

## 低結合度ラッピング砥石について

The Lapping Wheel with Low Bonding Strength

河 田 研 治\*・谷 泰 弘\*

Kenji KAWATA and Yasuhiro TANI

## 1. は じ め に

著者らは、液体ボンド砥石という新しいラッピング砥石を用いた研磨法<sup>1)~3)</sup>の研究を進めてきた。液体ボンド砥石とは、大量の微細砥粒と少量の液体とを均一に混合し、これを圧縮成形したものであり、この砥石においては従来の固体の接着力に変わって、液体の表面張力が砥粒の結合力として作用している。そのため、従来の砥石に比べて遙かに結合度が低く、砥粒の脱落が容易である。その結果、この砥石を用いた研磨においては目づまりが少なく、また、砥粒の脱落・再配置が繰り返されることによって砥粒が高密度に充填されるため作用砥粒数が多い。さらに、常に新しい切れ刃が加工面に供給されるため切れ味の良い状態が長く継続される、あるいは、研磨時には遊離砥粒として作用するなど特徴のある研磨が実現されている。

しかし、この液体を含んだ砥石には、次のような問題点がある。

- (1) 多量の液体を流しかけると、砥石が軟化し、時に崩壊する場合もあるため、湿式研磨が困難である。
- (2) 物理的強度に乏しく運搬や取り付け時に破損する可能性がある。
- (3) 液体の蒸発による、砥粒と液体の比率の変化等、保存安定性に乏しい。

そこで、少量の樹脂等を結合剤に用いた、液体を含まない砥石で、しかも液体ボンド砥石と同様の加工特性が得られる低結合度砥石<sup>7)~8)</sup>(図1)を開発した。本稿では、この低結合度砥石の特徴や、加工特性について述べる。

## 2. 低結合度砥石の特徴

この砥石は、高密度に充填された大量の微細砥粒と少量の有機結合剤とで構成されており、加工時の作用砥粒数が多く、しかも結合剤の悪影響の少ない砥石として位置付けられる。その特徴を要約すれば、以下ようになる。

- (1) セルフドレッシング作用があり目づまりが少ない。また、常に新しい切れ刃が生じるため切れ味が良い。
- (2) 作用砥粒数が多いため、高圧で研磨しても加工単位が小さく微細加工ができる。また、ダメージも少ない。
- (3) 砥石に適度な弾性があるため、シリコンウエハ等の薄型脆性材料の高圧研磨が可能である。
- (4) ラップ盤の代わりに使用して、遊離砥粒加工との併用が可能である。
- (5) 砥石の硬度(結合度)を広い範囲で調整できる。ただし、低結合度であることが、この砥石の特徴の本質であり、従来の砥石に比べれば物理的強度は低いため、通常の研削のような高速回転での使用は避けるべきである。

## 3. 低結合度砥石による加工特性

## 3.1 砥粒の種類と加工特性

図2は、砥粒に平均粒径 $5\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ 、および同粒径の $\text{ZrO}_2$ 、平均粒径 $40\text{nm}$ の $\text{SiO}_2$ 微粒子をおのおの用いた砥石により加工圧 $0.3\text{MPa}$ にてシリコンウエハを研磨した結果である。図のように、本砥石を用いて高圧研磨を行うことにより、 $3\mu\text{m}/\text{min}$ という高能率で $20\text{nmRz}$ 程度の鏡面仕上げを行うことができる。各砥粒の種類別では、平均粒径 $5\mu\text{m}$ の $\text{SiO}_2$ と比較すると、 $\text{ZrO}_2$ は能率が30%

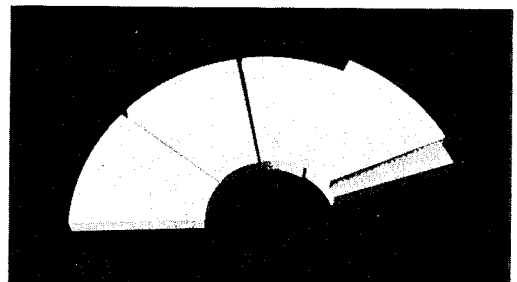


図1 低結合度砥石の外観

\*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報

程度高く、面粗さが若干悪くなっている。また、平均粒径40nmのSiO<sub>2</sub>微粒子の場合は、能率、面粗さ共に若干低下している。しかし、5μmと40nmという粒径の違いほどの差とはなっていない。これは、SiO<sub>2</sub>微粒子が単粒子ではなく凝集粒子として挙動していることが原因の一つと考えられる。

