはがれるので、複雑なニードル弁ノズルは不要である。

点検整備: 脱気が必要不可欠なことが多いので、大量生産時に品質を維持するために金型の定期的な分解清掃が必ず要求される。

清掃頻度は、品質、金型の状態(摩耗)および使用する運転条件によって変わる。頻度は、条件が非常に悪い場合1万ショット毎、通常は20万ショット毎くらいの範囲にある。

圧力および温度が極端に高い場合もっと頻繁に整備する必要があり、摩耗速度も上がる。

可能であれば金型設計の変更が望ましい。

可動部に対して高温用潤滑剤を塗りすぎないように使用する。グリースまたは油がエジェクタからしみ出してウエルドラインの問題を起こす。瞬間的流れが生じると金型の摩耗が早くなり、これが運転条件および部品の品質に影響を及ぼすことがある。金型を分解したときにゲート寸法が摩耗によって変化していないかを確認する。

複数のキャビティーのある金型においては、摩耗速度にばらつきがないかを確認する。キャビティーのバランスに狂いが生じていないか調べるために、適時少量ショットによる充填チェックを定期的に行う。

2.3 射出成形機の運転

成形品質は主として以下のパラメータで決まる。

- 材料、シリンダおよび金型の温度
- 射出、圧力保持および冷却の時間
- 射出、保持の圧力および背圧
- 射出速度およびスクリー供給速度

可塑性: Catamold®は均質なフィードストックのため、さらに均質化を行う必要はない。不必要な過熱およびせん断を避けるために、溶融はできるだけ穏やかな状態で行う必要がある。通常の射出成形機の場合、スクリー最適速度は20~50 rpm、すなわち周速3~5 m/minである。ただし、可塑性時間を延ばしても全体のサイクル時間に悪影響を及ぼすことはない。というのも、冷却時間がいづれにしても長くその時間をこの目的に使えるからである。シリンダの温度パターンはせん断加熱を避けるために170~190°Cにする。

流れ挙動: Catamold® 316LGを例として流れ挙動を図1に示す。粘度レベルは通常の熱可塑性材料より高い。擬似可塑性、すなわちせん断速度が高い領域での粘度低下がプラスチックよりも顕著である。この結果、断面の狭いゲートに充填するときの流れに影響を及ぼす圧力増加は、大型ゲートと比べて相対的に小さい。

射出速度: 射出速度は金型充填が0.5~1秒で完了するように設定する必要がある。量の多いショット(30g以上)の場合のみ、金型充填時間が1秒近くになっても許容できる。通常10~30 cm³/sの範囲の一定した射出速度が適切である。ショット容積が小さい場合は、5~10 cm³/sに設定した方がよい。噴流が避けられない場合は、射出を層流が広がるまで低速で開始する必要がある。その後速度を上げればよい。容積切換えのタイミングは金型充填状態を検討して決める必要がある。

射出圧力: 射出圧力は射出成形機で設定できるが、これが圧力の上限になる。ノズル、ゲート装置および金型における流れ抵抗の合計がこの圧力に達しない場合には、あらかじめ規定した射出速度を維持できる。しかし、抵抗が圧力限界を超えると射出速度は圧力限界に達した時点で低下する。

ゲート領域を見ると、圧力は流れ抵抗の増加とともにそして金型内の流路を進むに連れて増加する(図2)。金型寸法によって600~1800 barの最大射出油圧が要求されるが、一般的なものは1000 barである。容積充填の達成、すなわち金型キャビティーからの空気の完全な追い出しが射出段階の完了を意味する。その後、保持圧力への切換えが距離、時間または圧力信号を介して行われる。

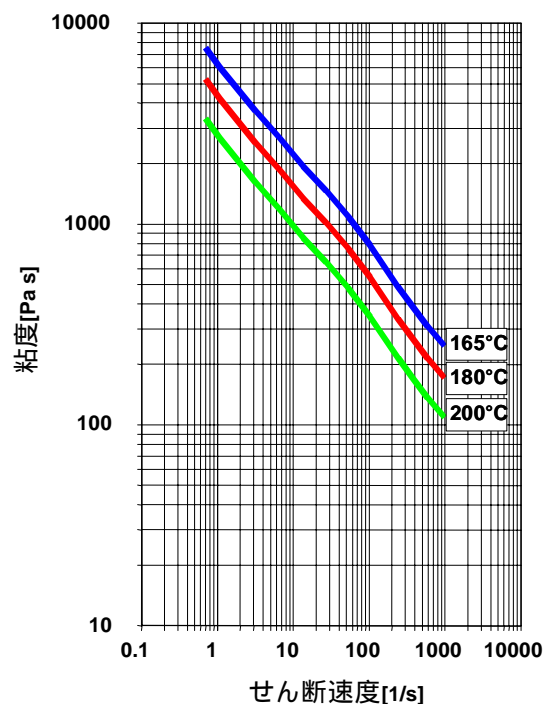


図1 Catamold® 316LGの流れ曲線

保持圧力: 保持圧力段階は、射出段階の完了後に始まりキャビティーが大気圧になったときに終了する。機内の保持油圧は、スプルーが固化しゲートが閉鎖され次第ゼロに切換えられる。というのも、もはや機械圧力を介して成形品に影響を及ぼすことはできないからである。ゲート閉鎖のタイミングは、設定された保持時間の関数として成形重量を測定することにより実験的に決定できる。閉鎖時点を超えて段階的に増加させても重量がさらに増加することはない。保持時間の上限をこの時間にすることがある。

