

総論

金型の高機能・高付加価値化に向けた 切削加工技術

村上英樹

金型・部品加工業専門コンサルティング

そもそも、「金型が持つ機能性の高さ」とは何かを考えると、「難易度の高い製品が成形できる」「メンテナンス性が良い」「耐久性が良い」などである。ただし、これらは切削加工の視点から見た場合、金型の機能が高くなることは、切削加工のしやすさとはトレードオフの関係（両立しない・相反すること）になることが考えられる。たとえば、プラスチック成形金型で難易度の高い製品を成形するため、深く複雑な形状の意匠面を切削加工しなければならないとか、複雑に入り組んだ冷却穴を金型内部に加工するなどの必要性が出てくる。また、メンテナンス性の高い金型を製作しようとする、修理や保全の際の部品取り外しを容易にするため、入れ子構造（図1）が多くなることで切削加工する部品が増え、単純に加工負荷は高くなる。さらに、耐久性の高い金型に仕立てよ

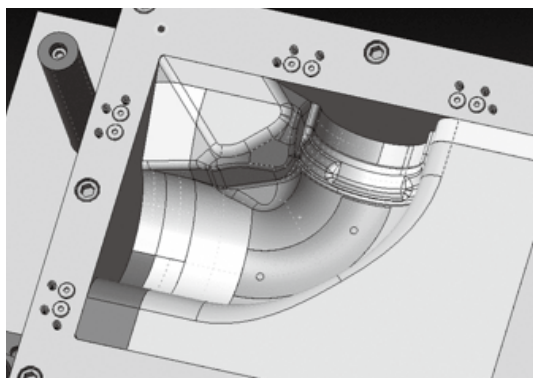


図1 入れ子構造にした金型の事例

うとすると、構造部に硬度の高い金型鋼材を使用することになり、これもまた切削加工をより困難にさせる。これらのことから「金型の高機能化に向けた切削加工技術」とは何かを考えると、トレードオフの関係になる諸問題を解決するための加工技術だと言える。そこで、そうした例を考えてみる。

深く複雑な意匠面の金型加工・ 複雑に入り組んだ冷却穴などへの対策

こうした加工では古くから5軸マシニングセンタ（MC）や複合加工機などが使われている。ただし、筆者の認識では、ほかの機械部品などの切削加工の分野と比較し、金型加工での5軸加工の導入は若干遅かったと思っている。特に製品意匠面では、高い寸法精度と表面粗さが必要になるため、「傾斜軸を使った5軸加工よりも3軸での加工の方が精度は出しやすい」と多くの金型メーカーが考えてきたことが理由だ。

例えば、筆者が約20年前、部品加工メーカーの5軸MCを使って、プラスチック射出成形金型の大型傾斜コアを加工した際、自動車メーカーの金型部門の方が大勢で見学に来ていた。

現在では、工作機械の高精度化や金型加工に適した工法が開発され、多くの金型メーカーで5軸MCの導入が進んでおり、3軸加工では厳しい金型加工形状において多くのメリットを生んでいる（図2）。

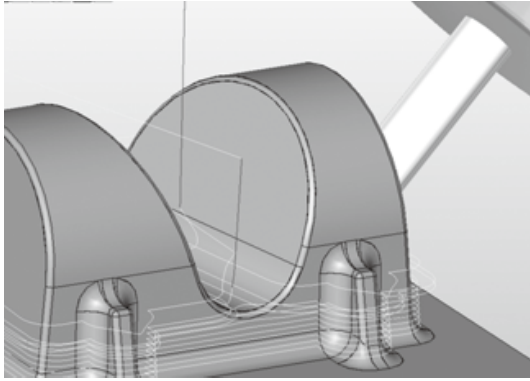


図2 軸を傾斜させて加工している事例



①立形M/Cでの多数個掛けの様子



②APC付き横形M/Cでの多数個掛けの様子

図3 協和工業による多数個段取りの様子

また、近年ではバレル型エンドミルという異形工具を使った高効率な仕上げ工法も開発されており、多くのCAD/CAMの5軸機能で利用できるようになっている。

この加工は、自由曲面や傾斜面などの仕上げで効果を発揮するため、まさに金型加工のために開発された加工方法と言える。

入れ子構造により増加する 金型部品点数への対応

前述したようにメンテナンス性を高める目的で、部品の取り外しを容易にするために入れ子構造を採用していくと、その分加工しなければならない金型部品は増加する。

この対応として、近年多くの金型メーカーでは、APC（オート・パレット・チェンジャー）付きのMCを積極的に導入している。

APC付きのMCは従来、同じ部品を繰り返し加工する量産加工メーカーで多く採用されてきたが、都度加工する部品が異なる金型加工においても近年、より高い生産性を追求する金型メーカーにおいて導入が進んでいる。