3.2 結合剤率と加工能率との関係

図3は、平均粒径5μmのSiC砥粒を使用した砥石を用いてS45C鋼を研磨した時の、砥石中の結合剤率と加工能率および砥石の減耗率との関係を示したものである。図のように、結合剤が少ないほど加工能率、砥石減耗率ともに高くなっている。砥石減耗率が高いのは当然であるが、加工能率が高い理由としては、常に新しい切れ刃が

加工面に供給されるため切れ味が良いこと、目づまりが少ないこと等が上げられる。寿命、コストを考慮すれば、この配合の砥石では結合剤率3%以上が必要と考えられる。ただし、この値は、使用する樹脂等の種類や、砥粒の種類、粒径、製法等で変動することはもちろんであり、文中に示した図にしても単にその傾向を表示しているにすぎない。

3.3 結合剤率と加工精度との関係

一方、加工物や砥石の形状精度は、図4に示すように、結合剤率が高い場合に良好となる。これは、砥石の減耗率が低く、加工前の砥石の平面が維持され、それが加工物に転写されたためと考えられる。結合剤率が3~5%の場合には、加工物と砥石との正味の接触時間の半径方向における差が原因となる平面度の劣化が顕著に現れている。結合剤が極端に少ない場合には砥石の減耗が激しいが、加工物が修正輪の役割をはたすと考えられ、そのため砥石の平面度は逆に良好となっている。

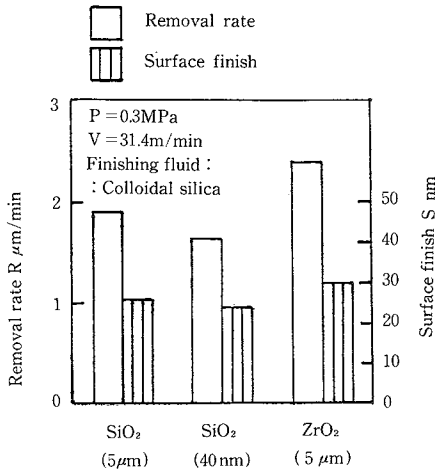


図2 砥粒の種類と加工特性 (P:加工圧, V:研磨速度)

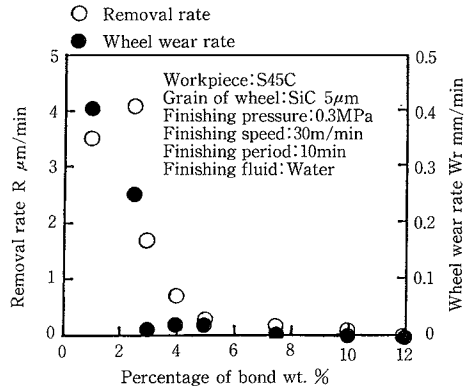


図3 結合剤率と加工能率、砥石減耗率との関係

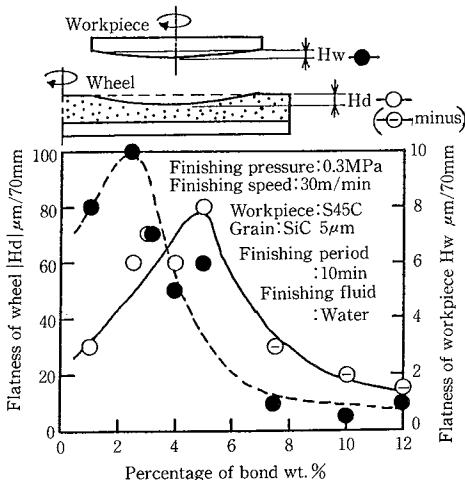


図4 結合剤率と加工物・砥石の平面度との関係

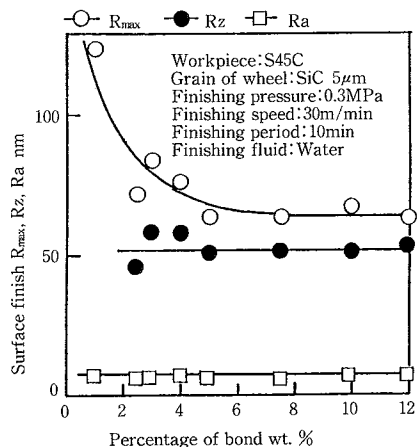


図5 結合剤率と仕上面粗さとの関係

研究速報

図5は、仕上面粗さへの影響を示したものである。このように結合剤率による差がほとんどないことがわかる。

3.4 精度向上のための研磨機の開発

以上のように、加工能率、砥石寿命、仕上面粗さのみを考えれば、この配合では結合剤率3~5%が望ましいがそこでは形状精度が最も悪いという結果となっている。そこで、砥石の形状を修正しながら研磨することが必要となっている。たとえば、変位計等で常に砥石形状を測りながら修正輪の位置を制御して平面を維持すること等が考えられる。

