

平成12年度ものづくり人材支援基盤整備事業
－技術・技能の客観化、マニュアル化等－

プラスチック用金型製作の 技術・技能マニュアル

平成13年1月

中小企業総合事業団
情 報 ・ 技 術 部

目 次

1. 私たちの暮らしとプラスチック製品	3
2. プラスチック射出成形と金型	3
3. プラスチック射出成形用金型の基本構造	5
4. プラスチック射出成形用金型の製作プロセス	6
4-1 金型設計	6
(1) 成形収縮の検討	6
(2) 抜き勾配の取り方	6
(3) アンダーカット処理方法	6
(4) エアベント構造	6
(5) 冷却水孔	7
4-2 CAD/CAM	7
4-3 機械加工	8
(1) 材料取り	8
(2) 荒仕上げ 及び 荒取り	8
(3) 吊りボルト用穴あけ	8
(4) 直角出し・研削加工	8
(5) いんろう合わせ	8
(6) 冷却水穴加工	8
(7) ケガキ作業	8
(8) 穴あけ加工	8
(9) キャビティ・コア部のマシニングセンタ加工	9
(10) 切削工具と保持具	9
(11) マシニングセンタによる加工	9
(12) CNC型彫り放電加工	10
(13) CNCワイヤーカット放電加工	10
(14) 成形研削加工	11
4-4 手仕上げと組み立て	11
(1) 回転ヤスリによる仕上げ作業	11
(2) 紙ヤスリで表面を磨く	11
(3) つや出し作業	11
(4) ダイヤモンド磨き	11
(5) 型合わせ	11
(6) ガイドピン、ブッシュの打ち込み	12
(7) 押し切り部調整	12
(8) 組立て	12
4-5 成形試作	12

5. 射出成形と成形不良	13
(1) バリによる成形不良品	13
(2) ひけによる不良品	13
(3) そり、曲がり、ねじれによる不良品	13
(4) ウエルドラインがある不良品	13
(5) ショート・ショット(充填不足)	14
(6) すり傷	14
(7) 割れ、クラック、白化	14
(8) 焼け	14
6. 成形品の品質管理	15
7. 今後の金型製作の進展	15

1. 私たちの暮らしとプラスチック製品

私たちの身の周りには、様々なプラスチック製品があります。家庭用品や家電製品、そして自動車、新幹線、航空機などの様々な部分にプラスチックが使われています。携帯電話のケースやノートパソコンのキーボードなどハイテク製品でもプラスチック製品が多用されています。

現代社会において、プラスチック製品は欠くことのできない存在になっています。

2. プラスチック射出成形と金型

こうしたプラスチック製品のほとんどは、溶融したプラスチックを金型と呼ばれる型の製品を成形する部分（専門語として、キャビティ、およびコアと呼ばれています）に流し込み、冷却して所定の形状の製品が作られ（成形と呼びます）ます。

このようなプラスチック製品の生産方法を、「プラスチック射出成形法」と呼びます。（図1）すなわち、鯛焼き屋さんや、たこ焼き屋さんが独特な姿焼きプレートで一度に沢山焼き上げていることと同じ理屈で、金型を用いて同じ形状と品質のプラスチック製品を大量に生産することができます。

