砥粒加工基礎講座「砥石」　**第6回**

砥石の構造(その5):結合剤(ボンド)の種類とその適性《レジノイドボンド編》

小嶋　孝志（豊田バンモップス株式会社）

1. はじめに

現在，地球温暖化に代表されるさまざまな環境問題が挙げられており，CO_2 排出量低減を目的に自動車，家電などに省エネと謳われている製品がいたるところで目につく．各企業においても省エネに対する取り組みに苦労されているのではないだろうか．省エネに対し大きな効果が得られる対策の 1 つに部品の軽量化がある．金属，セラミックス，複合材料などは高硬度，高靭性，高耐熱性などさまざまな機能，特性をもたせた材料が開発され，製品，部品の小型化，軽量化が進んでいる．そのなかには難削材と呼ばれる加工屋さん泣かせの材料もあるが，これから説明するレジノイドボンド砥石は比較的オールマイティに適用することができ，使いやすいことがメリットの砥石である．

2. レジノイドボンド砥石とは

レジノイドボンド（以下，レジンボンドとする）は樹脂結合剤であることを意味し，その多くはフェノール樹脂が使われている．また，重研削などで耐熱性が必要な場合はポリイミド樹脂が，鏡面加工等で弾性が欲しい場合はポリビニルアルコール樹脂やポリウレタン樹脂が使われることもある．

切れ刃となる砥粒にもいくつかの種類があり，アルミナ(WA)，炭化ケイ素(GC)などの普通(一般)砥粒を使用したものを普通(一般)といし，それに対し高硬度であるダイヤモンドまたは立方晶窒化ホウ素(CBN)といった超砥粒を使用したものを超砥粒ホイールと定義されている．また，切れ味，寿命，加工品質を調整するために，樹脂種の選択のみならず，樹脂に微小な金属，セラミックス，固体潤滑剤などのフィラーを含有させることで各社製品の特徴をもたせている（**図1**に超砥粒ホイールの砥石組織の写真を示す）．

また，切断用に使用する薄幅の普通砥石には砥石層内部に連続した繊維が埋め込まれている．これは使用中に砥石が割れにくくすると共に，万が一割れても飛散することを防ぐために，砥石の強度を向上させる役割がある．

普通砥石と超砥粒ホイールはその構造にも明確な差が有り，普通砥石は砥石全体が砥石層でできており，超砥粒ホイールは金属などの台金に砥石層が接合されている．これは超砥粒を使用することによるメリットを出すためであり，金属の台金を使用することで砥石の回転破壊強度は向上する．これにより超砥粒ホイールは高周速度で使用可能となり，砥石寿命の向上が期待でき，砥石交換頻度を減らすことができる．また，砥石層が摩耗し，砥石径が小さくなっていくと高周速度で使用できなくなることや，超砥粒は非常に高価でホイールが高額になってしまうため，有効に使用できる部分だけが砥石層となっている．超砥粒ホイールは硬く，割れにくい砥粒を使用していることから砥石の摩耗が少ない．これにより形状維持性が高く，高能率加工ができる．また，超砥粒は熱伝導率も高いため，ホイール側へ研削熱を逃がせるので工作物の焼けが抑制でき，高品位に加工できる．

