工作機械産業

環境対応技術　ドライ、セミドライ加工

豊橋技術科学大学　機械工学系　特任准教授　村上　良彦

環境対応加工は１９９０年代にドイツで提唱された。当初、環境対応加工と言えば、単なる無給油加工と捉えられていた。したがって環境対応加工は工具寿命の低下、仕上げ面の劣化、加工能率の低下が当たり前であった。今日まで、工作機械、給油機器、切削油剤、切削工具の各分野で多くの開発や改善がなされた。現代では、加工品質、加工コスト、加工能率を維持しながらの環境対応加工を達成することで、初めて「モノづくり」の現場で受け入れられるレベルといえる。

ドライ加工、セミドライ加工が注目される背景

ここで、切削油剤の変遷について触れたい。切削油剤は植物油に始まり、鉱物油、水溶性油、ドライ・セミドライと移り変わった。長らく、切削油といえば、油性切削油が常識であった。この常識を覆す二つの大きな出来事があった。一つは87年のモントリオール議定書である。中身は大気中のオゾン層を破壊し、紫外線量を増大させるフロンの製造や使用を厳しく制限するものであり、先進国ではほぼ使用禁止とされた。フロンガスはエアコンの冷媒として、フロン溶剤は脱脂洗浄剤として、広く普及していた。油性切削剤を用いた後の洗浄にフロン溶剤が使えないのは大問題であり、水溶性切削油剤に切り替えざるを得なかった。

もう一つは97年に起きた自動車部品メーカーの工場火災。この出来事が油性切削油の使用にとどめをさす形となった。エマルションを主体とする水溶性切削剤は作業性が良く、火災の心配もないため、急速に使用量が拡大したが、給油、廃油のコスト問題が浮上した。すなわち、大量給油用ポンプのイニシャル・ランニングコストが大きいこと、廃油の油水分離コストが予想外に大きいことが分かった（**図１**）。

さらに、地球温暖化防止策として二酸化炭素（CO_2）ガス排出量25％削減という極めてハードルの高い政府方針を受けて、省エネ、省電力、省資源、省人の全ての部分で取り組んで行く必要があった。

しかし、最近の研究では切削時に発生した熱の切削工具や被削材への伝達は小さく、大部分の熱は切りくずに伝わり除去されるというメカニズムが明らかになった。したがって切削における冷却はほどほどで良いことになる。発生してしまった熱を冷却・除去するよりも、切削点に潤滑剤を与え熱の発生を抑える方が省エネにかなっているのは明らかである。

そのほか、切削熱の発生を抑制する好ましい方法として最適工具の採用が挙げられる。工具刃先と被削材間の摩擦係数を低くし、工具摩耗を遅らせることができれば理にかなう。このため、工具材質、工具形状、表面コーティングを組み合わせた切削工具が開発された。

代表的なものはコーテッド超硬工具。多くの実験によりコーテッド超硬工具に対する切削油剤としては、水溶性油剤よりもドライまたはセミドライ（ＭＱＬ＝微少切削液供給加工）が工具寿命を長くすることが分かっている。

一例として自動車用クランクシャフトの油穴加工における水溶性切削油と、ＭＱＬによる工具寿命を比較した実験結果を紹介する。工具は油穴付き深穴用コーテッド超硬ドリル直径６ミリメートル、被削材Ｓ４５Ｃ、１回転当たりの送り速度０・２ミリメートル、穴深さ１０５ミリメートルである。高速域では高圧クーラントが勝っているが、両者とも短寿命である。実用域の１分当たり50メートル―１２０メートルでは、高圧クーラントよりＭＱＬ注油の方が長寿命であることが分かる（**図２**）。