冷却: 保持段階の終了後、部品は冷却を続けて固化を完了し型締め解除に必要な強度が得られる。大体の目安として、冷却時間(秒)は肉厚の2乗(mm)に等しい。

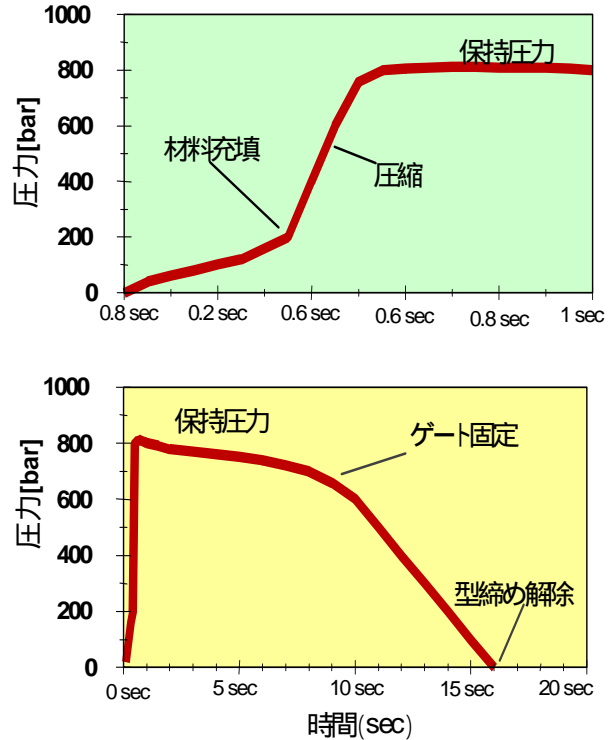


図2 射出成形中の圧力変化(模式図)

PVT ダイアグラム: 金型内の圧密化および冷却もPVT ダイアグラム(図3)で表わすことができる。このダイアグラムは温度および圧力の関数としての比容積の変化を示す。材料が加工温度 180°C で射出され実質的に冷却なしで保持圧力(金型内圧約 800 bar)で圧密される(A-B)。また材料は、金型の空間への充填に加えて金型内へ詰め込まれる。保持圧力に達した後材料は、実質的に一定圧力の下で冷え始める。結晶化の温度範囲を通過するとき溶融材料が金型へ連続的に流入するので、比容積が定常的に減少する。このようにして冷却中に生じる容積収縮が補填される。結晶化範囲の終点(点C)でスプルーが固化する。金型に流入した材料はここで封止され、一定容積の下で冷える。材料がさらに収縮するので圧力降下が始まる。大気圧(点D)に達すると、金型内で部品に圧力がかからないことになる。これが成形品を取り出すのに最適のタイミングである。

保持圧力がもっと高く設定されていると、金型温度に達したときに部品にはまだ圧力がかかっており開放時に型締め解除方向に弛緩することになる。突き出しに伴う問題以外に異方性が生じるおそれがあるのでこれは避けなければならない。したがって圧力と金型温度とを別々に変えることはできない。

またこれらの相互関係から、ゲートを最大材料蓄積領域に設けないと空隙なしの部品が作れないことがはっきり分かる。
 ゲートを閉鎖してから固化するまでにかなり時間がかかる領域が金型内にはあるので、容積収縮を補填するために十分な材料を導入するのはもはや不可能である。成形品の外皮は固化の際安定した枠を急速に形成する。一般的に空隙または空孔は、溶融物が内部で最終的に固化する部分で発生する。

収縮: DIN 16901によれば、射出成形における収縮は金型寸法と金型寸法に関連する成形品寸法(冷却された状態での)との差である。収縮は複数の要因で構成されている。これを図4でCatamold® 316LGを成形した部品を例として説明する。すなわち、加工温度(130°C)における金型寸法は熱膨張が原因で室温におけるよりも約0.2%大きい。この影響が収縮に逆に作用する。保持圧力を正しく設定すれば、成形品の型締め解除が金型温度において大気圧下で行われる。型締め解除直後の未処理の圧密材の寸法は、金型温度における金型寸法に対応する。部品はその後室温まで冷え(図3のDからEへ)、一方、部身体積は等方的に2.2%収縮し、長さは充填度合いにもよるが約0.7%縮む。したがって、未処理の圧密材全体の線形収縮は約0.5%になる。

