処理砥石の研削性能の判定法*

——処理砥石の研削作用に関する研究 (第1報)——

小林 昭** 花岡 忠昭***

How to Evaluate the Grinding Performances of Treated Wheels
——Researches on the Grinding Action of Treated Wheels (Part 1) ——

Akira KOBAYASHI, Tadaaki HANAOKA

Grinding performances of treated wheels are studied in order to clarify the grinding mechanism in various atmospheres. It should be considered that the frictional force plays an important role in a grinding process. The frictional force, F_f , and the coefficient of friction between wheel and work material, μ , can be decided by the experiments of surface grinding with several width of work material under the same condition. Besides, the index x which shows the percentage of normal force partly supported by the grains is able to calculate. According to these thinkings, the effects of treatments and several kinds of grinding fluids are estimated with μ , F_f/F_t , x , F_f and also with the grinding ratio and skin temperature. Small value of μ and small percentage of F_f in the apparent grinding force will be recognized in the treated wheel grinding which results the good performances equivalent to the wet grinding. Moreover, the grinding ratio becomes large in the treated wheels, it makes the wheel life be long.

1. 緒 言

研削加工は、金属材料ばかりでなく各種非金属材料の精密加工にも広く使われるようになってきた。研削機構の解析については、従来おもに研削面のあらさ、研削抵抗、研削温度などを対象として最近急速な進展を見せてきてはいるが、砥粒、結合剤および気孔の研削作用についてはまだ十分には明らかにされていない。すなわち、同じインゴットから製造されても、異なった大きさ、形状および性質などを持っている研削砥粒が砥石中に不規則分布していることが考慮されていないし、したがって同じ砥粒率と結合剤率を持った砥石でも、結合剤橋の大きさも強さも異なっているわけで、このような砥石構造上から砥石の研削作用は大変複雑である。さらに、砥粒切込み深さが非常に小さく、瞬時的に砥粒研削点で高温にさらされるなど加工上からも研削作用の解析を困難にしている。また気孔の果す役割や研削液および研削雰囲気

気の研削作用に対する影響などについては今後の研究にまたれるところが大い。

本研究の目的は、種々の処理剤を含有させた処理砥石を使って、研削雰囲気の効果と砥石構成要素の研削作用を明らかにしようとするものであって、本論文では、接線研削抵抗中における摩擦力の割合を考慮に入れた処理効果の判定法をおもに扱っている。

2. 実験方法

同一ロッドの同一仕様の砥石を使用して、各種処理を行なったものについて、平面研削加工を行ない処理砥石の研削性能を比較した。実験方法は図1に示すとおりである。

処理砥石の研削性能を判定するために、研削抵抗、研削表面温度、研削面あらさおよび砥石減耗量を測定した。研削抵抗の2分力は8角形弾性リングとワイヤストレーンゲージを使用して測定したり。

研削表面温度の測定は高沢²⁾の方法を使用し、加工物裏面から研削面近傍まで径1.4 mmの穴をあけ、径0.65 mmのコンスタンタン線に絶縁管(外径1.3 mm, 内径0.7 mm)をかぶせて挿入し、加工物材料とコンスタンタン線との間の熱起電力により研削中の温度上昇を測定した。接点と加工物表面との距離に対する研削温度との

* C.I.R.P. 第13回総会 (Cincinnati 1963. 9), C.I.R.P. 第14回総会 (Stresa 1964. 9) に論文提出。昭和39年4月精機学会春季大会学術講演会にて発表

** 正会員 電気試験所

*** 正会員 千葉大学工学部

図1 実験条件

関係から外挿法によって研削表面温度を推定した。このとき、加工物に穴に挿入する絶縁管として加工物の熱伝導率と非常に違うものが普通用いられているが、穴の真上の加工面で局部的に研削焼けを起こし、真の研削表面温度と異なった値を示す恐れがある。そこで金属と熱伝導率の近い絶縁管（熱伝導率 $0.63 \text{ cal/sec/cm}^2/\text{C}$ 、日本碍子製酸化ベリリウム）を使用することによってこの影響を除くことができた。

各種の処理砥石で研削実験を行ない、スパークアウトした後の研削面を仕上面あらさ計（小坂研究所製 SEO 形 Surf-Ele-Meter）によって中心線平均あらさを求めた。

研削比を算出するためには、研削砥石の縁を使い、幅 3mm で 1 行程当り 10μ の切込みを与えて研削し、研削回数 50 回と 100 回と砥石の縁の形状変化から砥石減耗量を求め、これと研削量から研削比を計算した。

3. 処理剤および処理方法

処理剤として具備すべき性質は次のとおりと考えられる。

- 1) 潤滑性のあること、
- 2) 常温では固体であるが、研削熱によって融解する

表1 処理剤の種類

処 理 剤	分 子 式	融 点 ($^{\circ}\text{C}$)
パラフィン	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	57
ステアリン酸	$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$	67~70
	$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$ (84%)	
木 ろ う	$\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ (14%)他	49~56
セチルアルコール	$\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{OH}$	49.3
ラ ノ リ ン	$\text{C}_{27}\text{H}_{55}\text{OH}$	31~43
鯨 ろ う	$\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOC}_{16}\text{H}_{33}$	42~52
蜜 ろ う	$\text{C}_{15}\text{H}_{21}\text{COOC}_{30}\text{H}_{61}$	61~66
ステアリン酸鉛	$\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOPb}$	100~108

