

砥石の準備(その 3): ツルーイングとドレッシング 《超砥粒砥石編》

東江 真一 (ものづくり大学)

1. はじめに

砥石は、回転する工具であるために、研削盤に装着してもそのままでは使うことはできない。新規の砥石では、回転する砥石の外周を削って砥石の外周円の中心と研削盤主軸の中心を合わせて回転振れを取ったり、砥石を必要とする断面形状にしたりする。それらの工程をツルーイング(形直し)と呼ぶ。とくに超砥粒ホイールでは、ツルーイングを効率よく行いたいという要望が大きい。その次の工程が砥石のバランス取りで、最近では、研削加工はより精度を求められているために、砥石を主軸に装着して回転させて動的にバランスを取ることが多い。その後、砥石作業面の研削性能を得るためのドレッシング(目立て、目直し)を行う。なお、ツルーイングとドレッシングは作業方法が同じで、1つの工程で両方の作業を行うことがあるため、ドレッシングと言う用語を一連の砥石調整作業の総称として使う場合があるが、ツルーイングとドレッシングでは目的が異なるので、最適作業条件は異なることになる。

普通砥石のドレッシングの場合には、工具界の頂点に立つダイヤモンドを使用するが、ダイヤモンドでダイヤモンドホイールをドレッシングするには無理があるためにいろいろな方法が提案され、実行されている。また、超砥粒ホイールは耐摩耗性を示すが故により高精度で複雑形状に対応することが求められている。プロファイル研削盤などを使った微細形状金型研削はその1つの例で、耐摩耗性を示す超砥粒ホイールを使うことから、微細形状に対応したツルーイング技術が必要となっている。また、複雑形状の研削を可能にする超砥粒ホイールの総形成形技術もこれからの開発課題である。

2. ツルーイングとドレッシングの最適化

普通砥石の場合には、ツルーイングでもドレッシングでも、単石ダイヤモンドを使い、同じような作業となるので、これらの違いを意識する必要はないが、超砥粒ホイールの場合には、作業が困難な分、これら目的と評価項目を明確に区別して対処することが肝要である。ツルーイングの評価項目は、目的が形状創成であるので、芯振れ、平坦度、形状精度などの幾何公差、ツルーイング比(体積消費率)、作業効率などである。一方、ドレッシングの評価項目は、目的が切れ味や仕上げ面であるので、砥粒突出し高さ、研削抵抗などの切れ味および

研削面粗さなどになる。したがって、ツルーイングとドレッシングとでは、評価項目が異なるので、目的に応じて別個に最適化を図る必要がある。

3. 各種のツルーイング・ドレッシング方法

超砥粒ホイールのドレッシングの難しさは、ダイヤモンドとcBNの特性の差異、各種結合剤への対応、ならびに精密総形成形などにあり、いろいろな方法が提案され、それなりに実用に供している。例えば、早くから多用されている普通砥石による方法、ラッピングによるドレッシング、メタルボンドにおける放電ドレッシング、ダイヤモンドロータリドレッサによるビットリファイドcBNホイールのドレッシング、特にレジピンボンドホイールに対して高ツルーイング比を示す耐熱軟質金属によるドレッシングリなどである。

一般的に、ドレッサを静止したブロックで使用する場合と回転させるロータリ装置で使用する場合とに分かれる。成形しやすいレジピンボンドホイールを平面研削盤で平形成形する場合にはブロック状でもよいが、他の場合にはロータリドレッサを使うことが多い。

超砥粒ホイールが注目をされるようになった当初は、図1のように、普通砥石を装着したブレーキドレッサがよく使われていた。ブレーキドレッサは、ホイール回転方向に対してやや斜めに置いて、砥石同士を接触させ、連れ回らせて使用する。完全に同期して連れ回ると砥石が破壊するために、遠心力によってブレーキを作動させ、回転を落として周速度差をつけ、前後方向に送って使用する。簡便な方法でありながら、クラッシュ力が働くのでツルーイング比は比較的高い。横軸構造の片持ち梁で軸剛性に難があるために、回転振れがあまりよくは取れないなどの問題はあるが、原理的に大変によく考えられた装置である。軸剛性を高めたブレーキドレッサの開発が試みられて現在でも使用されている。

ブレーキドレッサの特徴は、回転工具でありながらモータを内蔵していないことでコンパクトにできること、およびホイールとの周速度比が1に近いために法線方向の力が大きいことである。その他の欠点としては、ドレッシング砥石が減耗すると、砥石径が小さいのでホイールが軸受け部に接触するようになることや最初は静止しているので初動回転させるための工夫が必要であることである。