これについては、NCプログラムをつくるCAMオペレーターと、機械への段取りを行う機械オペレーターとの分業化が進んだことが背景として存在する。NCプログラムを先行して作り溜めしていくことで、APCによる外段取りの効果が発揮される。

成功事例として、筆者が支援しているプレスメーカーである協和工業㈱（静岡県湖西市）では、APC付きのMCを複数台保有しており、日中や夜間の無人加工において、複数のテーブル上に所

狭しと多数個のワークを仕掛けることで、その効果を最大限に発揮している（図3）。

ロット生産を行う量産加工と異なり、金型部品は基本的に一品一品、異なるものを加工しなければならないため、加工品の形状はもとよりワークサイズも異なる。さらにクランプ方法やそれぞれのワークの配置、一緒に並べるワークの選定など、多数個掛けの難易度は非常に高い。そうした課題に対して同社は、機械オペレーターの卓越したグルーピングや差し立てのスキルにより、うまく対応を図っている。

高硬度な金型鋼材への対応

前述したように金型の耐久性を高めるため、高価ではあるが硬度の高い鋼材を使用していくと、その切削加工も困難になっていく。

特に、プレス金型においては近年、自動車部品で高張力鋼板（ハイテン材）と呼ばれる曲げや抜きに高い圧力を要する板材が使用されており、意匠面だけでなく金型構造部においても、一般構造用鋼材ではなく焼入れ処理された合金鋼が使われるようになっていく。

これによりドリル加工やエンドミル加工も、SS400やS50Cを加工していたときよりも加工条件は落とさなければならない場合が出てくるし、ほとんどの鋼材の加工で、ハイス製ではなくコーティングされた超硬合金製の工具での加工を余儀なくされる。

したがって、金型の耐久性という高機能化についても、切削加工を困難にさせるトレードオフの関係にあるということが言えよう。

工具: MOLDINOエボックGターボ
 切削速度: 75m/min, 回転数: 2400/min, 一刃送り: 0.17mm/刃

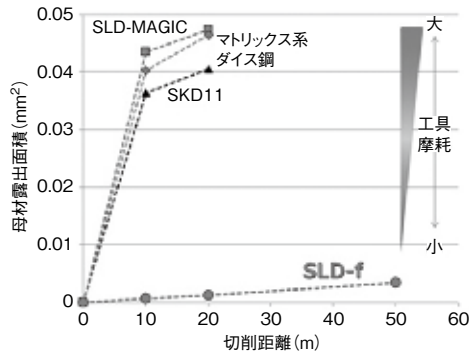


図4 SLD-fの被削性について (同社のHP から引用)

この点の対策については近年、ますます高度な機能を持つ切削工具を採用し、加工条件は落とさず、むしろ上げていく方向で対策していきたいものである。

少し視点が異なるが、高硬度材の金型活用事例を紹介する。筆者が支援している(株建和 (愛知県安城市) では、日立金属(株)の新しい冷間ダイス鋼「SLD-f」を使い、従来とは大きく異なる焼入れ部品の製作リードタイム短縮に取り組んでいる。

この鋼材の特徴として、焼入れ処理された硬度HRC60の状態でありながら、高い被削性を発揮できる点がある (図4)。

従来この硬度の加工になると、焼入れ前にタップや荒取りの切削加工を行っておき、焼入れ後に仕上げの切削加工を行うことがセオリーであった。

しかしながら、建和では、焼入れ処理が必要になるプレス金型のパンチ・ダイ部品を最短リードタイムで製作するため、前加工することなく先に焼入れ処理を行い、その後に穴加工および荒取り、仕上げ加工までの全加工を行う新しい加工工程に取り組んでいる。

これにより、焼入れ焼戻し処理をまたぐ製作リードタイムより数日短縮が可能になる。

なお、建和が同鋼材を購入している加藤鋼材(株) (大阪市東住吉区) の名古屋営業所 (愛知県小牧市) では、焼入れ焼き戻し処理された同鋼材を6面フライスした状態で顧客に提供している。加藤鋼材はもちろん、平面研削加工して提供することも行っているが、後加工として硬度HRC60の鋼材を研削ではなくフライスして提供しているという

点が、従来のダイス鋼の扱いとは異なる点である。

このSLD-fの登場により、特に硬度HRC60のダイス鋼を使用する金型においては、突発修理への対応など、大きく金型部品の製作プロセスは変化すると考えられる。

さて、次はもう1つのキーワード、「金型の高付加価値」という点についても見ていきたい。

ビジネスにおいて付加価値は「粗利益」だと言える。そして一型あたりの粗利益を多くしていくために、できる限り製造リードタイムを短縮していく取り組みはとても重要である。