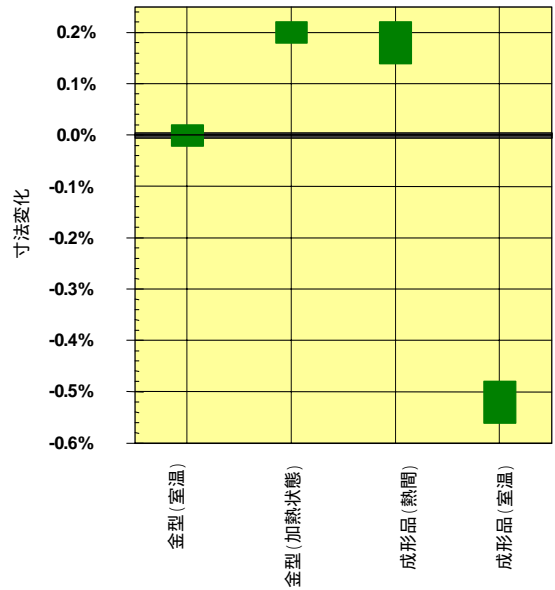


図4 成形中の収縮

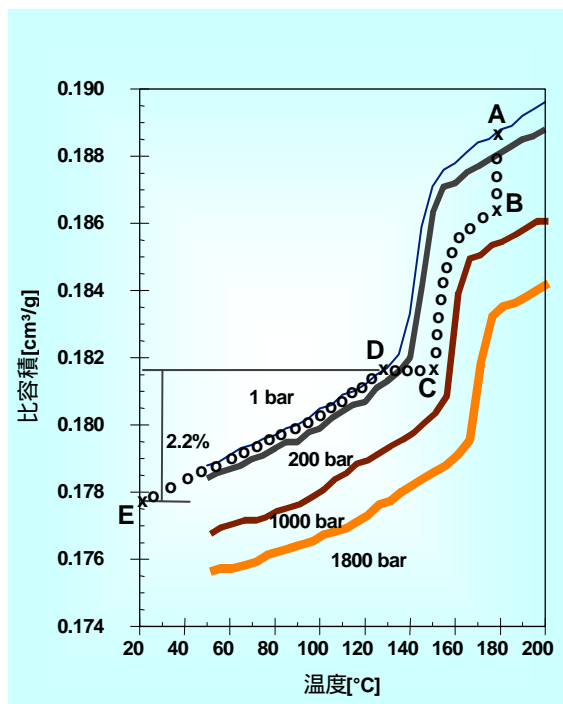


図3 Catamold® 316LGのPVTダイアグラム

3. 脱脂

脱脂原理: Catamold は、バインダーの触媒による気相分解に対する能力において非常に独創性をもっている。これはポリアセタールの化学構造固有の能力である。ポリアセタールの鎖の特性として、図5に示すように炭素・酸素結合が多数連なっている。高分子鎖の酸素原子は、酸に冒されやすく適切な酸の触媒に曝されると高分子がCH₂O(ホルムアルデヒド)基に連続的に分割される。脱脂工程に使われる触媒は、濃度が98.5%以上の硝酸ガスである。

この反応が粉末射出成形の脱脂に非常に適している

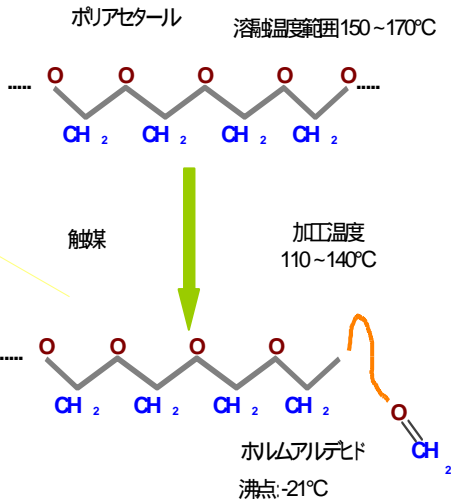


図5 脱脂の化学的モード図

理由はこの反応が起こる条件にある。脱脂は110°Cで急速に進むが、この温度はポリアセタールの溶解温度範囲 150~170°C(これは図3の固化温度範囲とは一致していない)よりはるかに低い。したがって、高分子は固体からガスへと直接転換される。バインダーとガスとの界面は、Catamoldのグレードによるが、1~2 mm/hの直線速度で内側方向に進む。ホルムアルデヒドの小さな気体分子(沸点: -21°C)は、部品のすでに多孔性になった外側の領域を通して粉末粒子の圧密構造を破壊することなく容易に抜けていく(図6)。同時にバインダーはまだ完全に剛性があり、バインダー除去中引き続き部品の剛性を保ち塑性変形を防止するので、良好な寸法精度が保たれる。

ポリアセタールの除去完了後も、耐酸性のバインダー成分(通常当初のバインダー含有量の約10重量%)が残留する。これにより、バインダーを除去し後の成形した粉末の強度が保たれ取り扱い時こわれにくくなる。

有機物の残留分は以下の焼結工程で除去される。

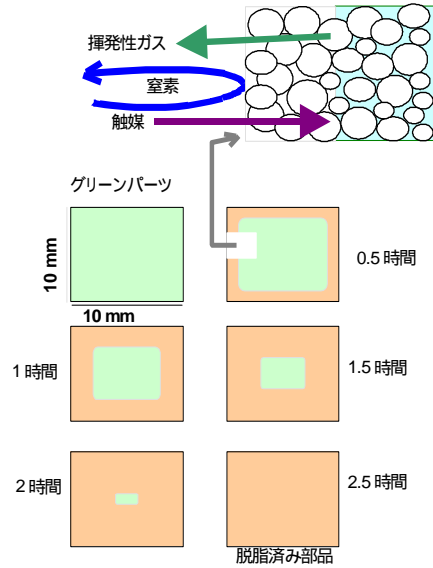


図6 脱脂機構

脱脂炉: 図7(p.7)は脱脂が実際にどのように行われるかを示す。脱脂する部品を炉の格子状の支持板に載せる。この炉は、ガスを十分に攪拌するためにファンを備えている。少量の触媒をポンプで計量して炉に供給しセラミック製またはガラス製の皿の中で蒸発させる。キャリアーガスとして窒素を使用する。