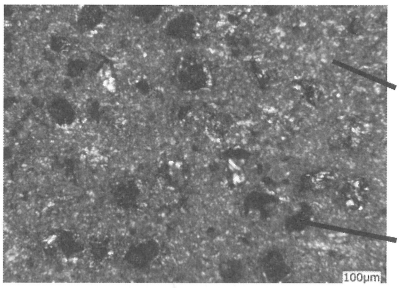

図1　超砥粒レジンボンドホイールの表面

3. レジンボンドホイールの仕様の選び方

砥粒は工作物の種類によって選択する．ダイヤモンド砥粒を使用したホイールはセラミックス，超硬などの非鉄系部品を加工するときに，CBN 砥粒を使用したホイールは鉄系の部品を加工するときに用いる．ダイヤモンド砥粒の方が硬く，熱伝導率が高いため研削用砥粒としての性能は高いが，鉄と反応することで砥粒の摩耗が早くなってしまうため，鉄系材料の研削加工には CBN 砥粒を推奨する．ただし，鉄系材料と超硬の同時研削のような場合は，超硬に対し硬度差の大きいダイヤモンド砥粒を使用する場合が多い．研削加工後の工作物の表面粗さは研削条件の変更である程度は調整することができるが，大きすぎる砥粒を選択すると目的の表面粗さが得られない．反対に小さすぎる砥粒を選択すると表面粗さは満足するが大きな切込みを入れることができず，加工時間が増加してしまう．したがって，まず必要な加工品質を整理し，加工取り代とおおよその加工時間から砥粒サイズを選択する．1 枚のホイールで品質と加工能率の両立が困難な場合は粗用と仕上げ用，場合によっては中仕上げ用と複数工程に分けて加工することも必要である．

---

* 豊田バンモップス株式会社：〒444-3594　愛知県岡崎市舞木町字城山1-54

集中度，結合度は，砥石の硬さに影響する．それぞれ高いほど硬く，砥石の摩耗は減少するが切れ味，ドレス性が悪くなり，結合度は低いほど軟らかく，その反対の性能となる．

4. レジンボンドホイールの使い方

レジンボンドホイールは平面研削盤，円筒研削盤，センタレス研削盤，内面研削盤，グラインディングセンタなど機種を選ばず使用することができる．これは，他のホイール：ビトリファイドボンドホイール，メタルボンドホイールなどと比較し，結合剤が軟らかく結合剤が後退しやすいため，機上での成形性，ドレス性，自生発刃による切れ味の維持性に優れているからである．また，弾性変形しやすい砥石であるため，砥粒が揃いやすく良好な表面粗さが得られやすいこと，研削条件を間違えて深く切り込んでしまった場合も比較的設備へのダメージが小さいことも扱いやすさの 1 つといえる．

レジンボンドホイールの性能を最大限に発揮するためには，機上での成形，ドレスが重要になる．成形はホイールの外周，端面の回転振れを 0 に近づけることを目的とし，メタルダイヤモンドツルアや普通といしで行う．振れが残ったままのホイールで研削加工すると工作物に対し断続的な当たりとなり加工精度の悪化，叩き模様が生じる．

ドレスはレジンボンドに埋まった砥粒に突き出しを与えることを目的とし，レジンボンドホイールで軟金属や WA スティックを研削することで砥粒と砥粒の間のレジンボンドを掘り起こし砥粒に突き出しを与える．この砥粒と砥粒の間にできた空間をチップポケットと呼び，クーラントの供給や切りくず排出の通り道となる．ドレスはとくに気孔の無いレジンボンドホイール，メタルボンドホイールを使用する場合に必要となるが，砥粒の突き出しが小さすぎると工作物とレジンボンドが擦り，研削焼けや叩き模様が生じるといった切れ味が悪い状態となる．この状態では研削熱によりレジンボンドが熱劣化することで砥粒を保持する力を失い，砥石の摩耗が増大する場合もある．一方，砥粒の突き出しが大きすぎる場合は工作物に当たった瞬間に砥粒が脱落してしまい，瞬間的な砥石摩耗量は増大するが，適度に突き出た砥粒が仕事をし，切れ味は維持できる．したがって，砥粒の突き出し量は適正値（平均砥粒径の 1/4～1/5 程度）が好ましいが，足りないよりは大きめの方が安全に使用することができる．

5. レジンボンドホイールの研削条件

レジンボンドホイールに限らず研削加工では，適正な研削条件の設定が必要となる．主な研削条件のパラメータは，平面研削盤を例にとると，V：ホイール周速度 m/min（（ホイール直径）×（砥石軸回転数）），t：切込み量 mm/pass，v：テーブル左右送り速度 m/min，テーブル前後送り速度 mm/min がある．円筒研削盤の場合は平面研削盤のテーブル左右送り速度が工作物の周速度に，テーブル前後送り速度が左右トラバース速度に相当する．

