

IMM工法によるウェルドラインの改善, その後の進展について

茂木 淳志*

はじめに

今回の寄稿依頼は2019年8月以来であり、その際は「肉厚品における高品質成形技術」とタイトルを付け、IMP工法（イン・モールド・プレッシング工法）を主に説明を行った。今回はIMM工法（イン・モールド・ムービング工法）を中心に説明を行う。

現在、コロナウイルスが猛威をふるい、国内経済においてサービス業を中心に大きな打撃を受けている。製造業においてはサプライチェーンの寸断等による原材料の高騰や流通量の制約により総合的に生産調整を余儀なくされている。中国起源のウイルスが全世界を巻き込み大きな負の影響を与えている。今回の件は全世界に広がったサプライチェーンが一部寸断することで製造業に大きな影響を与えることが表面化し、脆弱さがあらわになった。その中においても当社が順調に営業していることはとても嬉しいことであり、様々な案件を提供下さっているユーザーには感謝している。その原動力の中心に位置しているのが今回の内容である。

るIMM工法である。

当社は成形技術の開発を2006年からスタートさせた。射出成形におけるボイド（ここでは真空ボイドを示す）制御技術であるIMP工法の開発であった。この技術は射出圧縮技術の応用であり、射出成形の利点である高い生産性を維持し、ボイドを制御することで構築した。次に手がけた技術開発がウェルドライン強度改善技術であるIMM工法である。ウェルドラインは分岐した熔融樹脂の再会合により発生する現象であり、外観不良や強度低下が主な問題である。IMM工法は外観不良には対応しておらず強度低下に対応した技術である。IMP工法の開発時の様々な現象から派生した技術であり、IMM工法も射出圧縮技術に分類される。IMM工法の最大の利点は射出流動を精度よく制御できる点である。射出成形においてランナから流入された熔融樹脂はゲートを介してキャビ内に射出充てんされるが、その制御は射出速度のみといってよく、キャビ内の流動は全体的に速度変化が行える。熔融樹脂がキャビ内に流入していく過程においてスキン層が始めに固化し、射出速度が遅い場合、スキン層は厚くなり、射出速度が速い場合スキン層は薄くなる。射出速度の調整によりキャビ内の流動が変わる現象は主にこのことが要因である。逆に射出速度を変え意図した結果が得られることは奇跡的であるといってよく、ウェルドラインを移動

させたり、強度を改善させたりできるのはこの奇跡的現象によるものであり、幸運であったと捉えた方がよい。

射出流動を意のままに制御するIMM工法は、通常の射出成形で成しえない上記の問題を解決することを指す。

1. IMM工法の概要

IMM工法は射出圧縮成形の基本概念をもとに当社で量産できる技術として進化させたものである。1990年当時に多くの射出成形技術が開発され、多くは量産性に乏しいことで消えてしまった。IMM工法の内容も当時に開発されたものといってよく、当社にて量産対応できる技術として進化させてきた。図1にその仕組みを示す。図はウェルドライン強度改善を主目的としたものであるが、基本的にコアピン駆動機構とそれに対応する金型で構成されている。コアピン駆動機構は一般的な射出成形機より各種信号を受け駆動する圧縮機構である。金型は一般的な射出成形用金型にコアピンプレートとコアピンが追加されている。通常の射出成形用金型に若干の改造を行うのみで済むため、大幅な金型製作費の増額や耐久性の悪化等の問題が少ない。当社は射出成形により部品を製造しており、メーカーならではの発想であるといえる。下記4項目にその具体的効果を説明する。