* ものづくり大学: 〒361-0038 埼玉県行田市前谷333

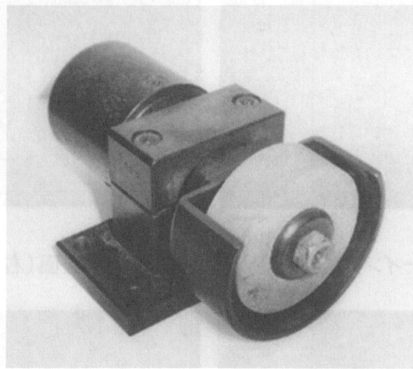


図1 ブレーキドレッサ

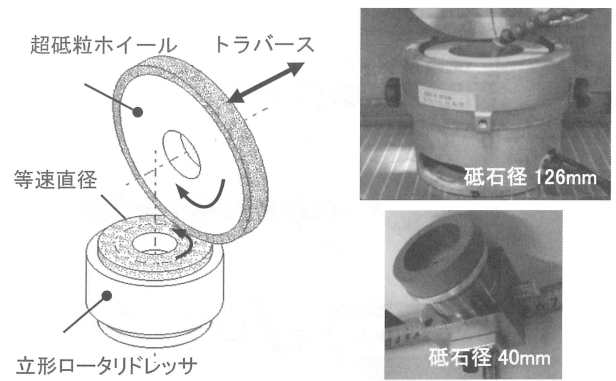
4. SFドレッシング法

4.1 SFドレッシング法の原理

普通砥石による方法で筆者らが開発した SF (Same Speed Function)ドレッシング法を図2に示す。SF法は、前述のブレーキドレッサの欠点を取り除くために、立軸構造として剛性をもたせた。また、連れ回り方法から強制駆動方式にして周速度比を定量的に定めることができ、利便性を高めた。回転方向は、クラッシュ力を利用するためにダウンカット方式とし、かつ被成形ホイールの回転方向の周速度を同じにするが、前後に送るので、相対速度がゼロになることはない。それを等速条件と呼んでおり、アップカットに比べて20倍から30倍のツルイーグ比が得られる²³⁾。SF法を平面研削盤で説明すると、左右送りは行わず、前後にトラバースさせて使用する。すなわち砥石軸方向に送る方式なため、縁ダレがない、良好な平坦度が得られる。研削液は、ドレス砥石中央に少量を注水するので、脱落した遊離化砥粒がドレス砥石上に均等に分散して、ラッピング効果を高めている。

SF法において、被成形ホイール対するにドレス砥石砥粒の相対速度ベクトルを、前後送りを加えてドレス砥石上で示すと図3になる。速度ベクトルの大きさは各作用点で異なり、その方向は1往復で360°変化する。また、法線方向に作用する力は、速度ベクトルの大きさに反比例するので、図で示される矢印長さの短いところが大きな法線力が発生していることになる。被成形ホイールの周速度と同じ周速度部のドレス砥石直径を等速直径と称しており、等速直径近辺に大きな力が生じ、かつ接線方向の力の角度が急速に変化する。原理的にツルイーグ比は、等速直径近傍の位置で最もよい。なお、等速直径部での速度ベクトルは、前後の送り成分だけになるので、あまり遅い送り速度は相対速度ベクトルが小さくなり、法線方向の抵抗が大きくなってビビリの原因になるので注意を要する。

SF法の利点は、力の作用やその方向が変化するのでラッピング効果を最大限に引き出すことである。そのために、ツルイーグが困難だとされるがメタルボンドや高結合度のビトリファイドボンドでも効率良く作業でき、またcBNホイールに対してもダイヤモンドホイールに対しても適用できる。