これらのパラメータを(1)～(5)の式に当てはめると，1 つの砥粒が工作物に作用したときにできる切りくずの形状を示す指標となる砥粒最大切込み深さ g，接触弧長さ ℓ，および単位時間当たりの仕事量を示す指標である研削能率が求められる．

a は連続切れ刃間隔で，砥石円周方向で同一線上にあり，1 つの砥粒が研削しその次に研削に作用する砥粒との間隔のことである．実際の砥石表面では砥粒の形状，大きさ，高さ，分布の不揃いがあり，数値が得られないため簡便的に平均値を用いたり，両辺を a で除し無次元とした g/a を指標とする．

砥粒最大切込み深さg

平面研削 $$g = 2 \cdot a \cdot \frac{v}{V} \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} \quad \cdots (1)$$

円筒研削 $$g = 2 \cdot a \cdot \frac{v}{V} \cdot \sqrt{\frac{1}{D} + \frac{1}{d}} \cdot \sqrt{t} \quad \cdots (2)$$

接触弧長さℓ

平面研削 $$\ell = \sqrt{t} \cdot \sqrt{D} \left(1 + \frac{v}{V}\right) \quad \cdots (3)$$

円筒研削 $$\ell = \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{\frac{1}{D} + \frac{1}{d}}} \left(1 + \frac{v}{V}\right) \quad \cdots (4)$$

研削能率 ＝ t・v ・・・(5)

a：連続切れ刃間隔
v：テーブル左右送り速度 or 工作物周速度
V：ホイール周速度
t：切込量
D：ホイール直径
d：工作物直径

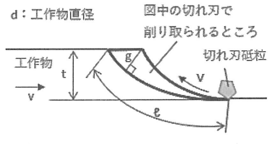

図 2 砥粒の切削機構モデル図（平面研削の場合）[1)]

研削方法が異なる場合でも上記の式から g，ℓ，研削能率を算出することで切りくずの厚み，長さ，加工速度が数値で比較することができる．例えば，研削焼けが生じる場合，加工点での発熱が大きいことが予想できる．これを解消するには加工点の発熱を抑制するため，接触弧長さを短くする，または，砥石を目替わりさせられるとよい．砥石の種類を変えなくても研削条件で対策することができる．

接触弧長さ ℓ を短くするには，上記式(3)または(4)より，切込み量 t，テーブル左右送り速度 v を小さくするとよい．ホイール周速度 V を大きくしても ℓ は小さくなるが，ホイール周速度は大きくし過ぎると砥粒の摩滅により発熱が大きくなるため，見極めが必要である．

一方，砥石を目替わりさせるためには，研削能率を同等以下で g を大きくするとよく，(1)または(2)より，ホイール周速度 V を小さくすることや，テーブル左右送り速度 v と切込み量 t を調整するとよい．また，加工品質は満足しており，砥石の摩耗量を抑えたい場合は砥粒への負荷を小さくするために，g を小さくするためホイール周速度 V を大きくするとよい．

深い溝加工のような重研削においては，一般的なレシプロ研削に対し，切込み量を大きく，テーブル左右送り速度を小さくするクリープフィード研削が好ましく効率的に加工ができる．ホイール周速度は大きすぎると工作物に研削焼けが生じ，レジンボンドは熱劣化し，砥石摩耗が大きくなることがあるため，適正化が必要である．

どのような研削加工においても，適切な砥石仕様を選択し，適切な成形，ドレス，研削条件を適用することで，そうしなかった場合に対し，加工品質，砥石寿命に大きな差が生じることを理解し，レジンボンドホイールを使用していただきたい．

6. 参考文献

1) 横川和彦，横川宗彦：CBN ホイール研削加工技術--生産革命の起爆材，工業調査会（1988）．