筆者の専門分野であるプレス金型の事例として、1つの製品に必要なプレス工程の短縮は金型原価の削減による付加価値向上につながるため、シミュレーションソフトを用いたプレス成形解析は今や当然のものとして、多くのプレスメーカーや金型メーカーの設計工程で利用されている (図5)。これによりトライ工程においても、従来より手離れの良い作業にすることができている。

ただしここにも、切削加工の工程とトレードオフの関係が発生している。その理由とは、シミュレーションソフト内で補正モデリングした曲げや絞りのパンチ・ダイ形状を、実際の金型において高い寸法再現度で切削加工しなければならないことである。

スプリングバックするために寸法調整を要する製品について、シミュレーションソフト内でパンチ・ダイ形状をモデリング修正したとしても、そっくりそのままに寸法補正したパンチ・ダイを切削加工で再現しなければ意味を為さない。

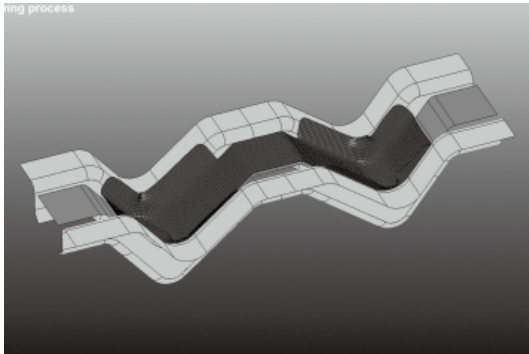


図5 プレス成形解析の様子

そのため、プレス成形解析を行っているプレスメーカーや金型メーカーの機械加工現場では、焼入れひずみにも対応するため、パンチ・ダイについて焼入れ後の高精度の切削仕上げ加工を余儀なくされている。

HRC60の金型部品を±0.01ミリの寸法公差などで仕上げようとすると、その切削抵抗により1回の加工では寸法を出しきることが困難になり、何度も追い込み加工が必要になる場合もあるが、こうした課題に対策していくことも「金型の高付加価値化に向けた切削加工技術」となる。

金型メーカーに必要な技術・経営戦略

次に、筆者が中小企業診断士として金型の高機能・高付加価値化に向けて必要となる技術・経営戦略に触れてみたい。

企業を支えるのは人であり、金型メーカーにおいては技術者・エンジニアである。

ただし会社経営という面からは、給料はできるだけたくさん支払ってあげたいが人件費の割合が多過ぎてもいけない。そこで筆者は労働分配率という指標を重視して普段のコンサルティングを行っている。

労働分配率は図6に示すもので、この指標により、社員の人件費と現場の生産・加工から生まれる付加価値額とのバランスを見える化することができる。一般的には次のような数値を目安とし、できるだけ少ない方が望ましいとされる。

- 40%以内：良好
- 50%以上：黄色信号
- 60%以上：赤信号

図6の計算式によると、分子の給料を維持また

労働分配率＝

$$\frac{\text{総人件費}}{\text{売上} - \text{購入費} - \text{外注費}}$$

単価×数量

※付加価値額＝売上－購入費－外注費

図6 労働分配率の計算式

は増やしていこうとすると、それ以上に分母の付加価値を多く得ていかなければならないことがわかる。

購入費や外注費は適正に抑えていかなければいけないことはもちろん、「売上」については「単価」と「数量」に分解することができ、同業他社にはない高機能な金型に取組んでいくことは「単価」を上げていくことにつながり、最短リードタイム・高い生産性で多くの金型を作ることは「数量」を増やしていく取り組みになる。この点について、社内の方針を明確にして取り組んでいくことが望ましい。

最後に、これらの経営方針を成す切削加工の人材を育成する指針として、近年の金型加工プロセスの大きな特徴である、CAMと機械オペレーターの分業と加工の自動化に配慮しなければならない点がある。

そもそも分業化する理由として、入社後短期間で実務に入れるようにすることが目的の1つとなっており、その副作用として、個々の作業者の長期的なキャリアプランができなくなっていることがある。これが金型メーカーにおける離職率の高さにもつながっている。

従来は何でもやる多能工が金型メーカーにおける作業者の主流であった。近年は単能工が主流になりつつある。単能工の長所として自身の専門性を高くできる点があるが、CAMと機械段取りが分かれているため、たとえば機械オペレーターが工具や加工軌跡のあり方などに高い専門知識があるかという点とそうでもない現実もある。

今後はこうした工程間の知識格差などに対応していくことも、金型メーカーの切削加工工程の大きな課題になるであろう。