(a) SFドレッシング法 (b) 立形ロータリドレッサ

図2 SFドレッシング法と立形ロータリドレッサ

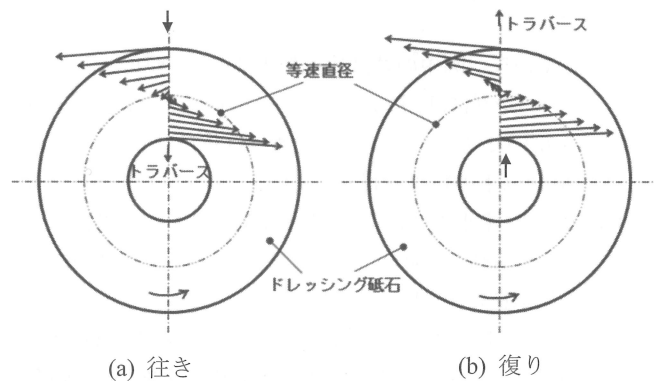


図3 ドレッシング砥石1往復での合速度ベクトルの変化

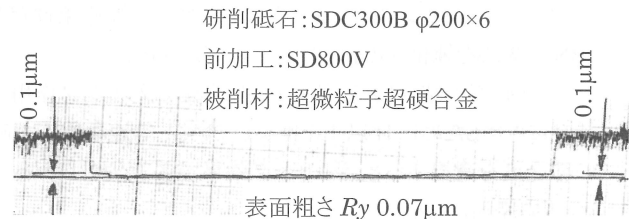


図4 SF法によってドレッシングされたホイールによるプランジ平面研削結果(平坦度と粗さ)

SF法は、V形成形にもよく使われている。V形成形では、立形ロータリドレッサをおおよそその角度で取り付けただけで、同時2軸制御すれば、砥石外周縁に角度を付けることができる。ホイールの両サイドでそれぞれにおいて作業すればV形の成形が効率よくできる。

前述のように、SF法はホイールの軸方向に送られるのでホイールの平坦度は良好である。そのために、角部の研削にも使われている。図4は、その1例で、SDC3000Bのホイールでプランジ研削した超微粒子超硬合金で真直度0.1μm、粗さRy 0.07μmである。

4.2 ドレス砥石の選択

普通砥石を用いて超砥粒ホイールをドレッシングするどの方法でも、目的に応じて最適な種類のドレス砥石を選択する必要がある。SF法では、ドレス砥石の選択基準を図5のよう

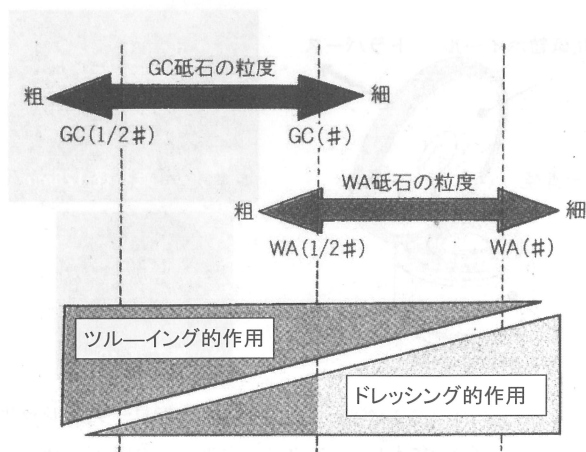


図5 ドレッシング砥石の選択基準

に示している。図中の#は超砥粒ホイールの粒度を表す。

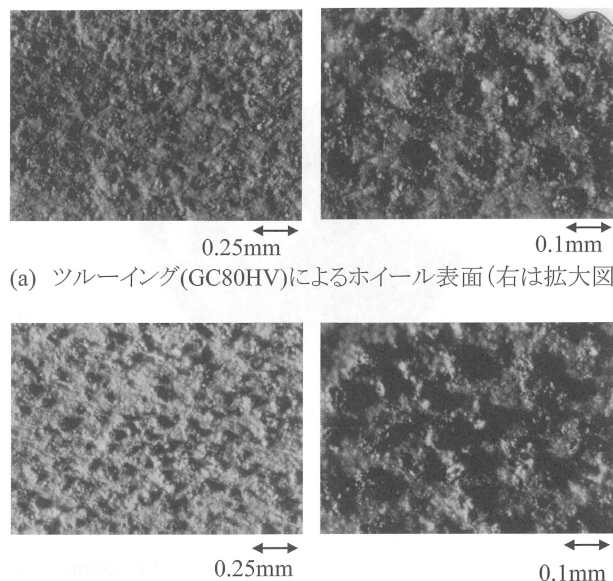
ツルーイングには、被成形ホイールの粒度よりも粗めの GC 砥石を用いて効率よく成形する。通常は超砥粒ホイールの粒度の半分以下の粒度を推奨している。脆性的な性質を示す GC 砥粒が等速条件によって超砥粒ホイールの砥粒を脆性破壊し、先端高さが揃うようになるがツルーイングを目的としているので砥粒の突き出しは余りない。