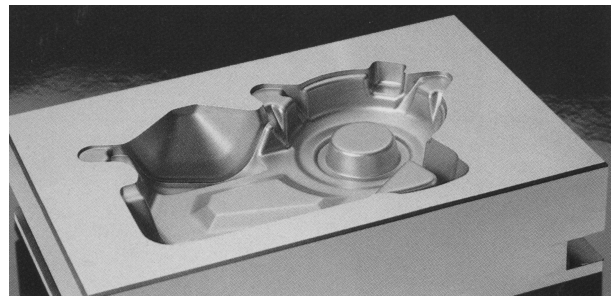
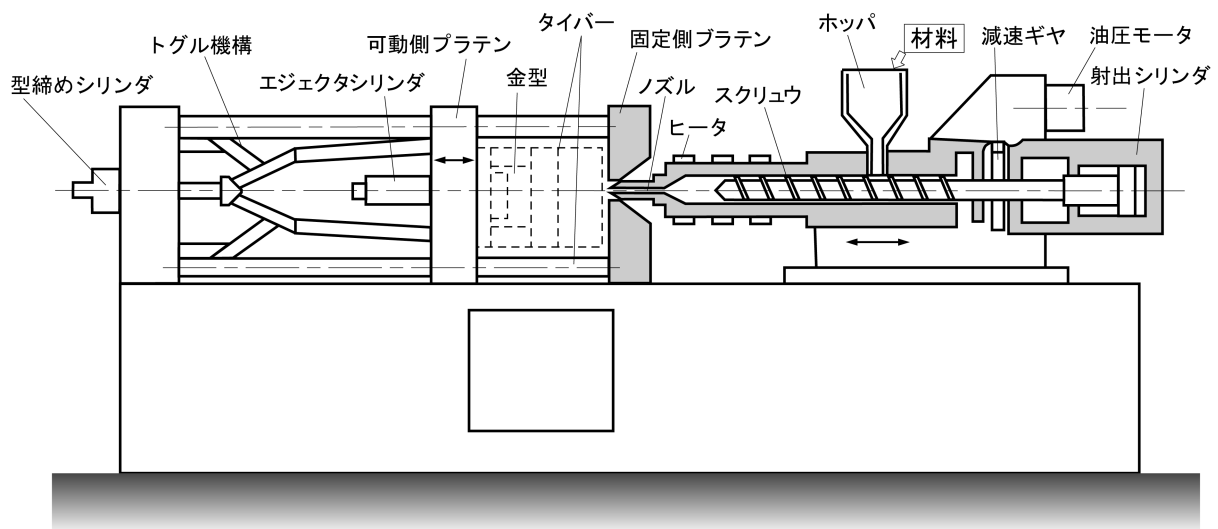


写真1:キャビティ(鯛ソディック)

金型で一度に同じ品質の製品を多量に生産できると、製品の価格を飛躍的に安くすることが可能で、また製品の品質も安定しているという優れた特長を生み出します。このような理由から、プラスチック射出成形法は産業界で中心的に採用され、自動車、カラーTV、電話などの普及に貢献しながら、急速な成長を遂げました。



図：1 射出成形機の構造例(スクリュウインライン式・トグル型締め方式)

出典:小松道男 著 プラスチック射出成形金型設計マニュアル

ピンポイントゲート構造金型編「型技術」1998年3月臨時増刊号 日刊工業新聞社

プラスチックの成形法には様々の方法があります。
例えば、

射出成形法・・・携帯電話ケース、TVキャビネットなどの製法
押出成形法・・・雨樋、パイプなどの製法
圧縮成形法・・・メラミン樹脂やエポキシ樹脂の製法
ブロー成形法・・・シャンプー容器、ペットボトルなどの製法
熱成形法・・・卵のパック、食品容器などの製法

これらの成形法の中で、現在最も広く利用されているのが射出成形法です。そして、その最も重要なツール(道具)が、射出成形用金型です。この金型によって所望の形状のプラスチック成形品を製造します。

金型は、一般に硬さと靱性の両特性を有する特殊鋼を素材とし、コンピュータで制御された最新鋭の工作機械を中心とした生産技術および熟練した調整技術により作られています。最近の統計資料によると、世界の金型生産量の約50%は日本で生産されており、米国やヨーロッパを遙かに凌いでいます。

3. プラスチック射出成形用金型の基本構造

金型の最も基本的な構造は、キャビティ(雌型)とコア(雄型)から成立ち、成形品と同一形状の空間部(キャビティ)と溶融樹脂の流入路が形成されています。

溶融樹脂は射出成形機のノズルから、スプルー、ランナー、ゲートの順に流路をたどって金型空間であるキャビティに達します。

他方、キャビティとコアが収納されている金型の外周構造部分の総称を、モールドベースと呼んでいます。モールドベースは、標準化が進展しており、市販の標準モールドベースを購入し追加工する事例が大半です。

以上、金型の基本構造を紹介しましたが、実際に作られている金型は更に複雑です。例えば、最も単純なレベルの金型でも、図2のような構造をしています。

金型の製作には、設計から完成まで平均すると2～3週間程度の日数を必要とします。(注：小型サイズ of 金型では3日程度、大型サイズの金型では6週間程度掛かるなど、金型のサイズや難易度で製作日数は変動します)

また、コンピュータ技術を駆使した金型設計技術(CAD:Computer aided design)、プログラミング技術(CAM:Computer aided manufacturing)、CNC工作機械(コンピュータ数値制御による工作機械:マシニングセンタ、CNC放電加工機など)、熟達した磨き仕上げ技能など、高度な技術の集積により高度な金型の生産が可能となります。

