

樹脂の射出成形加工 –樹脂の流れに着目して考えてみる–

第4回 金型内に注入された水あめ状の樹脂

★樹脂製品の射出成形加工とは、

2枚の型がつくる空間に樹脂を流し込んで固めて、型がつくる空間の形状を樹脂でコピーする加工である。

はじめに

第3回では、射出成形機の加熱筒先端のノズルを金型のスプルと接触させ（ノズルタッチ）、加熱筒内に計量された水あめ状の樹脂をプランジャで押し込みながら金型内に注入（射出）する様子を見てきました。

また、ノズルタッチの時にノズルの熱がスプルを経由して金型側に奪われ、ノズルの温度が下がり樹脂の流動性が悪くなることに注意が必要だと述べました。

今回は、金型内に注入（射出）された水あめ状の樹脂がどのように流れ、2枚の型が作る空間を満たしていくのかについて樹脂の視点で追ってみます。

金型内に注入された水あめ状の樹脂

樹脂材料が持っている熱を伝える能力は、金型に使われている鉄等の金属の数百分の1であり、熱を伝えにくい材料です。台所にあるフライパンは金属でできていますが、握る部分は樹脂でできているのを思い出してください。フライパンで料理をしている時には、素手で握って火傷しない温度になっているはずです。

詳しく知りたい方は、「熱伝導率」や「熱伝導度」のキーワードで検索していただくと専門的な情報が出てきます。



1) 断熱パイプの形成

さて、樹脂の熱を伝えにくい性質は、金型内で樹脂がどのように流れるのかを考える上で重要です。スプルを経由して注入された樹脂は、「ランナ」と呼ばれる空間を埋めながら成形品形状の空間に流れていきます。このランナと成形品形状の空間の間には、流路が狭くなっている「ゲート」と呼ばれる個所があります。このゲートの役割は、後ほど改めてお話いたします。

ランナの断面は、直径数ミリの丸や台形です。水あめ状樹脂が金型の金属に触れると、樹脂から金属側に熱が奪われます。樹脂内部の熱の移動速度は、金属の数百分の1と遅いので、樹脂の熱はゆっくり奪われていきます。水あめ状樹脂は、熱を奪われると粘度が上昇して動きにくくなり、さらに熱を奪われるとやがて固まって動かなくなります。水あめ状の樹脂は、「水あめ状」を維持しながら目的地の製品形状に加工された空間にたどり着かなければいけません。



ここで、樹脂内部の熱移動がゆっくりである「断熱性」が活かされます。ランナの金属壁と接触して動けなくなった樹脂は、そのまま断熱性のパイプになります。もちろん、「完璧な断熱」ではありませんから、熱は金属壁と接触している面からどんどん漏れていきます。熱が金属壁に奪われた樹脂は、水あめとして流れにくくなってやがて固まりますから、樹脂の断熱パイプは時間が経つほど細くなっていきます。



そこで、断熱パイプが詰まらないうちに、水あめ状の樹脂をどんどん流して製品形状に加工された空間に樹脂を送り込みます。この時、成形機側から流入してくる樹脂が持っている熱は、断熱パイプが細くなるのを遅らせるためにも使われます。

2) 樹脂射出のコントロール

金型への樹脂注入時の成形機側の操作は大きく2段階に分かれます。

- ① 加熱筒内のネジ状の棒（スクリュ）をプランジャ（押し棒）として、注射器のように水あめ状樹脂を金型内に押し込む操作。（射出工程：射出速度制御（V））
- ② ほぼ金型内に樹脂が充滿したら、水あめ状樹脂が逆流してこないように圧力をかけ続ける操作。（射出工程：射出圧力制御（P））



金型のランナ表面が樹脂で覆われて、断熱パイプとなり水あめ状の樹脂を送れるようになりますが、水あめ状の樹脂をゆっくり送っていたのでは断熱パイプの穴がどんどん細くなってしまいます。そこで、プランジャを押し込む速さを調整して、水あめ状の樹脂が製品形状の空間に届くようにします。

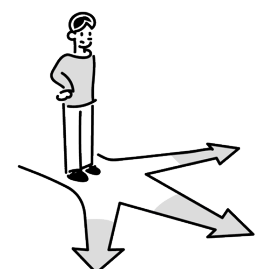
金型に樹脂を注入する「射出工程」は、**射出速度制御（V）**と**射出圧力制御（P）**の二つの制御が使われます。

射出速度は、プランジャを押し込む速さとイメージしてください。1秒間に何ミリ押し込むか、つまり1秒間にどのくらい水あめ状の樹脂を注入するかを設定します。ここでも射出圧力の設定を求められますが、プランジャを動かす速さと「その結果生まれる圧力」を同時にコントロールすることはしていないので「安全弁」と思ってください。設定した「射出圧力」以上にしないようにして、金型を壊さないようにするなどの役割があります。