* Atsushi Motegi
PLAMO(株) 代表取締役
Tel. 0495-22-5056
Fax. 0495-22-5060

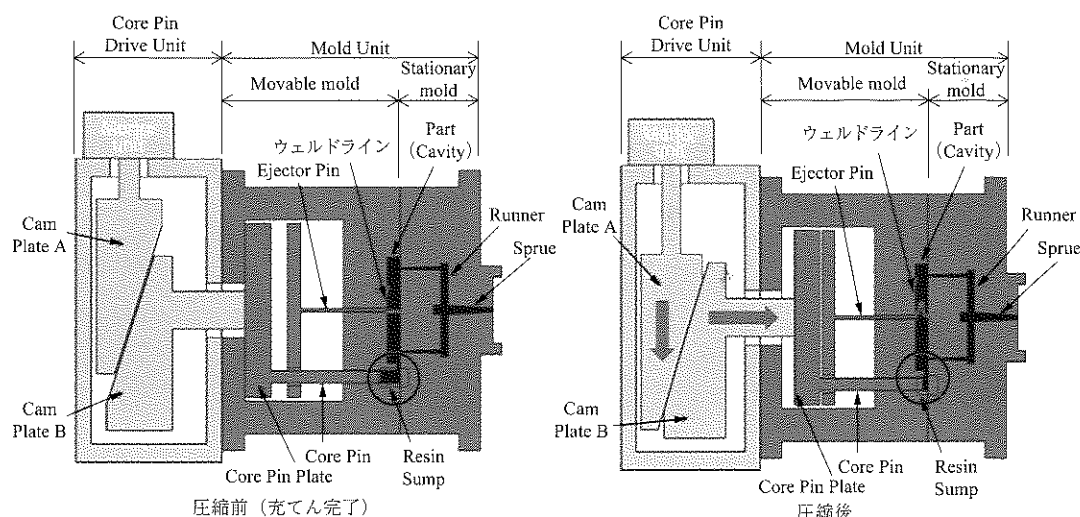


図1 IMM工法概要説明図

2. ウェルドライン強度改善効果

ウェルドラインはキャビ内を溶融樹脂が流動していく過程で分岐した樹脂が会合することで発生する。その現象において強度低下が現れる。メカニズムとしては、

- ①流動先端の若干固化した層同士が会合することで現れる界面。
- ②同様に固化した層同士が会合することで製品表面に現れる線状のV字溝。

繊維強化樹脂の場合においては、

- ③会合面の繊維配向が強度低下方向に向く。
- ④キャビ内の流動行為により繊維の凝集した層がフローフロントに表れ、その層が会合することでベースレジンの少ない状況が線状に現れる。
- ⑤繊維が凝集した層は空気を含み、ウェルドライン部にマイクロボイドとして現れる。

①②項目は射出速度を上げる、樹脂温度・金型温度を高めることである程度は改善する。繊維の添加されていない材料によるウェルドライン強度低下が問題にならないことはこれらによる

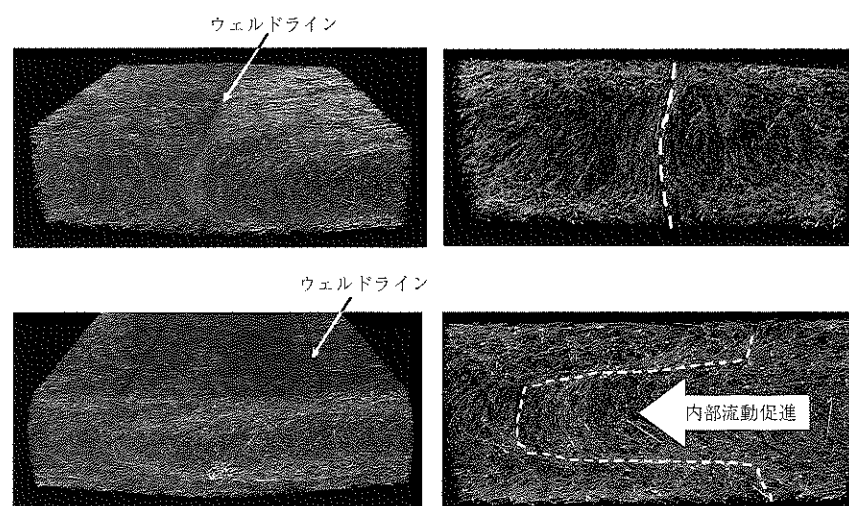


図2 ウェルドライン部X線CT撮影

ものである。対して繊維強化樹脂の場合は①②の対策を講じても③④⑤がまったく改善されないことから強度低下改善は限定的である。

その点IMM工法は②を除き4項目の問題点を高い次元で解決する。図1で示した通り形成したウェルドラインに対してコアピンを圧縮させることでキャビ内に溶融樹脂を流入させ、ウェルド会合部を移動・拡散させることができる。再流入した材料は高い充電圧力を持っているため保圧効果とあい

まってマイクロボイドも解消する。

図2にガラス繊維強化樹脂のウェルドライン部をX線CTにより撮影したものを示す。通常の成形においてウェルドラインは充電による流れ方向と90°傾き、製品厚さ方向に分布している。対してIMM工法は再流動効果によりウェルドラインは移動し拡散される。②に関してIMM工法はいったん充電を完了した後、再流動させる加工方法であることから、製品表層にV字溝は形成され、再流動でもV字溝は

既に固化していることから大きな改善はない。当社の試験ではPP材料の場合、0.1mm表層を残し再流動している。ABSの場合は0.2mm程度である。固化速度により改善効果は異なるといえる。このことから総合的にIMM工法はウェルドライン強度改善になるがV字溝が残っていることで、ウェルドライン以外の部位と同等とはならない。様々な実証で非ウェルドライン部の8割程度の強度を出せることが分かっている。通常成形の場合、ウェルドライン部の強度が非ウェルドラインの5割程度であることから改善効果は十分であると思う。また、圧縮効果によるボイド抑制などの効果も期待できる。