実験室用炉(50 lit)は、硝酸約40 g/hおよびN₂約500 lit/hを必要とする。これより大形で容積が430 litまでのバッチ式脱脂炉が炉メーカー数社から発売されている。また、脱脂工程では連続式分解炉も使われており、Catamoldを使う金属射出成形ではこれが通常の方法である。

脱脂を開始する前の1時間の掃気サイクルで炉は不活性雰囲気になされ、同時に未処理成形部品および炉は110°Cまで加熱される。

脱脂時間が長すぎても部品に害はないが短すぎると不良品が出る。したがって、ゆっくりとした速度で処理を開始し、1時間刻みに脱脂時間を減らしどこで重量ロスが減り始めるかを見極め、そのあと直前の脱脂時間に戻すことを推奨する。

炉に部品、特に小形部品、をいっぱい詰め込んだ場合、脱脂時間はサンプル運転のときに比べて最大50%長くなる。したがって、スケールアップする場合にはこれらの注意事項を考慮しなければならない。

排出ガスは2段階式バーナで処理される。第1段階ではプロパンガス炎中で酸素欠乏状態で燃やされる。硝酸から発生した余剰の硝酸成分およびNO_x成分はほとんどN₂に還元される。ここでホルムアルデヒドが強力な還元作用を行う。第2段階では

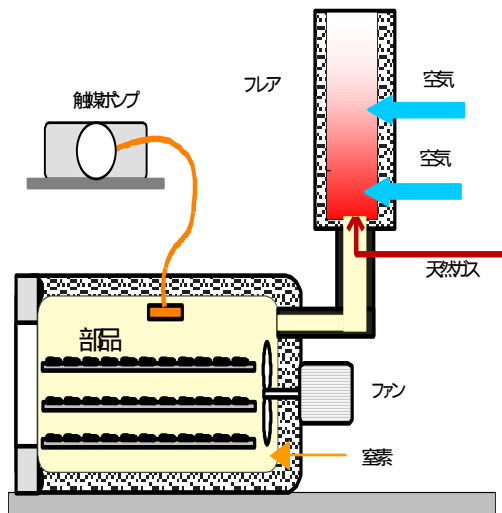


図7 脱脂炉

空気を補給して完全燃焼させる。排煙は現行の環境法に準拠している。

部品の支持: 脱脂炉における部品の支持方法は部品の形状によって変わる。成形品は棚の上でもっとも安定するように、底面をどこにして置くかを定める。部品同士の間隔はガス置換が妨げられないように十分大きくとる必要がある。脱脂時間は、部品を多孔板または金網上に置いて部品の下側でもガス置換が行われるようにすることによって短縮できる。

脱脂温度: 実用上の下限温度は、硝酸の露点から十分間隔をとるために 100°C とし、上限は基本的にバインダーの軟化点に設定する (150 ~ 170°C)。実用上の上限温度は 140°C である。標準として 110 ~ 120°C を推奨する。

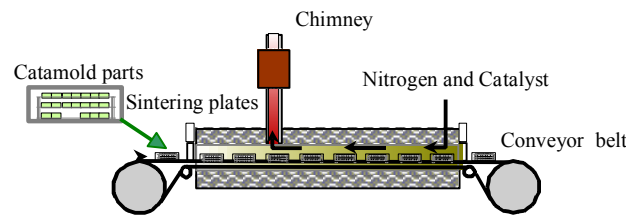
硝酸: 脱脂速度は基本的に酸の流れに伴って増加させることができるが、窒素流量 500 lit/h において 40 mlit/h (50 g/h) を超えると酸化ガス濃度と脱脂によるホルムアルデヒドとで、極端な場合自然発火条件を作り出す可能性がある。当社の推奨値および仕様値は、98.5%以上の硝酸による経験を基にしている。脱脂プロセスは硝酸濃度がもっと低くても機能するが、これより低い濃度の硝酸を使うかどうかはユーザの責任によって決めていただきたい。

脱脂速度: 炉温度が 110°C のときの一般的な脱脂界面進行速度は、1 ~ 2 mm/h である。炉への装填量を増やすと脱脂時間が増加する。部品を最小脱脂時間を超えて炉内に放置しても、部品に対して通常悪い影響はない。

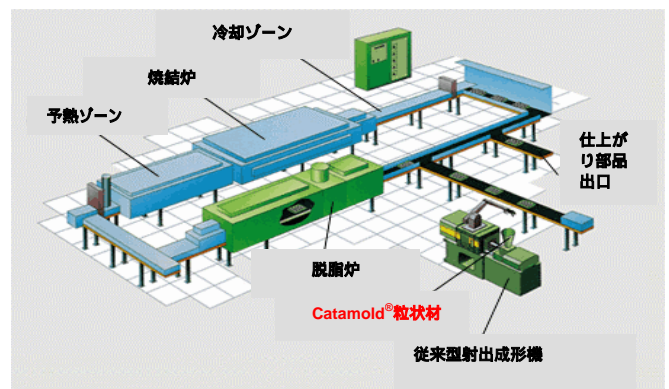
工程管理: 工程管理のために管理部品 1 個か 2 個について脱脂を行うと有益なデータが得られる。部品の最終重量から脱脂程度を判断できる。また、脱

