

精密仕上げ用ラッピング砥石

Abrasive Discs for Precision Finishing

谷 泰 弘*

Yasuhiro TANI

従来のラッピング砥石をそのまま使用したのでは、砥石の硬度が高く $0.1\mu\text{m Rmax}$ 以下の加工変質のない高精度の面を得ることが困難であった。そこで、本稿では遊離砥粒で行われているポリシング工程を代替えることのできる、精密仕上げ用ラッピング砥石に求められる機能について列挙し、またその開発に対して今後望まれる点について概説した。

1. はじめに

ラッピング砥石は、遊離砥粒を使用して行われているラッピング加工を固定砥粒により代替するために使用されるものである。それは、ラッピング砥石を使用した研磨では加工能率がよく、研磨液を大量に供給することが可能で、しかもダイヤモンドドレッサにより容易に砥石面の修正ができるなどの特徴を持っているためである¹⁾。本稿で対象としているのは、こうしたラッピング砥石を用いてポリシング加工に相当する程度の仕上げ面を得ることである。固定砥粒を用いて精密な仕上げ面を得るためには、使用する砥粒を微細化するとともに、結合剤の弾性を大きく^{2),3)}することが有効である。しかし、微細砥粒を使用すれば、目づまりが生じやすく、高い加工能率を維持することが困難となる。

そこで、著者らは「液体ボンド砥石」という従来の砥石の概念の枠を打ち破った精密仕上げ用ラッピング砥石を開発した⁴⁾。すなわち、この砥石には従来の研削砥石のような固体の結合剤が存在せず、砥粒はその表面に吸着した液体の表面張力により結合されていた。この砥石の特徴は砥粒が高密度に充填されていることと、結合度が極めて低いことであった。

しかし、こうした特徴を持った液体ボンド砥石を商品化するためには、結合剤を液体から固体へと変えざるを得なかった。そこで、液体ボンド砥石の特徴はなるべく残すような固体の結合剤の種類および量が選定された。こうして開発されたのが高密度低結合度ラッピング砥石(TLB砥石)であった⁵⁾。その開発の過程において、このラッピング砥石をポリシング加工と同程度の面を得ることのできる精密仕上げ用の砥石として位置付けるためには、種々の検討を加える必要があった。本稿は、その際

検討を行った、精密仕上げ用のラッピング砥石として求められる条件、その条件を満足する砥石が実現できたとして、その砥石の製造および使用に際して問題となる点、およびさらに機能を高めるために今後考慮すべき点などについてまとめたものである。

2. 精密仕上げ用ラッピング砥石に求められる条件

精密仕上げ用のラッピング砥石として求められる条件には、現状のポリシング加工の位置付けに照らして、どうしても必要だと思われる条件(必要条件)とあればよいと思われる条件(十分条件)とがある。

2.1 必要条件

必要条件としての第1の条件は、その砥石を使用して研磨を行うことで、 $0.1\mu\text{m Rmax}$ 以下の粗さが達成されることである。仕上げ粗さは加工条件や加工物によってももちろん異なるが、ここではその対象となる加工物に最適の条件で研磨を行い、 $0.1\mu\text{m Rmax}$ 以下の粗さが達成されるような砥石を意味する。この条件を達成するためには、当然のことながら一砥粒切れ刃当たりの切込み量を減少させることが必要となる。切込み量を減少させるためには、微細砥粒を使用するか、あるいは切れ刃突き出し量を微小化すればよい。

酒井らは最近研削加工のシミュレーションを行い、砥石の結合剤の弾性定数が大きいときには、砥粒の切込み深さ分布が分離し、平均砥粒切込み深さよりも小さい点と大きい点の2ヶ所に山のピークを持つようになると報告している⁶⁾。これによれば、結合剤の弾性定数が大きい場合にも、よい仕上げ面粗さが得られるが、最も大きい砥粒切込み深さにより決定される加工変質も大きくなると予想される。

第2の必要条件は、加工された面にスクラッチがないことである。これは第1の条件とも重なる点があるが、

*東京大学生産技術研究所 付属先端素材開発研究センター

ここでは1～5本程度の非常に数の少ないスクラッチを問題としており、この数では最大高さ粗さに影響を与えない。この条件を満足するためには、4つのことが必要となる。まず第一に製造する砥石内に大きな、あるいは加工物よりも硬い異物の混入がないことである。一般に研削砥石は微細な粉体の多い環境で製造される。したがって、異物が混入する可能性が高い。厳重な管理がされるようになっているとは言え、このことは使用する砥粒が微細になればなるほど高い確率を持つ。