また、同じく形状精度向上の見地から、高圧研磨が可能のように特製の加圧シリンダを付属した両面研磨機<sup>9)</sup>(図6)による検討も行われている。図7は、この両面研磨機にてSUS440C鋼を研磨した結果を示したものである。図から明らかなように、加工能率は加工圧に比例して増加し、仕上げ面粗さは加工圧によって変化しないという本砥石の特性が、この両面研磨によっても確認されている。また、平面度についてもφ30mmにつき1μm以下という良好な値が加工圧0.1~0.6MPaの範囲で得られている。

4. 低結合度砥石の製法と物性

4.1 製法

低結合度砥石は、以下のように製造される。始めに、

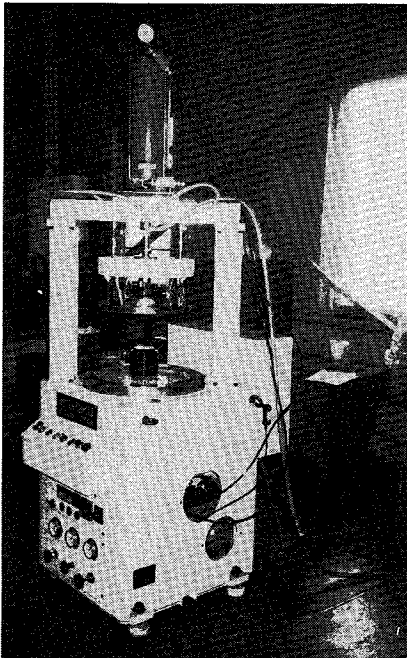


図6 両面研磨機の外観

結合剤となる接着剤と数種類の添加剤を入れた混合液を砥粒に徐々に加えながら混合造粒する。ここで、均一な混合が難しい場合には、多量の揮発性の高い溶剤、たとえばヘキサン、ヘプタン等の低分子量炭化水素や、メタノール、エタノール等のアルコール類で上記の結合剤を希釈し、砥粒と均一に混合した後、減圧、加熱等により希釈剤を除去しても良い。次に、混合造粒された砥粒を一定量金型に投入し、プレス機等にて10~60MPaで圧縮成形する。最後に、圧縮成形された生砥石を強制あるいは自然乾燥し製品砥石とする。