脂状態を新しい破面から評価することもできる。脱脂が済んでいない中心部は異なった色になっているので破面鏡ですぐに確認できる。詳細については、文献⁹で検討されている。

連続式脱脂: Catamold®成形品の脱脂時間は短いので、連続式脱脂・焼結炉の使用が可能になった (図8)。連続式炉もバッチ式炉と同様、窒素・触媒混合剤を使用する。ガスは部品の移送と反対の方向に流れ、燃焼のために上方から抜き出される。部品は炉に入る際予備加温室を通過する。これにより、部品表面で触媒が凝縮するのを防止する。



- | | |
|-----------------------|-------------|
| Chimney | 煙突 |
| Catamold parts | Catamold 部品 |
| Sintering plates | 焼結板 |
| Nitrogen and Catalyst | 窒素および触媒 |
| Conveyor belt | コンベヤベルト |



4. 焼結

焼結は、原子レベルでの熱的に活性化された材料の移送であり、結果的に粉末粒子の比表面積が減少する。粒子同士の接触面積が増え空孔容積が減るので、巨視的な意味で部品が収縮する結果となる。焼結の目的は、脱脂状態では高度な多孔性を示す品物の物性を空孔のない材料の物性に変えることにある。

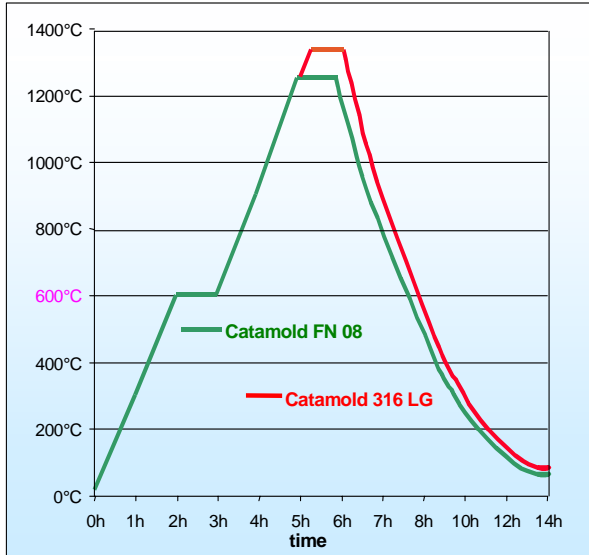


図9 焼結中の温度曲線

温度プログラム：脱脂済みのCatamold®部品を焼結する場合、成形品がまだ少量の残留バインダーを含有していることを忘れてはならない。したがって加熱温度曲線には、これら高分子を熱的に完全に分解させるために600°Cでの保持段階が設けられる。所要の最大焼結温度は材料によって変わる。冷却速度は、5～10°C/minにする必要がある。炉の種類によっては、冷却中この速度への到達が早くなったり遅くなったりする。炉の特性に従ってさらに冷却が行われる。

焼結雰囲気：表1に挙げたCatamold®グレードは、保護ガスの雰囲気中で焼結されている。低炭素鉄・ニッケル鋼およびステンレス鋼に対しては純水素を使う。炭素を含有する低合金鋼の場合は金属粉末を介して炭素を添加する。窒素雰囲気中で焼結する場合には、相当炭素量が材料中に取り込まれることになる。実用上かなりの困難を伴うため、焼結雰囲気を介して炭素を添加したり部分的に除去したりすることはない。ステンレス鋼も減圧下で焼結できる。工程管理が適切に行われれば、バインダーが炭素収支に影響することはない。

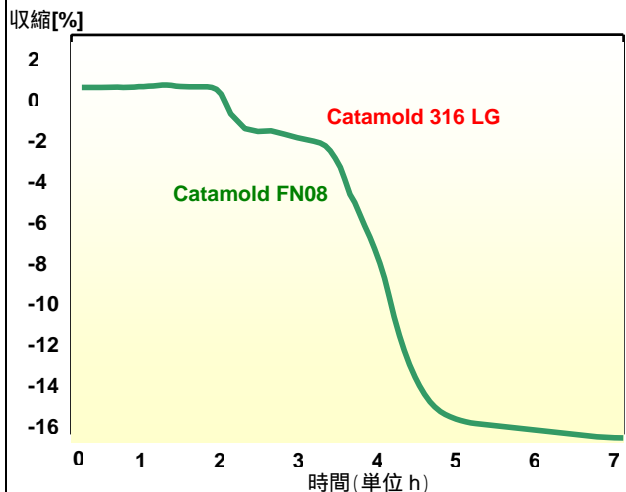
収縮過程：図10の膨張曲線に示すように、材料が熱に曝されると材料特有の収縮挙動を示す。測定は、図9の温度曲線に基づいて行われる。Catamold® FN08の場合収縮は、既に600°Cで始まる。収縮速度は約900°Cまでは定常的に増加する。その後部品ははるかに遅い速度で収縮し漸近的に最終値に向う。Catamold® 316LGの場合、収縮過程はもっと遅く約1100°Cで始まることは注目に値する。