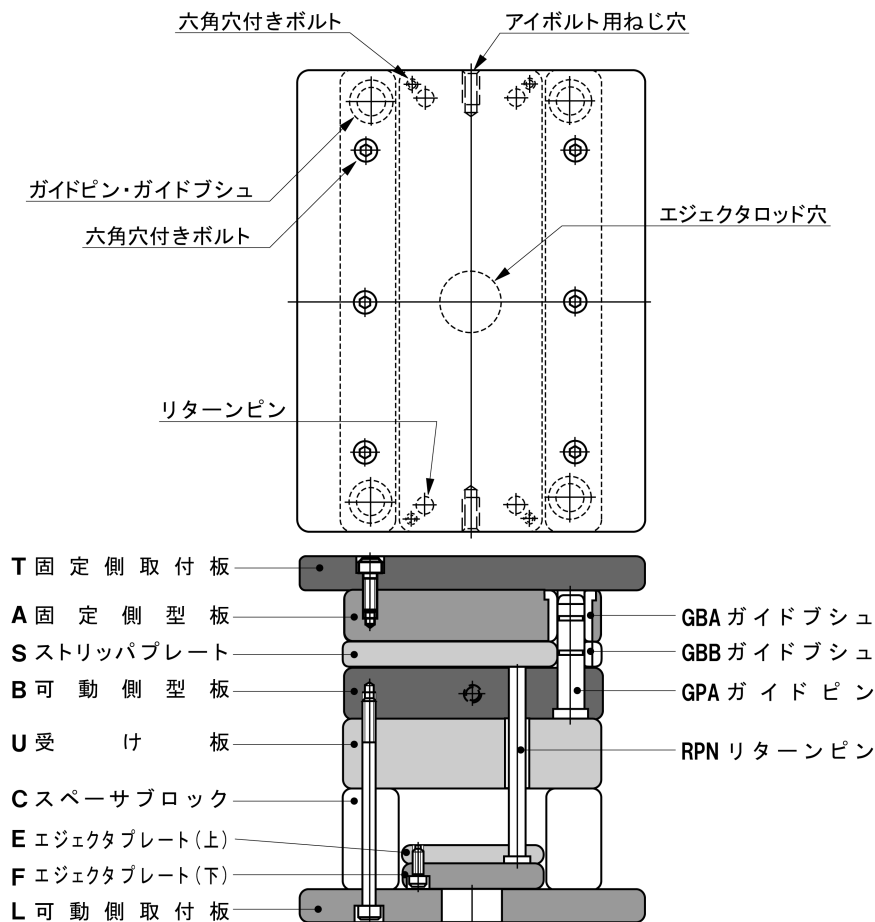


図2: モールドベース構

出典:フタバ標準モールド金型用部品ブルーブック VOL.1 双葉電子工業(株) 1998年8月

4. プラスチック射出成形用金型の製作プロセス

通常、金型の設計にあたっては、金型製造に関わる全てのスタッフ「設計、機械加工、成形試作など」の担当者が集まり検討会議を開きます。ここで、金型の基本構造、材質、冷却水孔、機械加工法などが検討されます。

最近では、最終製品のモデルチェンジのスピードが早くなっておりますので、これに対応するために金型の製作納期も短くなってきており、事前検討会議での基本方針確認は、従来以上に重要な意味を持つようになりました。

4-1 金型設計

金型は、成形品ごとに設計をしなければなりません。金型の設計にあたっては、成形品の品質実現、射出成形の生産効率の向上、金型製作納期、金型製作コストを満足させることを、まず大原則として検討を行います。

次に、金型を製作する上での各種の技術上の検討を行っていきます。
それらの中から代表的な項目をいくつかご紹介します。

(1) 成形収縮の検討

プラスチック射出成形に使用される熱可塑性プラスチックは、熔融状態から冷却される際に一定の割合で収縮することが知られています。

従って、金型のキャビティ、コアは、収縮する分をあらかじめ一回り大きく製作されています。まず、金型の設計では、この成形収縮の割合を予測し、金型製作寸法を検討します。