ドレッシングでは、一義的に結合剤だけを除去するために、超砥粒ホイールと同程度の粒度の WA 砥石を推奨している。cBN ホイールに対しては WA 砥粒よりもさらにソフトに作用する砥粒の種類を推奨している。それは、WA の硬度は cBN に対してダイヤモンドほど開きがないために、等速条件だと cBN の先端を鈍化させる場合があるからである。

ドレス砥石の結合度は、脱粒を起こさせてラッピング作用を活発にさせるために H 以下を推奨している。等速条件下で硬い結合度を選択すると、ラッピング効果が弱まるだけでなく、ビブリの原因になる。

ツルーイングとドレッシングを一度に行いたいと言う要望がある。その場合は図5に示すように、GC 砥石の粒度を細かくするか、WA 砥石の粒度を粗くするかであるが、効率や結果は、中間的な位置づけになる。

図6に、レジンボンドダイヤモンドホイールをSF法でツルーイング・ドレッシングした時のホイール表面の写真を示す。(a)は、ツルーイングを目的としているので、粗目の GC 砥石を用いている。ダイヤモンド砥粒が上から押さえられているので、脱落は少なく、拡大図を見てもダイヤモンド砥粒が破碎されていることがわかる。しかし、ツルーイングなので砥粒の突き出し量は小さい。(b)は、ドレッシングを目的としているので、結合剤だけを除去して、ダイヤモンド砥粒を突き出させる作業である。そのために使用しているのが WA 砥石で粒度はダイヤモンドホイールと同程度としている。ツルーイング時に、ダイヤモンド砥粒の脱落があまりないので、その分布が良好である。写真の黒い部分は突き出したダイヤモンド砥粒の陰である。



(a) ツルーイング(GC80HV)によるホイール表面(右は拡大図)

(b) ドレッシング(WA150HV)によるホイール表面(右は拡大図)

図6 SF法によるSDC140N100Bの表面

4.3 等速条件の設定

研削盤主軸とロータリドレッサの回転数を調整して等速条件にするが、ロータリドレッサの回転数を速くすると遊離化した GC 砥粒などが遠心力で飛ばされてしまうので、通常は速度制御せずに使用する。例えば、ドレッサの無負荷回転数を 25rps とし、ドレス砥石の等速直径を 100mm、ホイールの直径を 200mm として等速条件になる研削盤主軸回転数を計算すると 12.5rps になる。このときのホイール周速度は 471m/min とする。

4.4 スティック砥石を等速条件で使用する

超砥粒ホイールに付属しているスティック砥石を等速条件で使用することはできないが、等速条件に近い条件にすることは可能であるので、その方法を以下に示す。

- (1) 研削液は遊離化した砥粒が流出しないように極少量にする。
- (2) ホイールの回転を小さくできなければ、電動機スイッチを OFF にして惰性で回転させて使用し、止まる寸前でスティック砥石を離す。
- (3) スティック砥石を左右に振らせて、相対速度ベクトルの方向を変化させる。

上記の方法で、ドレッシングを容易に行うことができるが、スティック砥石の種類は図5を参考にする。また、ドレッシング効率が良くなるが、手持ちで行うので形状崩れが起きやすい。

5. 超砥粒ホイールのR成形

図7に示すように、ロータリドレッサの回転軸を被成形ホイール軸に対して直交に配置することでR成形が可能である。それを筆者はCF(Cross Axis Feed)ドレッシング法と呼んでい

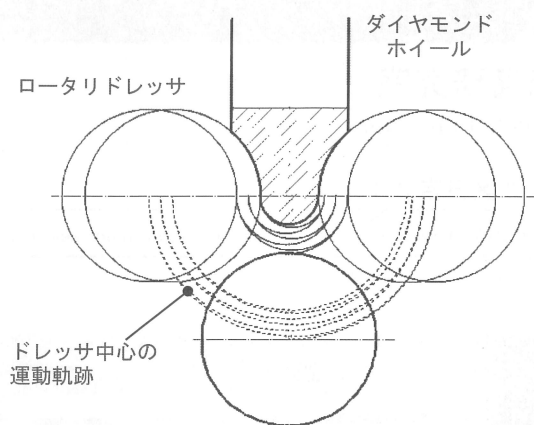
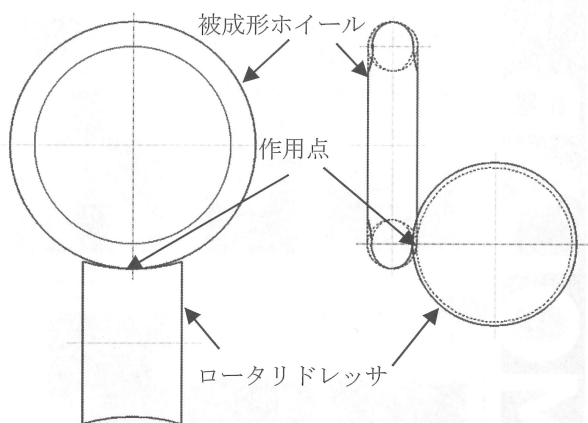