ただしこの材料に対する総収縮量は、充填率が高いためにはるかに小さく高温側でのみ達成される。寸法誤差を低くおさえるために最大限の収縮が行われるようにしなければならない。焼結工程を漸近的最終値に達するはるか前に終わらせると、炉内のわずかな温度差により部品寸法がかなりばらつくことになる。

Catamold®	水素	窒素	真空
FN02	☒	☒	→
FN08	☒	☒	→
8620		☒	
42CrMo4		☒	
100Cr6		☒	
430	☒		→
316L	☒		→
17-4PH	☒		→
W	☒		

☒ 推奨 → 使用可

表1 焼結雰囲気



焼結中の支持：焼結工程中の部品をどのように支持するかは十分な収縮が支障なく行われるようにするための極めて重要な課題である。棚は十分滑らかにする必要があり部品に影響を及ぼさないものでなければならない。張出し部が長いと曲がりを生じやすい。曲がり避けられない場合、成形した横木または支持具を使うことにより問題が解決できるかどうかを見極める必要がある。ただしこの場合、あ

との段階でこれらの部材を除去するための工程を追加する必要が生じる。

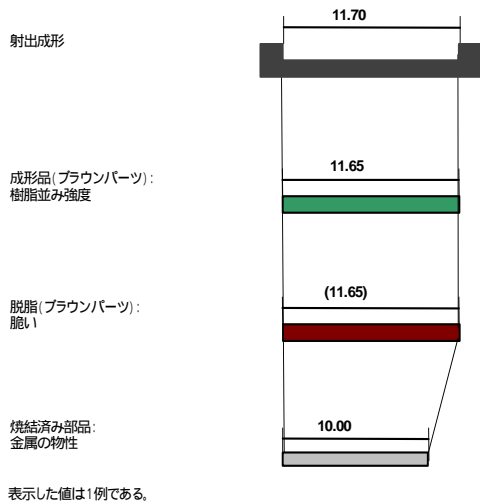


図 11 各処理段階における収縮

5. 物性

Catamold®製品の範囲は、純鉄および鉄・ニッケル合金から高合金ステンレス鋼、軟質磁性材料、工具鋼および特殊合金に及ぶ。さらに詳しい情報は、Catamoldカタログの最新版に掲載されている。Catamold製品グレードについては、Catamoldカタログの最新版または当社のホームページ www.basf.de/catamold をご覧いただきたい。

密度: 仕上がり部品の最終密度が焼結品質を判定する尺度になる。一般的に最終密度が高ければ高いほど機械的特性がよくなる。工程管理を適切に行えば、Catamold®材料の密度範囲は理論値の96~100%になる。残った空孔は非常に小さく均等に分布する。これら空孔は実質的に球状なので亀裂発生のかきかけにはならない。

寸法精度: 金属射出成形加工で通常達成される線形収縮精度は±0.5%である。これに関連するISO基本公差(DIN 7151)を図12に示す。これらの公差を守るために各生産ロットで収縮検査を行う。

公称寸法	公差±mm
> 3 mm	0.05 mm
3 – 6 mm	0.06 mm
6 – 15 mm	0.075 mm
15 – 30 mm	0.15 mm
30 – 60 mm	0.25 mm
> 60 mm	寸法の±0.5%

図 12

ユーザが実際に達成できる寸法精度は特に生産設備に左右される。図11は、金属射出成形工程中のどの段階で収縮が起きるかを示す。この図を見れば、焼結段階で収縮度合いが変わる可能性ももっとも高く、したがって特別の注意が必要であることがすぐに分かる。

機械的性質: Catamold®材料を適切に処理した場合に得られる代表的な値を表2に掲げる。これらの値は目安にはなるが、場合によっては処理条件によりかなり変わる可能性がある。

純水素雰囲気焼結したCatamold® FN02 および FN08 は、実質的に炭素を含有しないフェライト組織になる¹。純鉄(Catamold® F: 60HV)と比較してCatamold® FN08 の硬さが120HVまで増加することが、ニッケルとの合金にするおもな理由である。窒素雰囲気の場合当初の最大炭素量0.6~0.8%が保持され、パーライト主体の組織になり硬化処理が可能になる。

Catamold® 8620、42CrMo4 および 100Cr6 の焼結は窒素雰囲気で行う。Catamold® 8620 の硬さは650 HV1 まで上げることができる。Catamold®

