

第3回 : 成形法、品質保証のポイント

1. 成形法

樹脂部品を成形する際の主な成形法と特徴を表1に示します。表1に記載した工法以外に、ペットボトルなどを成形するブロー成形、トレーなどを成形する真空・圧空成形などが挙げられます。ここでは、金属部品を樹脂化する際に、生産性、品質などを考慮したときに有用な成形法の概要について述べます。

| 成形法 | 使用材料 | 適用性 | 設備等、経済性 | 作業性 (経済性) |
|----------|--------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------|
| 圧縮成形 | ・主に熱硬化性樹脂 | ・多種多用の製品 | ・成形機、金型は比較的安価 | ・成形時間が長く、大量生産不適 |
| トランスファ成形 | ・熱硬化性樹脂 | ・均質な成形品 ・大型成形品他 ・精密、複雑形状品 | ・成形機、金型は圧縮成形より複雑、高価 | ・成形材料、条件の適正選択必要 |
| 射出成形 | ・熱可塑性樹脂 ・熱硬化性樹脂 | ・高精度、複雑形状成形品 | ・成形機、金型価格は比較的高価 | ・成形サイクル短く、高効率 |
| 積層成形 | ・熱硬化性樹脂 ・熱可塑性樹脂 | ・面積大の板状製品 ・棒状品 | ・大型圧縮成形機が必要&設備が高価 | ・板厚、種類による条件の選択が必要 |

表1 各種成形法と特徴

金属代替部品を樹脂で製作する場合、耐熱性、高強度、寸法安定性など、製品の厳しい要求仕様を満足させる必要があるため、第1回で述べたように、カーボン繊維(CF)、ガラス繊維(GF)などを添加した複合強化樹脂を使用する場合があります。

昨今、金属の樹脂化が進展している自動車部品においては、使用環境面から、高耐熱、高強度、および軽量化が要求され、成形材料も長繊維のCF添加複合強化樹脂の使用が不可欠になっています。一方、高荷重、高温が負荷されないOA機器、通信端末で使用される小型部品では、短繊維CF、GF添加複合強化樹脂が使用されます。

このように、部品の要求仕様、使用環境、サイズなどにより使用する樹脂が異なることから、最適な成形法を選定する必要があります。

ここでは、CF、GF添加熱可塑性樹脂、CF、GF添加熱硬化性樹脂を使用する主な成形法の特徴について述べます。

1.1 CF、GF添加複合強化(熱可塑性)樹脂の成形法

主な成形法に射出成形法があります。本成形法で使用する金属代替樹脂は、主にエンジニアリングプラスチック、スーパーエンジニアリングプラスチックのため、樹脂温度、金型温度は高温になります。例えば、ポリフェニレンサルファイド(PPS)、ポリエーテルサルフォン(PES)では、金型温度は130~150℃、樹脂温度は340℃前後と非常に高温になります。

成形機も耐熱仕様のスクリーを使用します。金型を成形機に取り付けて成形する際は、金型の取付け板と成形機のプラテンの間に断熱板を介在させて、金型の熱が成形機のプラテンに伝わり、熱によるそりなどの影響が生じないようにしなければなりません。射出成形法の1サイクルを図1に示します。

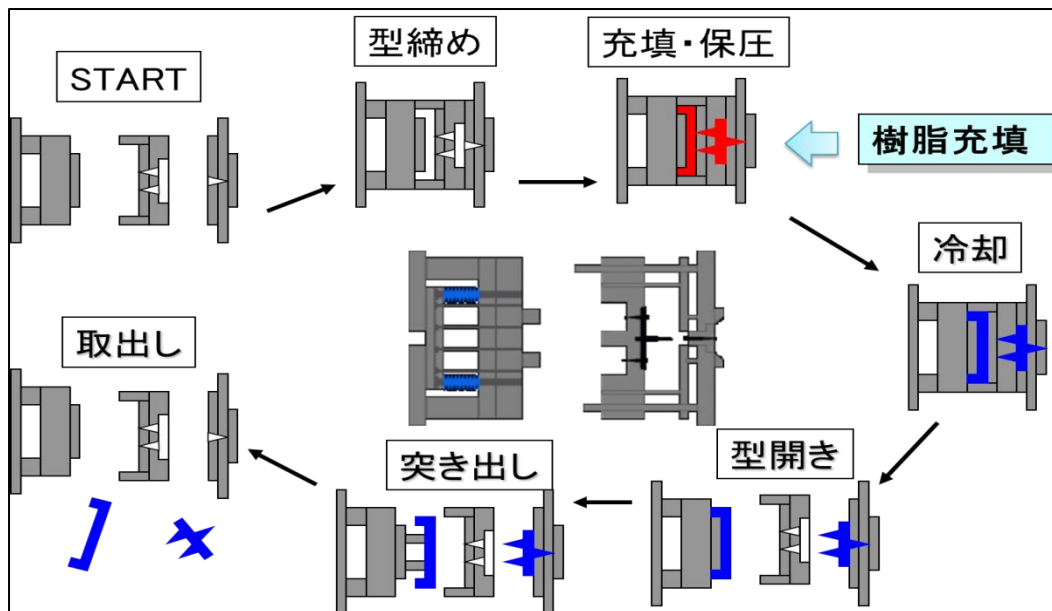


図1 射出成形1サイクル

自動車などで高荷重が負荷される部品を製作する場合、長繊維CF添加複合強化樹脂を使用する場合がありますが、射出成形法で製作する場合、専用のスクリーを使用しないと長繊維CFの破断が顕著になり、機械的強度の低下を招くこととなります。