(2) 抜き勾配の取り方

次に、冷却されて固まった成形品をキャビティから抜き取る際に、抜けやすくするための抜き勾配を検討します。

(3) アンダーカット処理方法

成形品の側面にある穴やボス形状など、金型の分割面のみからでは成形品が取り出せない形状をアンダーカットと呼んでいます。

アンダーカット形状を金型からスムーズに取り出すためには、横方向に開閉できるスライドコアというメカニズムを採用したりしています。

(4) エアベント構造

キャビティ内部の空気や熔融したプラスチックから発生するガスを排気するための溝がエアベントです。

熔融プラスチックが最後に到達する部分などにエアベントを設けると、効率的にエアが排出されます。

(5) 冷却水孔

キャビティ、コアの表面温度は、一定に保持されないと、成形品の寸法や光沢は変化をしてしまいます。そこで、金型内部には冷却水を流す流路を設けます。

流路の配置、孔のサイズなどの検討は、射出成形の生産効率も左右する重要な検討項目です。

4-2 CAD/CAM

金型設計上の技術検討した後、金型部品図面の作成、立体形状のモデリングなどを3次元CADを使って進めて行きます。

従来は、紙面に図を描いて（製図と呼びます）おりましたが、コンピューターの発達と普及により、最近の金型設計は、2次元CADや3次元CAD/CAMと呼ばれている専門のコンピュータシステムを利用し、デジタルデータによる設計が行われるようになっております。（図3）

金型設計としての図面データは、CAMシステムでNCプログラム（CNC工作機械を動作させるための指令データベース）に転換され、CNC工作機械のCNC制御コンピュータに入力して所定の動作により金型部品を設計図面通りの形状とサイズに加工します。（図4）