成形品形状を完璧にコピーするためには、ランナの断熱パイプの穴が無くなる前に、成形品形状の空間に水あめ状樹脂をほぼ満タンにする必要があります。金型毎にスプルやランナを含めた樹脂の必要量が計算されていますので、その計算量の9割以上を射出速度制御で充填する方法が一般的です。金型の樹脂流路の複雑さに合わせて、射出速度を段階的に変えることも多いと思います。

では、「ランナの断熱パイプの穴が無くなる前に大急ぎで樹脂を充填しなければいけないのか？」という疑問がありませんか？「とにかく射出速度を早くすれば安心！」・・・残念ながら、そうではありません。

射出速度を上げると樹脂に大きな圧力がかかるので、樹脂中のエネルギーが増えます。樹脂内のエネルギーが増えると樹脂は流れやすくなりますが、増えすぎると樹脂自身が分解してガスを発生します。また、複雑な形状の金型内のメイン通りばかりが優先して充填されてしまっ、脇道に充填されにくいなどの問題が起きます。



想像してみてください、水あめのようにゆっくり動きたいものを無理やり押し込んだらどうなるかを。そして、金属の壁面に接触した樹脂は、固まって動かなくなる現象が同時に起こります。ですから、金型のランナ壁面をメイン通りも、脇道も、早く・綺麗にコーティングしていくようなスピードで水あめを充填するのが良い射出速度ということになります。「早すぎても、遅すぎても、ダメ!」ということです。

金型内の樹脂がほぼ満タンに出来たら、樹脂の逆流を防ぎながらジワジワと充填できるように、注入する樹脂圧力を一定にする「射出圧力制御」に切り替えて水あめ状樹脂の注入を継続します。



3) 金型内の空気の影響

さて、射出成形には美しいコピーを短時間に作ることを求められていることを思い出してください。樹脂の種類と金型のランナの太さはすでに決まっています。与えられた樹脂と金型を前にして、美しいコピーをいかに短時間でつくるか考えてみましょう。

★射出成形時にコントロールできる条件

- a) 水あめ状樹脂の流し易さ：可塑化条件
- b) 金型への充填スピード：射出速度
- c) 樹脂の熱が奪われる速さ：金型温度



3つ挙げましたが、もう一つ忘れがちな条件をコントロールすることができます。

それは、**金型の空間内の空気**の存在です。パイプの中へモノを詰め込んでいくと何が起きるでしょうか？

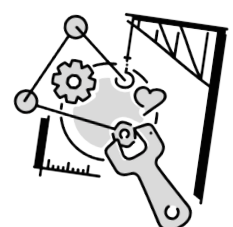
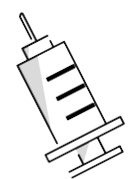
注射器の先端を塞いだ状態で押し棒（プランジャ）を押し込むと、「強い反発」を感じることを覚えていますか？注射器の中には空間があります。つまり、そこには空気が入っています。この空気がプランジャの先端で押されますが、出口が塞がっているので出られません。そこで、押し込んだプランジャを押し返すので「強い反発」を感じる・・・という訳です。

この注射器の中の空気と同じことが金型の空間でも起きています。

空間を満たす空気の逃げ場がないと、水あめ状の樹脂に圧力をかけても注入しにくくなります。動けないのに圧力がかかっていますから、樹脂内部のエネルギーが上昇して樹脂自身の分解を引き起こし、ガスが発生します。すると、空間を満たす気体が増えるので、ますます樹脂注入の抵抗になってしまいます。また、ガスと空気の混合気が圧縮されて発熱すると発火し、焦げ跡が残ることもあります。

普通はこのような現象を防止するために、金型に隙間を作って空気や樹脂から発生したガスが抜けるようにしています。この金型の隙間は、時間当りに逃がすことができる空気やガスを想定して設計されています。ですから、想定した以上に早く逃がすことができません。隙間を広くすれば大量の空気を早く逃がすことができますが、樹脂も一緒に流れ出てしまうので、普通はそのようなバランスを考えた隙間が予め作りこまれているのです。

もし、成形品の形状を作っている型がいくつか分割されているようなら、それもまた空気を抜く工夫かもしれません。



このように、空間の空気やガスを抜きながら樹脂を充填できるように金型設計されていますが、たくさんの成形品を連続して成形していると、隙間が狭くなって空気やガスが抜けにくくなってきます。樹脂を水あめ状にするときや、水あめ状の樹脂を金型に押し込んだときに発生するガスに含まれている成分が、金属に触れて冷やされヤニ状（油状）になり、隙間を狭くしてしまったためです。そのため、時々金型を分解してきれいに掃除してやる必要があります。分解せずに掃除出来る場合もありますが、いずれは分解掃除が必要になります。