図7 半円形状生成のための円弧プログラムの組み方



(a) ドレッサが真下に位置 (b) ドレッサが真横に位

図8 CF法における曲率誤差(作用点の移動)

込まないようにしている。かつ円弧運動に伴って徐々に研削盤主軸方向に切り込むように、円の中心を1回ごとにずらして運動をさせている。

CFは、ドレス材料の摩耗を防ごうとして厚くすると真円にならない問題が生じる。半円のR成形では、ドレス材料の直径と成形半径から、ロータリドレッサの運動軌跡が計算できるが、図8に示すようにドレスの作用点が一定にはならない。そのために、ドレス材料の半径は運動に伴って変化するので、成形形状が楕円状になる。ドレスの厚みが増えるほど顕著な誤差が生じるようになるので、その分を補正した軌跡にする必要がある。

被成形ホイールがcBNには、ドレス材料はメタルボンドホイールで対応できる。被成形ホイールの結合剤がレジンの場合には、ダイヤモンドの場合であっても、高ツルーイング比を示す耐熱軟質金属が有効で容易にR形ができる。

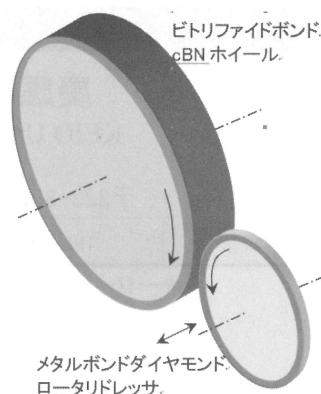


図9 ビトリファイドcBNホイールのドレッシングの概念

6. ビトリファイドボンドcBNホイールのドレッシング

鉄系部品の量産加工にcBNホイールが多用されており、そのドレッシングにも自動化技術が必要となる。cBNホイールが使われ始めた頃は、弾性を示すレジンボンドが多く使われていたが、今や上記の理由から脆性を示すビトリファイドボンドが主流となっている。ビトリファイドボンドであれば、cBNの約2倍の硬さをもつダイヤモンドでドレッシングが可能で自動化し易い。もともと硬脆材料はクラッシュによって成形できる性質があり、速度比1に近いダウン方向の作業条件は等速条件を応用した方法である⁴⁾。

ロータリドレッサを用いた模式図を図9に示す。図からわかるように、ダウン方向であり、ダイヤモンドドレスホイールの幅は小さくして、被成形ホイールであるcBNホイールへの食い込みが大きくなるようにしている。寄与率の大きい作業因子は、周速度比、切込み深さ、ドレスリードおよびドレスホイール幅の4つである。これらの因子の最適値は、機械剛性やcBNホイールの結合度で異なるので、それぞれの置かれた環境において最適解を求めることが必要である。ドレスホイールの仕様が決まれば、とくに性能への寄与率の大きいのは周速度比となる。cBNホイールは、高周速度で使うことで性能が引き出されるために、高回転速度のロータリドレッサが必要になる。

7. おわりに

超砥粒ホイールのドレッシング技術が向上し、ホイールの価格も下がって、今や超砥粒ホイールが頻繁に使われるようになった。同時に超砥粒ホイールに要求される微細形状や精度の難易度が上がり、それに伴っての更なる開発が求められている。今後もツルーイング・ドレッシング技術の向上に伴う研削技術の発展に期待したい。

8. 参考文献

- 1) 山本 等:モリブデン製ツルアによるマイクロダイヤモンドホイールの高精度高能率成形に関する研究, 砥粒加工学会誌, 60, 6 (2006), 312.
- 2) 東江真一:研削盤と周辺技術の動向と課題, 機械と工具, 6 (2013), 8.
- 3) 東江真一:ロータリドレッサ, 砥粒加工学会誌, 60, 12 (2016), 638.
- 4) 劉 猛・高木純一郎:CBNホイールのツルーイングにおける砥粒切れ刃の生成について, 砥粒加工学会誌, 38, 1 (1994), 45.