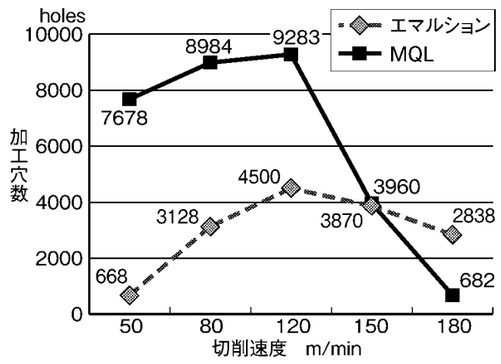

図２　切削油剤とドリル寿命の関係

ドライ加工、セミドライ加工の具体例

切削加工における切削油剤の役割は冷却、潤滑、切りくず除去の三つであることはよく知られている。これらの役割のうち、冷却作用が過大評価を受けていた。切削工具の寿命と切削速度の関係を表した有名なテーラーの法則は $VT^n=C$（Ｖ＝切削速度、Ｔ＝工具寿命、ｎとＣ＝工具材料および被削材に関する定数）であり、切削速度が大きくなると発熱により工具寿命が指数関数的に低下するとしたものである。環境対応加工は切りくず厚さを制御するのが一つのコツであるが、タップは機構上、切りくず厚さを変えられない。切削条件を変えるとすれば、回転数のみである。したがって、あるアイテムで成功したとしてもほかの場合でも成功するとは限らない。とはいえ、複数の成功事例はある。コーテッドタップを用い、加工能率を犠牲にすれば成功することも多いので取り組む価値はあると思われる。

最後にＭＱＬの油量について述べる。ミーリングの場合はオープン個所の切削が多く、断続切削なので１時間当たり10ｃｃ―40ｃｃ程度で十分であるが、ドリリングやタッピングのような穴加工ではその数倍を供給することが望ましい。今後ＢＲＩＣｓ（ブラジル、ロシア、インド、中国）に負けない「モノづくり」のために環境対応加工の重要性はますます高まるものと思われる。

ドライ加工、セミドライ加工における現状の課題

被加工物として圧倒的に多いのは鋼材であり、この分野の加工では工作機械、油剤、油剤供給ユニット、切削工具メーカーの技術開発によりドライ、セミドライ加工は急速に普及しつつある。最近、自動車、航空機、そのほかの機器の軽薄短小化に伴い、アルミニウム合金や繊維強化プラスチック（ＦＲＰ）、金属基複合材料（ＭＭＣ）といった新素材が被削材として登場してきたので、これらに対する環境対応加工法の開発も必要である。

アルミニウムは活性度が高い金属なので、融点以下の温度で凝着現象により、工具または被削物にこびりつき、工具寿命の低下や仕上げ面の劣化を引き起こす。したがって、冷却能が高い水溶性切削油給油が不可欠と考えられていたが、ダイヤモンド・ライク・カーボン（ＤＬＣ）やダイヤモンドなどの炭素系物質との親和性が極めて小さいことが見いだされ、炭素系被膜コーテッド超硬工具によりアルミニウム合金の環境対応加工に対処できるようになった。

ＦＲＰやＭＭＣなどの新素材は切削中に粉末状の切りくずを大量に発生するので、作業者の肺疾患が懸念される。切削時に発生した切りくずを散らばる前に回収できれば作業環境は大幅に改善できる。ボールエンドミルでは、先端の穴から切りくずを吸引し工具シャンクから工作機械主軸内を通して外部の切りくず溜りに誘導するものである。このためには専用の工具と工作機械が必要であり、工作機械メーカーと工具メーカーが協力して開発し、新しいシステム実用化が望まれる（**写真**）。

近年、環境対応加工の普及は進んでいるが、食わず嫌いも多い。取り組んでみれば、案外できたということも十分考えられる。大ざっぱに言ってミーリングはやさしく、切削工具も市販品で十分対応可能である。ドリリングはやや難しく特殊仕様の工具が必要である。タッピングはさらに困難である。

切りくず吸引工具

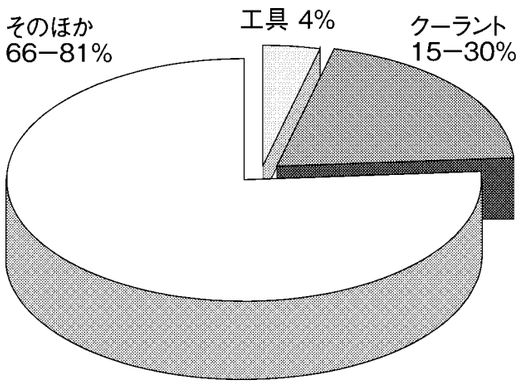

図１　加工コスト比較