4.2 組織

一般に、砥石は砥粒、結合剤、気孔から構成されるが、これら3要素の割合を知ることは、その割合が砥石の性質をある程度決定する場合があるので重要である。

図8は、C#3000の低結合度砥石の樹脂濃度を変えた時

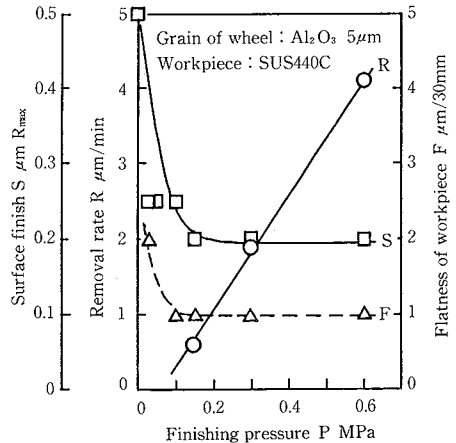


図7 両面研磨機による実験結果

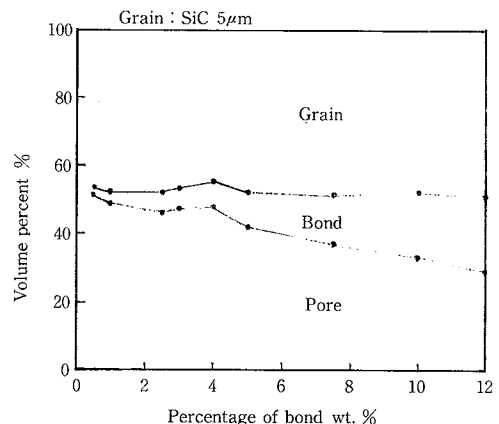


図8 結合剤率と要素百分率

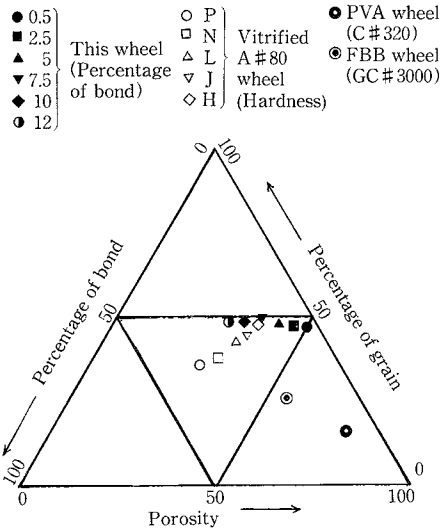


図9 砥粒率・結合剤率・気孔率の3成分表示

の3要素の体積百分率の変化を示したものである。このように、樹脂濃度の増加に対して、砥粒率は変化がなく、気孔率が減少しているのがわかる。これは、樹脂濃度の増加に伴い、気孔部分が樹脂に置き換わっていくためと考えられる。また、このような微細な砥粒で砥粒率が50%近い値を示していることは、砥粒が高密度に充填され作用砥粒数が多いというこの砥石の特徴を良く表している。

図9は、砥粒率、結合剤率、気孔率を3成分表示し、低結合度砥石と従来の砥石とを比較したものである。砥粒径や、結合剤の比重が異なるため単純に比較はできないが、ビトリファイドA#80の砥石を例に取ると結合度Hの砥石に近い組織をC#3000の低結合度砥石は持っていると考えられる。

4.3 硬度 (結合度)

一般に、砥石の硬度は研削砥石の試験方法 [JISR6240]・結合度試験に規定されている大越式試験方法によって測定・規格化されている場合が多い。しかし、この方法を低結合度砥石に適用すると、二又ピットの食い込みが深くなりすぎて、もはやその砥石を使用できなくなる可能性がある。そのため、ここでは、同じ [JISR6240] で認められているロックウェル式試験方法・ロックウェル硬さスケールR (鋼球12.7mm, 荷重60kgf) および、スケールS (鋼球12.7mm, 荷重100kgf) にて硬度を測定している。

C#3000の低結合度砥石のロックウェル硬度を樹脂濃度との関係を例にとって見ると図10のようになる。すなわち、樹脂濃度7.5%位までは樹脂濃度の増加に伴って硬度も増大するが、その濃度を越えると硬度は低下する傾

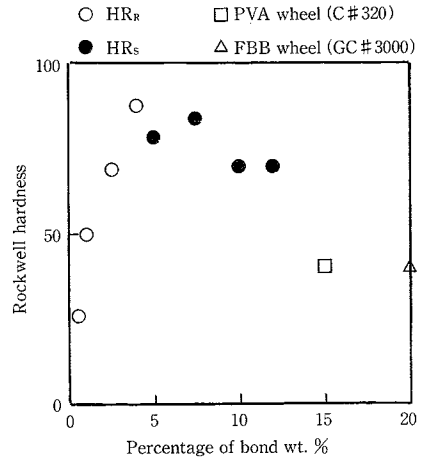


図10 結合剤率と硬度

向にある。これは、樹脂濃度が増大するに従い樹脂自体の硬度の影響が現れてくるためとも考えられる。比較のために、市販されているPVA砥石 (C#320) と、FBB砥石 (GC#3000)の硬度を記載したが、これらから判断すると、低結合度砥石はPVA砥石やFBB砥石よりは、やや硬い砥石と言える。

5. おわりに

作用砥粒数を増加することにより実現される高能率・高精度研磨は、液体ボンド砥石以外に、ここで示したような少量の樹脂等でボンドした低結合度砥石によっても可能となる。そして、こうした液体を含まない砥石は保存安定性・物理的強度の面からも、より実用的と考えられる。  
(1988年7月14日受理)

参 考 文 献

- 1) 河田研治・谷泰弘：昭和60年度精機学会秋期大会学術講演論文集, (1985) 105
- 2) 河田研治・谷泰弘：昭和61年度精密工学会春期大会学術講演論文集, (1986) 569
- 3) 河田研治・谷泰弘：昭和61年度精密工学会秋期大会学術講演論文集, (1986) 73
- 4) 谷泰弘・河田研治：日本機械学会論文集 (C編), 51, 471 (1985) 3145
- 5) Tani & Kawata: Annals of the CIRP, 35, 1 (1986) 215
- 6) 河田研治・谷泰弘：精密工学誌, 53, 12 (1987) 1919
- 7) 河田研治・谷泰弘：昭和63年度精密工学会春期大会学術講演論文集, (1988) 337
- 8) TLB砥石, タイホー工業(株)カタログ
- 9) 液体ボンド砥石用ミロク両面ラッピングマシン, (株)ミロク製作所カタログ