第二に必要となることは、凝集(二次)粒子の発生をふせぐことである。凝集粒子が存在すれば、砥粒の一次粒子がいかに小さくとも、仕上げ面粗さに関係の深い加工単位はこの凝集粒子の大きさによって決定される。したがって、凝集粒子により大きなスクラッチが作られることになる。この凝集粒子の発生も、使用する砥粒が微細になればなるほど生じやすい問題である。凝集粒子は後述のように砥石製造時にも発生するが、研磨液中の高分子樹脂との砥粒の粘着により加工中にも発生する。

第三に必要なことは、切り屑の円滑な処理である。加工硬化した切り屑が砥石と加工物間に残留することにより、スクラッチの発生につながる。破断型や剪断型の切り屑は砥粒サイズよりも小さく、切り屑の堆積がなければ問題にはならないが、流れ型やそれに近い切り屑が発生すると、長手方向には砥粒サイズよりも大きくなり、スクラッチに関与することになる。

第四に重要なことは加工物と砥石との過度の摩擦を防ぐことである。砥石が多少の研磨液を吸収し膨潤すると、研磨液の表面張力により砥石と加工物との吸着が生じる。このことにより、加工物と砥石との界面には非常に大きな摩擦力が働くことになる。このことが、膨潤して強度の低下した砥石表面の破砕を促し、破砕した砥石片がスクラッチを生成することになる。

第3の必要条件は、加工変質がないことである。ここで対象としているラッピング砥石を最終仕上げに適用するとすれば、加工物の機械的および物理的特性に悪影響を与える加工変質がないことも重要な条件である。加工変質は、一般に機械的応力と加工熱によって発生することが知られている。加工熱の発生は加工物と砥石との過度の摩擦を防ぎ、加工単位を小さくして加工に伴い発生する熱量を抑え、さらに研磨液の温度管理を行えば、影響のない程度に抑制することができる。問題は機械的応力で、これは加工物の表面の除去作用を機械的に行う以上、塑性変形や破断を生じさせる応力値以下にすることはできない。したがって、このためには化学的効果のある砥粒⁷⁾を使用することが望まれる。メカノケミカル作用により加工物表面が砥粒と作用し、元の加工物硬度よりも低い化合物が表面に生成され、これが機械的あるいは化学的に除去されれば、機械的応力を減少させ加工変

質層を小さくすることができる。

2.2 十分条件

十分条件として考えられることは、加工物の形状精度を劣化させないことである。現状の精密仕上げ用ラッピング砥石は砥粒切込み深さを小さくするとともに平均化するために、結合剤に弾性を持たせている⁸⁾。しかし、過度の弾性は、加工時に常時変化する圧力分布に対応して、加工物周囲のだれや加工物全体にわたる微小うねりの原因となる。したがって、形状精度を劣化させないためには、砥石の結合剤に過度の弾性を持たせないことが重要である。

3. 精密仕上げ用ラッピング砥石として望まれる形態

2章で論じた必要条件を満足させるような砥石としては、微細砥粒を使用した砥石あるいは化学的効果のある砥粒を使用した砥石が考えられる。2.1節にて述べたように加工時に発生する機械的歪みを小さくするためには、メカノケミカル作用を持った砥粒を用いて砥石を製作することが好ましい。しかし、非常に微細な砥粒を使用すれば、そうした砥粒はある研磨液雰囲気中でシラノール基を表面に大量に持ち、それらが化学的な除去作用を行うことが知られている⁹⁾。したがって、非常に微細な砥粒を使用して製作された砥石によっても、加工変質の少ない加工面を得ることができる。ただ、こうした従来使用されていなかった砥粒を使用して砥石を製造するためには、種々の問題点が発生するし、また製造されたとしても、使用上で種々の問題点が生じることが予想される。