Catamold®	状態	密度 [g/cm ³]	降伏強さ R _{p0.2} [MPa]	曲げ強さ [MPa]	引張り強さ R _m [MPa]	伸び [%]	硬さ
FN02	水素雰囲気焼結 浸炭処理	7.5	150		250	25	100 HV10 600 HV10
FN02	窒素雰囲気焼結 熱処理	7.5	250 800		500 950	3 3	160 HV10 340 HV10
FN08	水素雰囲気焼結 窒素雰囲気焼結 熱処理	7.5	200		350	15	120 HV10
		7.5	400		700	3	210 HV10
			1100		1350	1	400 HV10
8620	水素雰囲気焼結 浸炭処理 侵炭窒化処理	7.4	400		650	5	190 HV10 650 HV1 800 HV1
42CrMo4	窒素雰囲気焼結 熱処理	7.4	400 1250		650 1450	6 2	180 HV10 45 HRC
100Cr6	窒素雰囲気焼結 熱処理	7.4	500		900	5	230 HV10 60 HRC
430	水素雰囲気焼結	7.55	220		400	30	125 HV10
316L	水素雰囲気焼結	7.85	180		510	50	120 HV10
17-4PH	水素雰囲気焼結 熱処理	7.65	550		950	6	320 HV10
			950		1100	8	38 HRC
M2	窒素雰囲気焼結 熱処理	8.1	800	2430 2300	1200	1.2	600 HV0.5 67 HRC
W	水素雰囲気焼結	17.8					320 HV1

表2 機械的特性

42CrMo4の場合、適切な熱処理を施せば引張り強さは1450 MPaになり、かつ良好な剛性が得られる。

Catamold®	FN08	316LG
R _z	9.2 μm	10.4 μm
R _a	1.4 μm	1.6 μm
R _m	11.6 μm	12.4 μm

表4 表面粗さ

Catamold® 100Cr6については、通常の硬さレベルとして700 HV10(60 HRC)以上が達成できる。

Catamold® 316LGの場合、還元雰囲気炭素量を0.03%という非常に低い値にすることができる。真空下で焼結すると、水素雰囲気焼結するよりも粒状組織は幾分粗くなり微細な空孔はむしろ減少する。代表的な引張り強さは510 MPaで、硬さは120 HV10になる。この材料は通常の腐食試験に容易に合格する。

水素雰囲気Catamold® 17-4PHを焼結すると、実質的に空孔のない硬さ約320 HV10の二相組織になる。析出硬化熱処理を施せば所要の硬さ42 HRCが得られる。

疲労特性: Catamold® FN02, 8620 および 42CrMo4 の疲労特性の検討が、²で行われている。

表3にデータのとめを示す。疲労特性は粉末冶金と比較して優れており動的負荷がかかる場合で

Catamold®	FN02	8620	42CrMo4
焼結時	150 MPa	200 MPa	150 MPa
熱処理	250 MPa	500 MPa	500 MPa

表3 疲労限度

も金属射出成形鋼を安心して使える。

表面: Catamold®部品の焼結後の表面粗さは粉末の粒径と同じレベルになる(表4)。密度が理論値の99%のステンレス鋼部品を焼結後磨くのは容易である。低合金製部品は、熱処理、クロムめっきまたはニッケルめっきを施すことができる。

磁気特性: Catamold®フィードストックグレードには、316L、フェライト磁性鋼、例えば430、および軟質磁性合金、例えばFeSi3のような非磁性鋼が用意されている。さらに詳しい情報(ヒステリシス曲線)も入手可能である。

耐食性: Catamold®フィードストックとして、耐食グレードおよび低合金グレードが用意されている。詳細は、⁸に述べられている。

リサイクル: Catamold フィードストックは適切に加工されればリサイクルが可能である。未使用のフィ

ードストックとリサイクルしたフィードストックとを50:50で混合する方法がよく行われている。Catamoldをリサイクルできる回数は、加工された製品、シリンダ内での滞留時間の累計および成形中のせん断応力によって変わる。当社は極端な例として100%リサイクル試験を行い、未使用フィードストックから開始してリサイクルを3~5回繰り返しても成形性および品質に著しい衰えがないことを確認した。

粒状化を再度行う場合、低速回転の粉碎機またはコーンクラッシャを使う必要がある。高速粉碎機は使わない方がよい。

包装: Catamold製品は、使い捨てダンボール容器または鉄製ドラム缶にポリエチレン内袋に袋詰されて収められている。保存期限は2年である。この粒状フィードストックは、初めて開封した際に乾燥さす必要はない。所要量のフィードストックを取り出したあと、ポリエチレンの袋を再度密封しなければならない。フィードストックを数日間大気にさらしておくと、水分が付着し成形上の問題(気泡の発生)が生じることがある。乾燥することにより元のフィードストック物性に戻す助けとなるが、水分の付着がひどい場合には完全に元には戻らない場合もある。乾燥処理条件として、乾燥空気で100°C/2hまたは真空下で80°C/1hを推奨する。

6. 用途

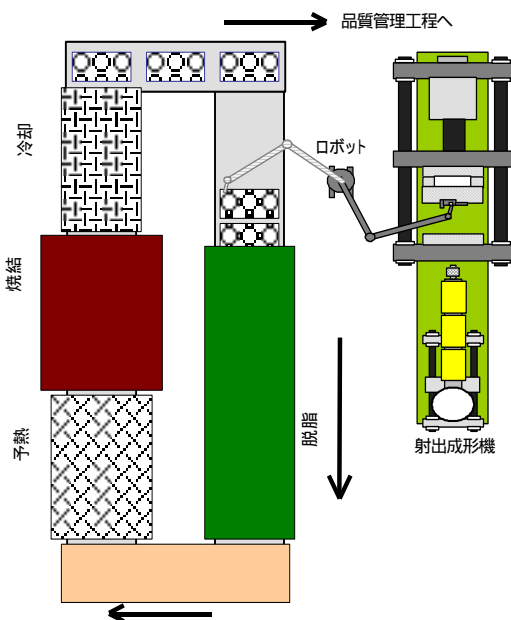


図 13 連続式金属射出成形プラント

金属射出成形の代表的な応用分野は、時計工業(ケースおよびバンド留め金)、宝飾品製造、マシン部品、鉄製品および医療機器で、機械部品(歯車、レバー等)にもさまざまな用途がある。図 14 の写真集を参照。