3. 高精度成形効果

当社へ部品製造を依頼されるケースで多いのが高精度要求である。近年、2D図面の多くで厳しい寸法精度の要求がある。製品設計の支援を行っている当社にとって設計上の整合性を保つ意図は十分に理解できるものの、射出成形によりこの要求を満足できないことも理解している。一般的な射出成形機の場合、インラインスクリュを使用している。溶融した樹脂をスクリュを前進させることで射出させる。溶融樹脂はチャックリング機構を利用して逆流を防いでいるが、スクリュが長尺であることもあってシリンダ／スクリュやチャックリングの間には一定のクリアランスが必要である。チャックリングの周辺は溶融状態の樹脂に覆われていることから射出工程において一定量の逆流現象が常に現れている。その量は各種条件によるが計量の1割～3割程度であると認識している。射出圧力はランナやゲートにより圧力損失を招くとされているが、高い射出圧力は多くの逆流をまねいているといつてよく、意図した射出圧力がキャビ内に伝わらない一因である。IMM工法は圧縮する駒の周辺は固化した樹脂であ

り、圧力損失がほとんどなく、圧力を必要としている箇所の近傍に圧縮部位を配置することで、通常の射出成形によるキャビ内圧の2倍程度の圧力を掛けることができる。このことでヒケやボイド制御を高次元で発揮する。例えば射出成形においてショット間ばらつきは高精度を阻害する要因の一つである。本件は成形条件で管理できると捉えている成形業者が多く、量産開始後に問題となる場合はショット間ばらつきである可能性が高い。理想的な肉厚や金型の冷却効果であればそれほど問題は表面化しないのであるが、高精度製品において肉厚であったり、金型の部分的蓄熱がある場合は回避できない問題となる。ヒケや真空ボイドが発生する製品では高精度を要求しても実現不可能といわざるを得ない。IMM工法はこれら問題を解決することができ、当社の実績では通常の射出成形に比べ1/5程度の精度向上を実現する。ショット間ばらつきに対しては1/10に抑えることができる。

4. ソリ・変形改善効果

射出成形においてソリ・変形問題に直面した場合、対処が難しく、大幅な金型改修か、ほぼ利益を生まない後加工を生産終了まで行わなければならない。対策としては、

- ①製品形状に合わせた金型の改修
- ②生産時の製品矯正

の2択となる。大量生産を予定している場合、金型の改修となるが、金型の寸法補正といった作業となり製作費の増額や多くのトライ＆エラーを繰り返すこととなる。なにより単純な金型の寸法補正で対応できない場合はアンダーカット処理など大幅な改修が必要となる。少量生産の場合は製品の矯正となるが、多くの人手を必要とすることで利益を生むことは不可能となってしまう。ソリ・変形の主たる要因は、

- ①充てん圧力の不均衡によるもの

- ②金型の蓄熱によるもの
- ③繊維強化樹脂の繊維配向によるもの
- ④不均衡な製品形状によるものである。

①はゲート点数を増やす、ゲート径を増す等の対策で対応できる。②は金型の蓄熱部を改善することで対応できる。③はゲート位置を変更することで解決する場合がある。④はソリ・変形の根本的解決法といってよく、バランスの取れた製品形状であれば①②の対策のみでソリ・変形の発生しない製品が作れる。

これを可能にする技術が射出成形用シミュレーション*である。各種条件を設定した後、排出された結果をもとに製品形状の調整を行うことで解決する。③においてもシミュレーションを行えるために多くの製品形状に対応できる。ただし排出された結果をもとに調整する作業は射出成形技術を深く知る必要がありシミュレーションソフトを導入したからといって解決する類のものではない。

結論としてソリ・変形の問題は製品設計に依存することが大いにあり、IMM工法にしても①の充てん圧力の不均衡緩和や③の繊維配向の制御は行えるもののIMM工法のみでソリ・変形を抑えることはできない。当社には多くの高い要求性能を必要とする製品の製造依頼が届く。当社はこの問題を解決するためにシミュレーションソフトを導入し、製品形状の調整を行って解決している。当然、要求性能を満足したうえでの調整であるため、顧客との度重なる調整が必要であるが、この作業を行うことの重要性を理解された顧客と開発段階から製品設計に携わるようになってきた。ウェルドライン問題、寸法精度問題、そしてソリ・変形問題と未然に防ぐことで開発の精度を上げることや開発期間の短縮など大きなメリットとして受け入れられている。