4. 精密仕上げ用ラッピング砥石の製造および使用上の問題点

4.1 製造に関連した問題点

3章で導き出したようなラッピング砥石を製造しようとすれば、次のような問題点が生じる。まず第一に砥石結合度の不均一、ラミネーション、ボイド等の問題である。従来の研削砥石でもこの問題は存在したが、砥石の製造方法や製造条件の改良により、最近ではほとんど解決されている。しかし、3章で提案した砥石では、微細砥粒あるいは化学的効果のある軟らかく形状のいびつな砥粒を使用しているために、砥粒間に空気が残留あるいは砥粒自体の軟らかさのために、十分圧縮成形ができないという問題点が発生する。このために、結合度の不均一、ラミネーション、ボイド等が発生しやすい。圧縮性を向上させるためには、加熱するか真空に引きながら圧縮することが必要となりそうである。

第二の問題点は、異物の混入である。2.1節にも述べたように、砥粒が微細になれば、環境をよほど管理しなければ異物が混入することになる。第三の問題点は、凝集粒子の発生である。砥粒が微細になれば、その表面エ

ネルギは大きくなり、種々の分子を吸着させやすくなる。微量の液体分が存在すれば、その表面張力で凝集することになる。砥石としてはこの作用を逆に利用し造粒すれば製造が簡単になるが、製造時に発生した凝集粒子は、加工時にもその単位で作用し仕上げ面粗さの劣化やスクラッチの発生につながるようになる。

4.2 使用に関連した問題点

3章で提案したような精密仕上げ用ラッピング砥石が製造されたとして、これを使用するに際して問題となる点は次のようなことである。まず第一に砥石の目づまりである。微細砥粒を使用すれば、多少の目づまりは防ぎようがない。この目づまりを抑制するか、あるいは問題とならない程度の砥石の表面状態に維持するためには、三つの方策がある。第一は、目づまりが生じにくい研磨液の種類および供給方法を加工物の材質に対応して選択することである。第二の方法は、結合度を低くすることにより研削加工に特有のセルフドレッシング機能を活性化することである。しかし、結合度が低すぎると砥石の減耗のみ進展し砥石の除去能率をかえって低下させることになる。最適の結合度は加工条件によって異なり、研磨圧が高いような場合には最適の結合度も大きくなる。第三は、加工点以外の点において強制的なドレッシングを行うことである。この場合には脱粒した砥粒が加工に悪影響を及ぼさないように注意しなければならない。

第二の問題点は、毛管現象による砥石の吸水性の増大である。砥粒が微細化し砥粒間のすきまが小さくなれば、研磨液が容易に砥石内に浸透することになる。結合剤が研磨液を吸収すれば、砥石が膨潤して形状が変化してしまうとともに、砥石の弾性も大きくなり加工圧による変形が大きくなる。また、表面張力で加工物と砥石とが吸着する現象も発生し、界面での摩擦が大きくなる。この現象を抑えるためには、砥粒、結合剤と親和性の悪い研磨液を選択するか、あるいは撥水性のある添加剤を使用して、研磨液が砥石内に浸透しにくくすることである。

第三の問題点は、砥石摩耗の修正である。砥粒が微細化すれば、結合剤の量を増加させ強度を向上させなければ、砥粒を十分な強度で保持することができなくなる。このため、結合剤の強度を高めたラッピング砥石も開発されている⁹⁾が、強制ドレッシングを行わなければ、チップポケットにあたる気孔が小さいために、容易に目づまりを生じてしまう。著者らは、そのために結合度を低下させたラッピング砥石を開発したわけであるが、結合度が低ければ砥石の減耗は大きく、加工物に転写される砥石の形状を管理するうえでは、砥石が一様に減耗するように方策を講じるか、あるいは砥石形状を修正する必要が生じる。そのためには、砥石強度を一様としたときにあらかじめ予想される砥石減耗の形状から、減耗が進む場所では砥石強度を高くすることにより、一様に減耗す

るように調整することも一方法である。あるいは、砥石減耗がなるべく一様に進展するように、加工物上の一点が同じ軌跡をたどるようになるまでの時間を長くするなどの加工機の運動機構を採用することも有効であろう。この二つの方法によって解決されない場合には、砥石表面を強制的にツルーイングすることが必要となる。

5. 今後精密仕上げ用ラッピング砥石に望まれること

前章までは、従来の概念に沿った精密仕上げ用ラッピング砥石の在り方について検討してきた。本章では、従来の概念に束縛されないラッピング砥石について考えてみよう。

従来砥石の弾性と結合度とは切り離して考えられず、時には混同して表現されることがあった。というのも、両方の特性とも、結合剤の種類、量、焼成法によって決定される性質のものであったためである。結合度は砥粒の保持能力で、上述のように砥石の粒径によっても影響を受けるが、砥石弾性は影響を受けない。