金属射出成形加工により設計の融通性が広がる。一般的に金属射出成形加工では粉末冶金よりはるかに高い密度(96~100%)が得られ、その結果、機械的特性もはるかに優れている。プレス焼結加工において原料粉末の硬さが固体圧密品を作るのに極めて重要であるが、金属射出成形加工ではこの要因は実質的に関係ない。長時間の生産運転における最大コスト要因はプレス金型であるが、金属射出成形加工のコストはほとんど原料粉末で決まる。

金属射出成形加工は精密鑄造と比較して公差幅が狭く表面状態も良好である。金属射出成形加工の組織は、鑄鋼と比べて肉厚全体にわたって均質である。そのあとの熱処理による曲がりの可能性もはるかに少ない。ステンレス鋼および低炭素鋼については熱処理を完全に省略できる。

所要の材料の機械加工が困難であったり不可能であったりしても、最終形状に近い製品ができることも大きな利点である。

金属射出成形法は全体的に見て自動化にかなりの効果を発揮する可能性を有する。この可能性を実現させる重要な一歩が連続式Catamold®プラントで、図 13 に示すように現在すでに稼働している。射出加工と組み合わせれば、完全自動金属射出成形プラントの構想がすぐに実現できる。

注記: 本書に掲げた情報は、当社の現在の知識と経験に基づいている。加工および用途に影響を及ぼす可能性のある要因が多数存在するという観点から、これらのデータはユーザが自身で実験・試験を行う義務を免除するものではない。すなわち、これらデータは、ある性質について法的拘束力のある保証または特定の目的に対する適合性を意味するものではない。当社から当社の製品の供給を受ける者は、所有権および既存の法律・条例が順守されていることを確認する義務を有する。

参考文献:

¹ Langer E. M., Schwarz M., Wohlfromm H., Blömacher M., Weinand D.
Metallographic investigations as part of the development of injection molded alloys and optimisation of the MIM technique
Practical Metallographie 33 (1996) 5

² Blömacher M, Keller K, Langer E. M., Schwarz M, Weinand D, Wohlfromm H
Physical Properties of injection molded steels
PM Conference, Chicago, 1997

³ N. N.
Metal Injection Moulding
European Powder Metallurgy Association
Shrewsbury, UK

⁴ German R. M.
Sintering Theory and Practice
Wiley, New York, 1996

⁵ German R. M., Cornwall R. G.
Worldwide Market and Technology for Powder
Injection Molding
The International Journal of Powder Metallurgy
Volume 33, No. 4, 1997

⁶ German R. M., Bose A.
Injection Molding of Metals and Ceramics
1997, ISBN 1-878954-61-X
Metal Powder Industries Federation

⁷ Weinand D., Blömacher M.,
Formmassen für den Pulverspritzguß:
Verarbeitung - Eigenschaften - Anwendungen;
DGM-Seminar Pulvermetallurgie vom 8-
10.11.1995, Karlsruhe

⁸ Wohlfromm H., Blömacher M.,
Corrosion resistance of MIM stainless steels
MPIF NJ 1999

⁹ Krug S., Blömacher M.,
Catalytic Binder Removal in Theroy and Practise
Euro PM conference 2001, Nizza 2001

Business Management ☎ +49 621 60 43547

Arnd Thom
Business Management ☎ +49 621 60 43028

Diana Derschum
Product Management ☎ +49 621 60 40487

Contact:

BASF AG,
G-CAS/PP – J 513,
D-67056 Ludwigshafen
Germany

Fax.: ☒ +49 621 60 22198

Dr.Roland Spahl
Director ☎ +49 621 60 43358

Dr.Hans Wohlfromm
Research & Technology ☎ +49 621 60 55754

Martin Blömacher
Business Management ☎ +49 621 60 43020

Johan ter Maat

図 14 写真集



指輪 : Catamold PANACEA

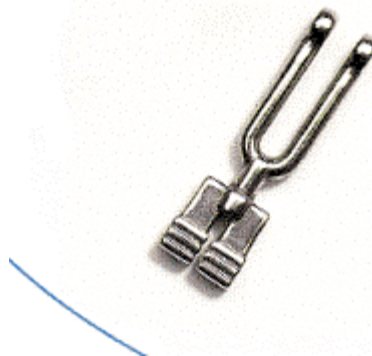


医療部品 : Catamold チタン

燃焼室 Catamold 316LG



コンバーチブルトップ用ラッチ : Catamold FN02



めがね部品 : Catamold 17-4PH



車輪およびプランジャ : Catamold チタンおよび 17-4PH