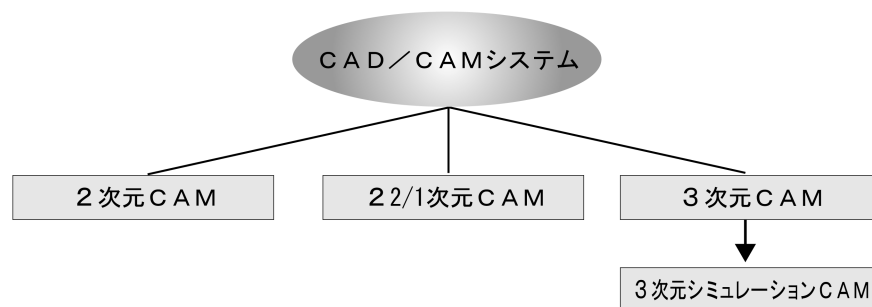


図3: CAD/CAMシステムの例

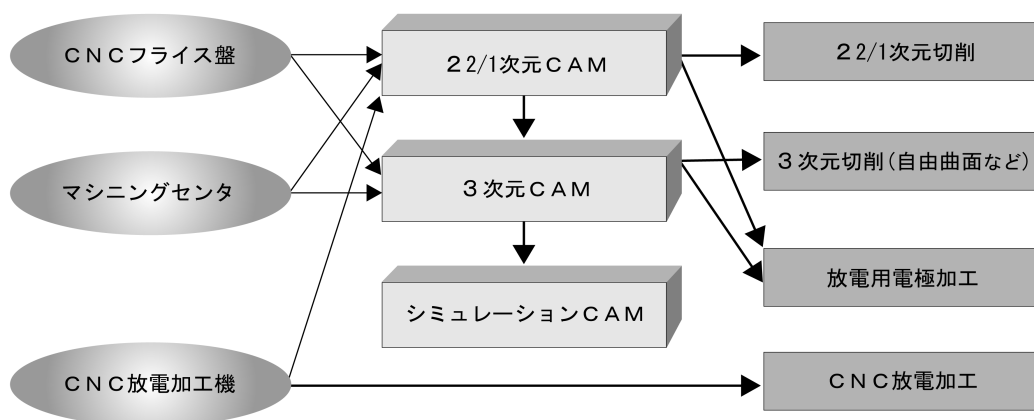


図4: 工作機械とCAD/CAM

4-3 機械加工

(1) 材料取り

金型部品の製作は、まず材料の選択と切断から始まります。すなわち、設計で指示された種類の鋼材（金型部品の素材）を購入し、所定の寸法に切断します。

(2) 荒仕上げ 及び荒取り

素材を切断した後は、切断面、黒皮面（未加工面）を削り、仕上する余裕（仕上代と呼びます）を残して切削加工します。

(3) 吊りボルト用穴あけ

金型部品を吊り上げて運搬するのに必要な、吊ボルト用ねじ穴加工は、ドリルで穴あけした後、タップによりねじ穴加工を行います。

(4) 直角出し・研削加工

金型部品加工の基準となる全ての面は、平面研削盤を用いて研削加工し、高精度な直角と平坦に仕上げます。

(5) いんろう合わせ

型部が成形圧力でずれたり変形しないように、コアとキャビティの合わせを凹凸形状で行うことを「いんろう合わせ」と呼んでいます。すなわち、金型のずれを防ぐ目的で行うもので、金型に射出圧力がかかった時の変形防止の役割も果たす構造のことです。

(6) 冷却水穴加工

金型内部に冷却水を通すための穴を加工します。穴の加工は、ドリルと呼ばれる工具を用いますが、冷却水穴は、細くて深いためガンドリルと呼ばれている深い穴加工専用の工具と専用穴加工機械を用いて行います。

その他に、ラジアルボール盤などの汎用工作機械とドリルを利用してこれらの穴加工する場合があります。

(7) ケガキ作業

汎用機械で穴加工などを行う場合は、切削する個所を指示することが必要になり、金型部品を固定する定盤と呼ばれる鉄鋼製の作業台と、ハイトゲージと呼ばれる加工面に水平、垂直に線を描く道具を用いて加工形状部分をマーキングすることをケガキ作業と呼んでいます。

(8) 穴あけ加工

金型部品の所定の位置に穴をあけ加工を行います。金型部品には、締め付けや位置決めなどに用いる穴が多くあります。

(9) キャビティ・コア部のマシニングセンタ加工

製品を成形するキャビティ・コアは、金型において最も重要な部品です。近頃はマシニングセンタやCNCフライス盤などで切削加工することが中心になっています。

(10) 切削工具と保持具

しかし、いかに優れたNCプログラムや最新のCNC工作機械を用いても、切削工具と保持具の性能と整備が不十分では所定の内容で加工することが難しくなり、設計通りの金型部品を完成できません。すなわち、最適な切削工具と保持具の選択、および定期的なメンテナンスは、高精度・高能率な金型部品加工において必要不可欠な条件と言えます。



写真2: 切削工具 (株)MST コーポレーション

(11) マシニングセンタによる加工

マシニングセンタは、高精度、かつ高能率で加工を行うことが可能なCNC工作機械の代表格と言えます。マシニングセンタによる加工は、NCプログラムと呼ばれる専用言語による指令で、マシニングセンタのコンピュータ（CNC制御装置と呼んでいます）を機能させ、自動運転で行います。

マシニングセンタへの指令は、所定の加工形状、サイズ、および精度などを実現するための適用工具、工具の軌跡、加工条件（切削加工データ）および必要な交換工具と交換時期などがあります。

マシニングセンタによる加工では、自動運転できるため1人の作業者が複数台を受け持つことができ、夜間や休日に無人加工も可能です。その結果、高能率、高精度な内容の加工が比較的容易に実現できるため、金型の納期短縮やコストダウンに強力なパワーを発揮します。(図5)