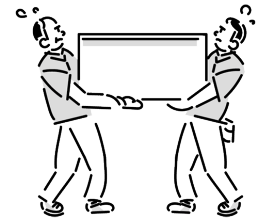


金型分解の要・不要にかかわらず、掃除のために成形加工を止めるのは生産時間のロスになります。出来れば、必要な数量の生産が終わってからにしたいものです。では、どうすれば良いか？・・・空気は隙間を塞がないので、樹脂から発生するガスを少なくすることが効果的です。樹脂に余分なエネルギー（熱・力）をかけなければ、ガスが発生しにくくなるので、長時間成形できるはずですよ。

ここでもう一度、射出成形時にコントロールできる条件を書き出してみます。

★射出成形時にコントロールできる条件

- a) 水あめ状樹脂の流し易さ：可塑化条件
- b) 金型への充填スピード：射出速度
- c) 樹脂の熱が奪われる速さ：金型温度
- d) 金型内樹脂流路の空気の抜けやすさ：金型設計、ガスベントの調整・追加



「早く」「美しく」金型のコピーを作るためのコントロール条件を考えるためには、金型内での樹脂の流れを想像しながら、(a)～(c)のバランスを上手にとる必要があります。金型内での樹脂の流れにはベストがありますが、(a)～(c)の条件の組み合わせは一つではないことが普通です。その中から、(d)にも配慮して掃除の回数を減らすことができれば、「ベストなコントロール条件」と言えると思います。

射出成形機に金型を乗せたり降ろしたりするのは時間や人手がかかる作業ですから、1回でも少なくしたいものですよ。



4) 樹脂の形状を固定する（冷却工程）

樹脂材料は熱の移動が遅い材料ですが、樹脂の熱を奪ってあげなければ固まりません。一般的に、射出成形加工で一番時間がかかる工程は、金型内の樹脂が型から取り出せるよう固まるのを待つ工程（冷却工程）です。

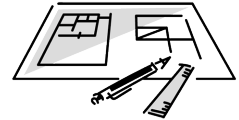
射出成形機では、この冷却工程の時間を無駄にせず、次の成形で射出するための水あめ状の樹脂を作って溜めています（可塑化・計量工程）。しかし、冷却工程が長すぎると次の二つの問題が発生します。①に対して、安定した量産を行なうために、水あめ状の樹脂の滞留時間を極力短くする工夫がなされています。

- ① 溜められた水あめ状の樹脂に熱が与えられ続ける。：樹脂が焦げて着色したり、ガスが発生する。
- ② 成形加工に必要な時間が長くなり、儲けが少なくなる。

樹脂を冷やして固めるといふと、金型の温度を下げることを考えてしまいます。しかし、水あめ状樹脂が持っている熱の奪い方を考える必要があります。水あめ状樹脂が持つ熱を金型の金属に移動させ、金属に移動させた熱を水や油の熱媒で金型の外へ運び出すことを想像して、どこが熱の移動を妨げているのかを考えて対策することが必要です。



熱源となる水あめ状樹脂の熱量は多すぎないか、金型の外に運び出されている熱量は金型の設計値通りかなどを、まず確認することが大切だと考えています。樹脂がなかなか固まらないのは、金型に設けられた冷媒の通り道（水管）が、錆びや壁面への付着物により狭くなり、冷媒の流れが妨げられて熱を運び出せていないせいかもしれません。



今ある金型、使わなければいけない樹脂材料と二つの条件が変えられない中で、出来ることには限界があります。ですから、成形品の生産時間を考えて、樹脂にとって無理がない、合理的な成形が出来るように**金型の設計段階から配慮する**必要があります。

樹脂の熱が奪われる速さのコントロール（c）は、「金型温調器」から金型に供給される水など、熱媒の温度と流量で行います。金型への入口と出口の熱媒の温度差が1から2℃以内になるように、熱媒の流量を設定するよう教科書では指示されていますが、実現することは難しいです。理由は、金型内に熱媒を通すための穴（水管）の直径や流路により、一定の時間に流せる熱媒の量が決まってしまうからです。

とはいえ、金型温調器から金型に行き、樹脂の熱を奪って戻ってきた熱媒の温度差（戻りの方が高い）と熱媒の流量（ℓ/分など）は、金型の冷却能力を管理する上で大切な情報です。それは、熱媒の温度差と流量から、樹脂から奪ったエネルギー量が計算できるからです。たとえ、いちいち計算しないとしても、温度差と流量に変化が無いことを確かめておくことをおすすめします。



ここまで、金型内に注入された水あめ状の樹脂が金型内を満たしていく様子や、水あめ状の樹脂の熱が金型に奪われ固まっていくことを見てきました。金型は、樹脂から受け取った熱を水などの熱媒で金型温度調節器に運び出していることもお判りいただいたと思います。

第5回では、「適量の樹脂」についてお話しいたします。お楽しみに。