このように、結合剤が砥石に弾性を与え、また砥粒を保持するという二つの機能を同時に持っていたわけであるが、これを分離して結合剤は砥粒を保持するために使用し、添加剤にあたるものに砥石弾性の機能を持たせれば、従来の砥石よりも広範囲に結合度および砥石弾性を振ることができるようになるのではないだろうか。その結果、それぞれの条件の加工により適した砥石が製造できるかもしれない。

この結合度および砥石剛性に関連して、今一つ機能を高めることができないだろうか。従来の研削砥石は、三次元的に均質になるように開発を進めてきたきらいがある。これは高速回転する研削砥石には安全性を確保するうえで仕方のないことでもあった。しかし、低速回転で使用されるラッピング砥石に限って考えれば、砥石強度にしても研削砥石よりも低い値を持っていても問題はない。さらに、平面ラッピングでは加工物は常に砥石表面に押し付けられているので、砥石としては垂直方向の強度よりも水平方向の強度が問題となる。

たとえば、ポリシングでは人工皮革のようなものが工具として使用されているが、この中には化学研磨に使用されるものなど垂直方向の剛性と水平方向の剛性が異なるものが存在する。このことは、ラッピング砥石としても結合度や砥石剛性が三次元的に異方性を持っていたとしてもよいことを示している。事実、液体ボンド砥石は垂直方向と水平方向では結合度が異なっている。

以上、本章では結合剤の高機能化について述べてきた。しかし、上で述べたことはいずれも機械的特性に関することで、もう少し結合剤、添加剤の機能を拡大して化学的な特性まで含めて考えることができるものと思われる。たとえば、4.2節でも述べたように研磨液が砥石内に浸

透することを抑制したり、砥石表面の結合剤の弾性のみが研磨液との化学的反応や加工熱による相変化などにより変化したり、研磨液との反応で化学的な活性状態が変化するような結合剤、添加剤があってもよいのではなからうか。

6. おわりに

本稿では、精密仕上げ用のラッピング砥石に求められる機能について述べた。従来のラッピング砥石では得られなかった高精度の面を得ようとすれば、従来の研削砥石をそのままラッピング加工に適用するだけでは不十分で、ラッピング砥石に新しい機能を付加することが必要になるものと思われる。著者らが「液体ボンド砥石」で提案した「高密度」、「低結合度」もこうした機能の一つであったわけであるが、今後こうした新しい観点に立ったラッピング砥石の開発がさらに進められることが期待される。研削砥石の専門家でもないものが、机上の空論で好き勝手なことを述べさせて頂いた。何か専門家の方々の御参考になれば、幸いである。

本稿をまとめるにあたり、タイホー工業(株)中央研究所

佐藤三倉氏、河田研治氏、(株)日本金剛砥石製作所小野誠一氏、坂井正親氏からは貴重な御意見を頂いた。紙面を借りて御礼申し上げます。(1989年1月19日受理)

参考文献

- 1) 佐藤健児・松井正己：精密仕上げ法，共立出版，(1958) 東京，66.
- 2) マイクロ加工技術編集委員会：マイクロ加工技術，日刊工業新聞社，(1977) 東京，116.
- 3) カネボウ砥石，カネボウ化成(株)カタログ.
- 4) 谷 泰弘・河田研治：液体ボンド砥石を用いた高能率研磨法，生産研究，39，6 (1987) 231.
- 5) 河田研治・谷 泰弘：低結合度ラッピング砥石について，生産研究，40，10 (1988) 504.
- 6) 酒井保男：研削アウトプットのシミュレーション予測第4回将来技術研究会資料，(1988-10).
- 7) 安永暢男：軟質パウダによるメカノケミカルポリシング法，機能材料，5，1 (1985) 24.
- 8) 池野順一・谷 泰弘：プレーティング研磨の応用に関する研究(第1報)ープレーティング現象の発生条件一，生産研究，39，8 (1987) 335.
- 9) 馬場彦良：固定砥粒法で合理化，省力化を進める，砥粒加工学会会報，30，235 (1986-12) 35.