このような不具合を回避するための施策として、長繊維CFを含浸したシート材を積層して成形する積層成形法があります。積層成形法の概要を図2に示します。

CF含有熱硬化性樹脂の場合、CFに樹脂を含浸させたシートを数枚重ねた状態で金型内の製品形状部に挿入後、加熱溶融・圧縮して樹脂の架橋反応で硬化後、金型から取り出して部品を製作する方法です。

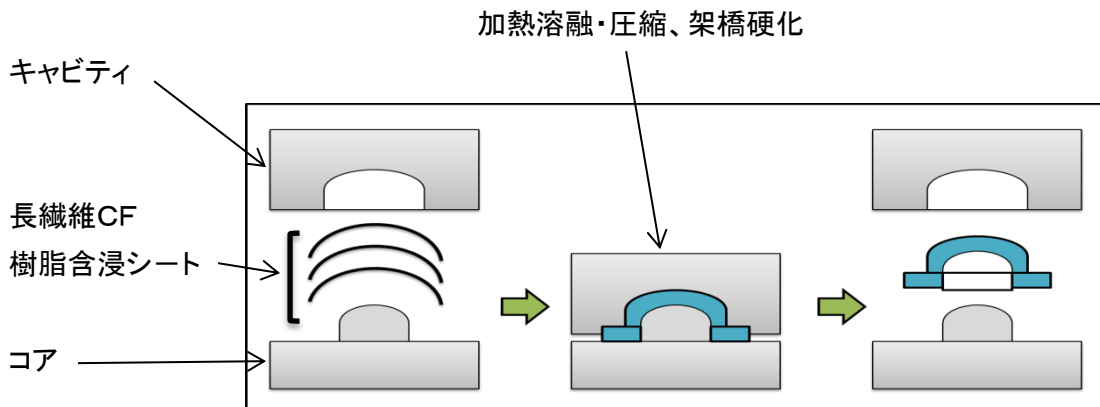


図2 積層成形法の概要

1. 2 CF、GF添加複合強化(熱硬化性)樹脂の成形法

主に使用する樹脂は、不飽和ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、フェノール樹脂などがあげられます。表1の各種成形法にあげた全ての成形法で成形可能ですが、部品サイズの大・小により適用する成形法が異なることがあります。

ここでは、トランスファー成形法について概要を述べます。図3にトランスファー成形金型、図4にトランスファー成形の概略の工程、また図5に成形品を示します。図3の金型のポットに円柱形のエポキシ樹脂を投入し、約140℃に加温した金型の熱で溶融させた後、ランナーを経てキャビティに充填し、化学反応(架橋反応)によりエポキシ樹脂が固化します。その後、キャビティから成形品を取り出します。成形時間は概ね3~3分半程度が必要なため生産性が悪いのが短所です。

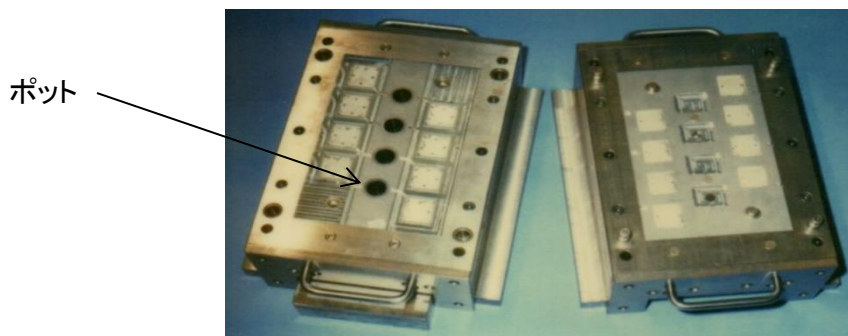


図3 トランスファー成形用金型(出典:NEC)

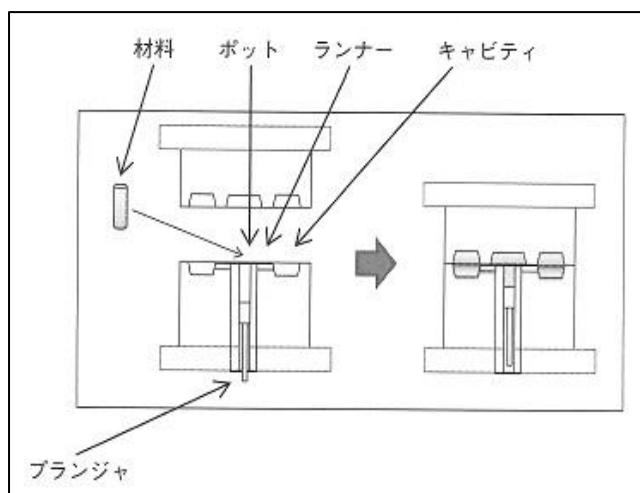


図4 トランスファー成形概略工程

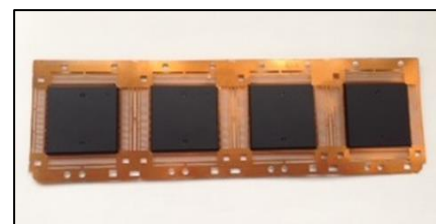


図5 成形品(IC封止)
(出典:NEC)