写真3: マシニングセンタ (株)ソディック

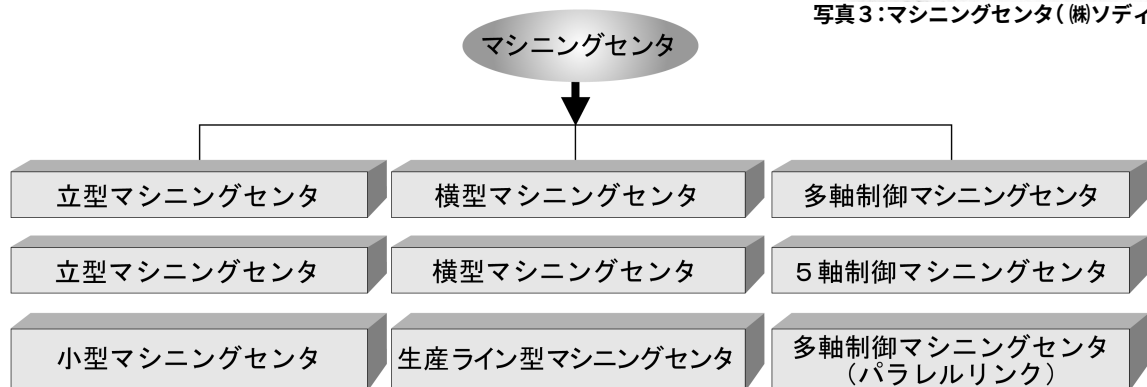


図5: マシニングセンタの分類例

(12) CNC型彫り放電加工

放電加工用電極の形状承認（製品形状と相似のため）が求められたり、微細な形状が必要になるなどの場合は、CNC放電加工機を用いて金型部品加工を行います。

放電加工は、油又は水中で過度アーク放電の熱作用と、加工液体の気化爆発作用で形成された放電痕の累積で所定の形状加工を行う加工方式です。

加工速度は切削に比べると遅くなりますが、高硬度材や、微細で複雑な形状加工が可能です。



写真4：放電加工機(㈱ソディック)

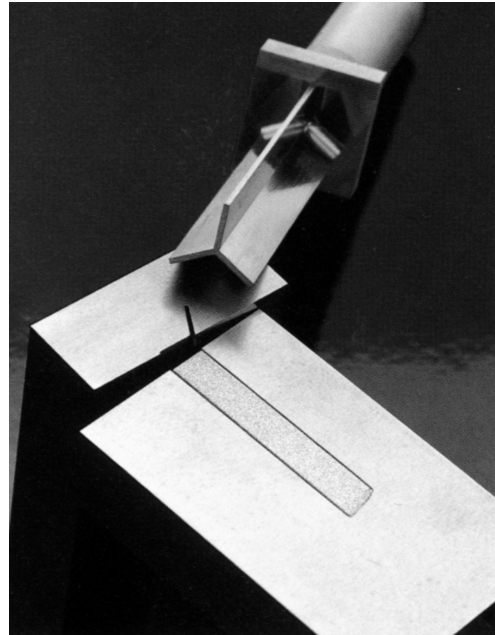


写真5：電極(㈱ソディック)

(13) CNCワイヤーカット放電加工

この加工は、加工する形状に対応した電極の替わりにワイヤー（線）電極を使用して放電加工するもので、0.03mm までの微小な切断幅の切断加工が可能です。切削では難しい四角形状穴、微細複雑形状穴および薄肉残し加工などに効果的な加工法です。



写真6：ワイヤカット放電加工機(㈱ソディック)

平成12年度ものづくり人材支援基盤整備事業
ー技術・技能の客観化、マニュアル化等ー

プラスチック用金型製作の 技術・マニュアル技能

発行 中小企業総合事業団 情報・技術部 技術振興第二課

〒105 - 8453

東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル

TEL : 03-5470-1523 FAX : 03-5470-1526

無断転載を禁ずる

Copyright © 2001 中小企業総合事業団 All right reserved.

※ このマニュアルは、(財)素形材センターの協力を得て中小企業総合事業団が作成いたしました。

(14) 成形研削加工

切削後の仕上精密加工、格子窓部分や角度のついた入れ子などの精密加工は、微細な切れ刃（砥粒と呼ばれています）を無数に有する工具（砥石）と成形研削盤で研削加工する場合があります。

最終仕上作業のヤスリ作業、ラップみがき作業が軽減、又は省略できます。

4-4 手仕上げと組み立て

機械加工が困難な部分は、エアーグラインダー、手作業用砥石、ラッピング作業用液状、および練り状の磨き剤等を用いて最終的な仕上げ加工を行います。

仕上げ作業は、その金型の性格によって手順が異なりますが、ここでは標準的な仕上げの手順を説明していきましょう。

(1) 回転ヤスリによる仕上げ作業

まず、機械加工で発生したカッター痕などを除去し、滑らかな面に仕上げます。回転ヤスリ、軸付き砥石などで金型部品の面などを仕上加工します。

(2) 紙ヤスリで表面を磨く

次に、紙ヤスリ（紙に砥粒と呼ばれる硬い粒を付着させたもの）を用いて、加工面の傷を残さないように、目の粗さ（付着している硬い粒の大きさの程度を示しています）が粗い順から細かい順に表面を磨いて行きます。この作業は、丁寧に行うことがきれいな金型部品の面を得るポイントになり、例えば60番と呼んでいる粗い目のものから、600番と呼んでいる細かい目の順序で表面を磨いて行きます。