5. 流動制御による効果

射出成形の歴史は古く、その基本的な構造は変化がない。スクリュシリンダ内にて溶融された樹脂が高圧にて射出され、金型内に充てんされる。充てんした樹脂は金型により冷却固化され製品として取り出される。基本となる溶かす・流す・固めるの工程は同じである。その工程においてより正確に行うために様々な技術革新がなされてきた。樹脂材料も様々な機能を持ったものが登場し適材適所の使用が行えるようになってきた。

成形機は可塑化の安定や射出工程の精度向上など、基本的な要素をそのままに各種精度向上を行ってきた。射出成形業者は材料と射出成形機のプラットフォームを利用して良い製品を作ることに注力している。そのための重要な要素が金型である。射出ユニットから射出された溶融樹脂を金型のスプリッシュが受け止め、ランナ・ゲートを介してキャビ内に充てんする。「はじめに」で説明した通りキャビ内に充てんする溶融樹脂の速度は射出ユニットの速度によって制御されるが、キャビ内を流れる流動に遅い速いはあるものの大きな変更は行えない。それを可能にするには射出ユニットを2機搭載した成形機が必要となる。このことを簡易に行える機能がIMM工法の特徴である。金型内部に簡易的であるが大きな射出圧力を得られる射出ユニットがあると捉えると理解しやすいと思う。射出充てんした溶融樹脂を圧縮す

ることで再流動させ、意図した射出速度や方向が得られる。例えば射出工程で得られた繊維配向に不合理な部分があるとした場合、IMM工法により部分的に合理的な繊維配向を生み出すことができる。また、ランナに圧縮部位を設定することで多点ゲートの流入速度を変えることができる。これはゲート位置の制約があるもののウェルドライン位置自身を移動させたい時などに使用する。

おわりに

当社にとってIMM工法は高い要求に対応する最終手段と考えている。製品形状の工夫で解決できるものも多くあり、シミュレーションを駆使して製品形状を提案している。どうしてもクリアできない場合のみIMM工法を採用している。例えば耐圧強度が必要な製品において製品肉厚はとても大切な要素となり、ボイドレスが必須の条件下ではIMM工法が必要となる。また円形製品においてウェルドラインをどの位置に移動させても意味をなさない製品においては積極的にIMM工法を採用する。

シミュレーション技術は当社にとって大きな要素に成長している。バランスの取れた製品形状や問題となる箇所を事前に対策することで安定した生産を行うことができる。このことでユーザーも安心して部品を使用できるし、なにより当社にとって安定生産は利益をもたらす。プラスチック業界では多

くの場合、部品図をいただき見積もりを行って受注・失注が判定される。ある意味値段ありきの業者選定となっている。その部品図において欠点が隠れていてもである。隠れた欠点は金型を製作した後で表面化する。その問題が軽微なものであれば修正も効くが、大きな問題であった場合はトライ＆エラーを繰り返す、時間とお金の浪費となる。なにより設計者の要求に合わない製品の提供は顧客と成形業者の間に信頼関係を構築できない。

当社にとって顧客との信頼関係はとても大切であると考えている。この考えが伝わって多くの企業と関係を築いてきた。最近では製品の樹脂部品全体の設計支援を依頼されることが増えてきている。隠れた欠陥をあぶり出す作業、要求性能を満足させる形状、安定生産を行える形状等、部品価格では判断できない企業価値と捉えてもらえるようになってきた。

PLAMOの企業理念である「存在意義のある企業」に近付いていることを嬉しく思う。

*当社は射出成形用シミュレーションソフトMoldex3Dを導入している。このソフトで解析できる項目として、①流動解析（ウェルドラインの位置・エアートラップ位置を特定）、②変形解析（製品形状の総合的安定化）、③ヒケ解析（肉厚の検証）、④繊維配向解析（強度分析）などである。これら解析内容に一番影響を与えるのがゲート位置と製品形状である。バランスのとれたゲート位置と変形しにくい製品形状であればほぼノントラブルで起型が完了する。

好評発売中

回転成形 ― 古くて新しい成形技術

五十嵐 敏郎 著

＜主要目次＞

第1章 回転成形の基礎
第2章 回転成形の原料
第3章 回転成形機
第4章 回転成形用金型
第5章 成形技術

第6章 新しい製品コンセプト
第7章 デザイン運動
第8章 教育と研究活動
第9章 トレード・アソシエーション
第10章 社会貢献（提言）

A5判 250頁
定価3,143（本体2,857円＋税10%）
ISBN978-4-89263-007-1
C3043 ￥2857E

●お申込み先
(株)プラスチック・エージ