しかし、射出成形時のようにスクリー回転によるCF、GF繊維の切断がなく、機械的強度の低下の心配は不要で高品質の成形品を製作することが可能です。

以上、金属を樹脂化する際の主な成形法と特徴について概観しましたが、成形部品の大・小、寸法精度、インサートの有無など、部品に要求される仕様(含む、コスト)を満足させることが可能な成形法を選定する必要があります。

2. 品質保証

樹脂部品の寿命は材料によって異なりますが、長い材料でもおおむね7～8年程度です。特に屋外で使用する場合、結晶性樹脂は耐候性が良く、寿命は長く、非晶性樹脂は1～5年程度と短いのが一般的です。一例を表2に示します。

| 樹脂 | 推定寿命(年) |
|-----------|---------|
| 高剛性ABS | 2.5～3.5 |
| 高衝撃性ABS樹脂 | 1.5～2 |
| GF強化ABS樹脂 | 1～3 |
| ポリカーボネート | 3～5 |
| メタクリル樹脂 | 7～8 |

表2 樹脂の寿命例

CF、GF含有複合強化樹脂の場合、使用する樹脂でおおよその寿命が決定されます。このように、使用する樹脂材料で寿命の推定が可能ですが、実際に樹脂の試作部品で性能を評価しなければなりません。

樹脂部品の場合、金属と異なり力学的性質の温度依存性、時間依存性があるため、金属代替としての樹脂部品においては強度確保が重要なポイントになります。温度依存性、時間依存性には十分に留意して試験を行い、品質を確認する必要があります。

試験内容については、外観、寸法精度、機械的強度、耐熱性、耐候性、衝撃強度などさまざまな項目がありますが、加速試験によって寿命推定、長期信頼性保証を行うことが重要です。試作品を使用して外観確認、寸法測定などを行うことで、製作後間もない時点での品質の良否確認はできますが、上述した温度依存性、時間依存性を考慮した長期の品質信頼性に関しては、数か月から数年、あるいは数十年が必要になります。

顧客の要求仕様(短期～長期)を満足する部品、製品をタイムリーに提供するためには、長時間をかけてまで試験を行う余裕はありません。このような時間のロスを省くために加速試験を行うことが必要です。

加速試験例として、経験則ですが部品の使用温度が10℃低下すると寿命は2倍に伸びるという“10℃2倍則”があります。部品の経年劣化の主因が温度である場合、部品の寿命を近似できます。一例として、10℃2倍則の式を図6に計算例を図7に示します。部品の通常の使用温度が50℃である時の寿命を推定します。80℃の高温で高温試験中、720時間で微小クラックが発生したと仮定すると、通常使用時50℃の環境では5700時間相当でクラックなどのトラブルが発生する可能性を示唆した結果になります。10℃2倍則はあくまでも経験則から導出された考え方で、試験で使用する部品の品質ばらつき、湿度などの状態によって試験結果が異なる可能性があることには注意する必要があります。

$$L = L_0 \times 2^{\frac{T_0 - T}{10}}$$

L_0 : 実測寿命(h)
 T_0 : 実測温度(°C)
 T : 想定温度(°C)
 L : 予測寿命(h)

図6 10°C2倍則の式

| | | |
|------------|---|----------|
| 実測寿命 L_0 | = | 720 (h) |
| 実測温度 T_0 | = | 80 (°C) |
| 想定温度 T | = | 50 (°C) |
| 予測寿命 L | = | 5760 (h) |

図7 10°C2倍則活用計算例

$$P = T(C + \log tr)$$

T : 絶対温度(K)
 C : 材料によって決定する定数
 通常の高温材料の場合、20程度
 tr : 破断時間(h)
 P : 温度のみ変化させた場合、一定

図8 ラーソン・ミラー式

また、樹脂部品に荷重が負荷された場合、時間が経過すると変形量が増加するクリープ現象が起きますが、長時間のクリープ現象による破断試験を短時間で代用する有用な方法として、図8のラーソン・ミラー式があります。本経験式により、高温・短時間の試験結果から、低温・長時間の試験結果が推定できます。ただし、温度上昇によって破壊の機構が変化しないという前提が必要になります。

このように、樹脂の特性を理解したうえで、部品に要求される仕様を満足することを確認し、品質保証できる部品を次工程(2次加工、組立など)、あるいは顧客に提供することが大切です。

参考文献)

※本稿は大塚正彦著、日刊工業新聞社出版、2019年3月号の“工程ごとに見る「金属部品の樹脂化」の要点”、成形法、品質保証のポイントを基に、筆者が加筆・修正した。