この際、前の番号のヤスリの傷が残っている場合、粗い番号に戻り、その傷を消す必要があります。

(3) つや出し作業

更に、油砥石や青粉、黒粉などを用いて金型部品表面のつや出しを行います。

(4) ダイヤモンド磨き

高度な磨き面を必要とする個所は、ダイヤモンドパウダなどを用いて磨き作業を行います。粗い番手の粉から細かい番手の粉へ作業を進めていきますが、粗い番手の粉を完全に取り除いてから次の番手に進むようにします。

磨き面は、基本的には鏡面磨きをしますが、金型によって要求される表面粗さの程度は変わってきますので、その金型に合った仕上げをします。

磨きの基準については、例えば、紙ペーパーやダイヤモンドパウダーの番手をよく把握することは勿論ですが、その番手で仕上げられる面の状態を指先などの感覚で覚えることも大切です。

(5) 型合わせ

主要パーツが準備できたら、合わせていきます。全ての作業にいえることですが、特にこうした作業では作業場の環境を、整理、整頓して作業にあたらないければよい製品は作れません。

(6) ガイドピンとブッシュの打ち込み

ボーリング完了後、ブッシュとガイドピンを打ち込んでいきます。これらのピンは焼き入れをし、強化したものを使用します。

(7) 押し切り部調整

光明丹を使って、押し切り部の当たりおよび強さを調査・調整していきます。

(8) 組立て

入れ子部品を全部嵌め込み、組立ては完了します。

4-5 成形試作

金型の組立てが完了したら、金型を射出成形機に取り付けて、試作を行います。まず、実際に樹脂を注入する前に金型の作動状況を確認します。

次に、金型の作動を確認したら、溶融プラスチックを射出して試し打ちをします。最初から所定の樹脂量を注入するのではなく、ショートショット、つまり少しずつ量を増やしながら、徐々に流し込んで充填する過程を確認していきます。

金型の内部は外側から見ることはできませんので、プラスチックが金型の中をどのように流れているかを知るために、ショートショットの状態で作成し、流れを確認してみます。こうした作業によって適切な樹脂の量や成形圧力を探し出し、最適な成形品を作り出していきます。

金型の善し悪しは、このトライショットで初めて分かるといっても過言ではありません。つまり、この時点で金型の不具合が発見されることも多いのです。

発見された金型の不具合箇所は、適正に修正・調整が行われます。例えば次のような方法です。

- 金型部品を少しだけ削る寸法修正
- 動きが滑らかでない部品への給油
- ボルトの緩みを調整

5. 射出成形と成形不良

金型が完成しますと、射出成形機によって、大量生産が可能になります。金型は、トライショットによって、不具合箇所の修正・調整は完了しておりますが、大量生産がスタートしますと、様々な要因によって成形不良が発生する場合があります。

これらの成形不良が発生することを未然に防止し、あるいは不良の対策を効率的にスピーディに対処する管理手法が実際の生産場面では重要となります。

ここで、成形不良が何に起因するか、いくつかの例を取り上げて考えてみましょう。成形不良には成形材料や射出成形機、成形条件などに起因するものもありますが、ここでは、主として金型に起因する不良項目について紹介していきましょう。

(1) バリによる成形不良品

成形品の周囲へプラスチックが薄い膜状にはみ出しがでる現象をバリと呼んでいます。バリは、金型の部品同士の密着性不良やすきまにより発生することがあります。また、必要以上に高い圧力でプラスチックを充填する場合にも発生します。

(2) ひけによる不良品

成形品の肉厚が急に厚い部分があったり、裏側に厚いリブや太いボスがあったりすると樹脂の部分的な収縮によって表面に凹みが発生します。このような現象をひけと呼んでいます。

ひけを防止するためには、金型設計を改善し、肉厚を均一に設計変更したり、ゲート寸法を大きくしたりします。

(3) そり、曲がり、ねじれによる不良品

成形条件の不適切や金型冷却の不適正による収縮率のアンバランスや成形歪みによって、そり、曲がり、ねじれによる不良生じますが、金型設計のまずさが、それらを助長します。

(4) ウエルドラインがある不良品

ウエルドラインとは、射出された樹脂が合流した合わせ目で筋状にみえる現象のことです。

2個以上のゲートがあったり、成形品に孔があったりする場合に発生する射出成形の本質的的不良ですが、金型構造の改良や成形条件の適正化によりある程度軽減できます。

金型温度を上昇させたり、ゲート位置を変更することにより、ウエルドラインの発生状況を改善することができます。

ウエルドラインを全くなくすということは形状によっては不可能の場合があります。目立たない位置にウエルドラインを移動させるという方法を考える場合もあります。

(5) ショート・ショット(充填不足)

ショート・ショットとは、樹脂の充填不足による成形不良のことです。
これは、金型のゲート位置の不適切、あるいはエアイベントの不足などが原因と考えられますが、成形条件の不適正、成形材料の流れ不良などによっても発生します。

(6) すり傷

すり傷とは、成形品側面に見られるこすり傷のことですが、主として抜き勾配の不足や、突出し不良が原因となります。

(7) 割れ、クラック、白化

割れ、クラック、白化は、金型の抜き勾配不良、突出しピン配置の不適切などによって起こります。

(8) 焼け

プラスチック材料の過熱による炭化現象ですが、過熱の原因はエアイベント不足によるキャビティ内の空気の断熱圧縮が主要な要因です。
金型の修正によって解決する例が多い不良です。

以上より、代表的な成形不良の例を図6～8に示しました。

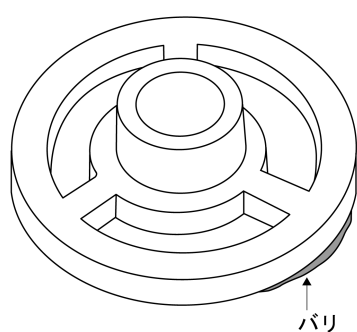


図6：バリによる成形不良

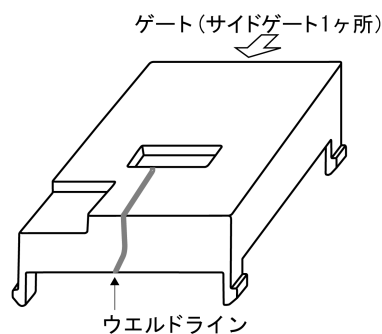


図7：ウエルドラインの発生

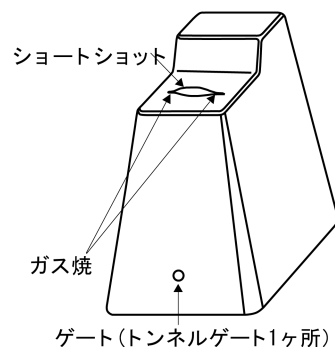


図8：ショートショットとガス焼の発生

出典：小松道男 著 (株)工業調査会「プラスチック」別冊 イラスト 射出成形アイデア活用術

6. 成形品の品質管理

生産された成形品は、測定器類や三次元測定機により、管理寸法等を測定し検査が行われます。

曲面形状の場合には、三次元測定機による測定が行われます。測定・検査、いずれの場合も一定の温度の下で行います。熱膨張による寸法の狂いを防止するためです。また測定位置も厳重に管理して測定していきます。

7. 今後の金型製作の進展

プラスチック射出成形用金型の製造は、C A D / C A Mによる設計と加工用データ生成、マシニングセンタ、C N C放電加工機などのC N C工作機械の導入で、従来のアナログ的な生産方式から、デジタル的な生産方式への移行、および生産における自動化などが進んでゆくものと考えられます。

一方、I T関連機器や新しい自動車用部品など、新たなプラスチック成形品の生産には新しい金型技術の開発が必要になってくることが予想されます。

しかしながら、コンピュータを多用したデジタル化生産方式に加えて、切削用工具の選択、最終の金型部品表面の磨き作業などにおいて伝統的な熟練技能者のノウハウが必要なのです。すなわち、高度な自動化を指向する一方で、従来から蓄積されてきた高度な熟練技能は不可欠であり、これらが高度なレベルで融合することが求められます。

今後の金型産業が進展してゆくためには、単純にハイテク技術のみマスターするのではなく、長年培ってきた基本技術と技能を学ぶ大切さも再確認しなければなりません。

プラスチック用金型製作の技術・技能マニュアル制作委員会

委員長	松岡 甫篁	株式会社 松岡技術研究所	代表取締役
委員	小松 道男	小松技術士事務所	所長
	福島 有一	福島技術士事務所	所長
	小泉 秀樹	株式会社 ペッカー精工	代表取締役社長
	知地 正紘	財団法人 素形材センター	テクニカルアドバイザー