図2 処理方法

ものであること、

- 3) 切りくずと付着しにくいこと、
- 4) 安定であること、
- 5) 処理しやすいこと、

まず第一に表1に示すような 8 種類の処理剤を選んだ。処理方法は次の 4 種類の方法でおこなった（図2）。

A) 処理剤を加熱融解させ、その融液中（処理剤の融解温度 $+10^{\circ}\text{C}$ 程度）に加熱した砥石を浸漬し処理剤が十分浸み込むまで放置する。

B) 加熱した砥石を軸心のまわりにゆるやかに回転しながら、砥石の外周部だけに融解した処理剤が浸み込むようにする。

C) 加熱した砥石に融解した処理剤を十分浸み込ませた後、まだ熱いうちに一定時間高速回転して処理剤がわずか残るように振り切る。

D) 揮発性の溶剤にとかした処理剤中に砥石を浸漬した後とり出して放置し、溶剤を自然に蒸発させ、砥石中

に処理剤だけを残す。

それぞれの方法で処理した砥石を用いて予備実験したところ次のようなことがわかった。すなわち、A)の方法は砥石気孔中に処理剤が入り過ぎ、研削時に目づまりを起こす傾向にある。B)の方法は A)の方法より処理剤の量は少ないが、均一に含浸させることがむずかしく、またこの方法でもなお砥石外周部における処理剤の量が多すぎる。C)の方法は処理剤の量も少なく、比較的均一に入るが、難点には砥石の気孔の大きさ、形および処理剤の性質によって、同じ条件で回転させても含浸量に差のあることである。D)の方法は揮発性溶剤中に処理剤を溶かす量を定め、わずかの処理剤を均一に砥石中に含有させることができると考えて行なったものであるが、溶剤が蒸発する際砥石表面に粉がふくように処理剤が浮き出てきて均一な処理ができない。

これらの実験から比較的良好と思われる C)の方法をとり、種々含浸条件を変えたところ、処理剤の量は重量比で 3%前後がよい結果を得た。なお、同一条件で製造された同一砥粒、粒度、砥粒率、結合剤率を持った砥石であっても、詳細に観察すると、砥石相互間の研削性能に差異があることがわかったので、それぞれの砥石について処理前後に同じ条件で研削実験を行ない、そのときの研削抵抗、研削温度、研削面あらさおよびスパークアウトまでの全仕事量を測定し、それらの比を求めることによって処理剤の効果を調べた。上記 8 種類の処理剤についての実験結果を図 3 にまとめて示す。いずれもサフィックス d のついたものは処理前の砥石についての値を示し、 t のついたものは処理した砥石についての値を示す。そこでそれぞれの比で 1 を越すものは処理することによって処理前より値が大きくなることである。したがって比が 1 以下になることが処理剤としては望ましいことになる。そこで、比の値を 1 以下にする項目がもっとも多く、中でも研削面あらさと研削表面温度を低くするパラフィン、ステアリン酸、鯨ろう、ラノリンを精密研削用の処理剤として選り出すことができた。

図 3 各種処理砥石の研削性能の比較

次により詳細に処理剤の処理効果の判定法について論じよう。

4. 処理砥石の効果の判定法

すでに佐藤は接線研削抵抗 F_t のうちに占める 摩擦抵抗 F_f を分離し、乾式研削では F_f/F_t がかなり大きく、湿式研削になると低減することを見いだした⁴⁾。研削加工の場合、摩擦抵抗によって消費される摩擦仕事は重要な因子となることが考えられるので、接線研削抵抗中に占める摩擦抵抗の割合をもとにして処理砥石の性能判定の 1 つの基準と考えた。前にも述べたとおり³⁾、接線研削抵抗から摩擦抵抗を分離するには砥石と加工物との間の摩擦係数 μ の値を求める必要がある。さて 摩擦抵抗 F_f を見かけの接線研削抵抗 F_t から加工物を削り取るだけに要する力 F_{pg} を除いた値と定義しよう³⁾。

すなわち、

$$F_f = F_t - F_{pg} \quad (1)$$

また

$$\mu = \frac{F_f}{F_n} \quad (2)$$

式(2)で砥石と加工物の間の摩擦係数と定義しよう。ここに F_n は法線研削抵抗である。

種々の処理砥石を使った場合の F_t および F_n の値を研削抵抗測定装置によって測定することができるが、平面研削実験において F_t から F_f を分離し、 μ を決定することは非常にむずかしい。そこでたくさんの失敗を重ねた後、次のような方法を試みた。すなわち砥石厚より大きくならない範囲で加工物幅 b をいろいろに変えて平

ステアリン酸処理砥石 $d=15 \mu$, $v=10 \text{ m/min}$

図4 研削抵抗 2 分力と加工物幅との関係

(a) 内周形切断法の原理図

(b) Capco 形切断機械

図5 内周形ダイヤモンド切断機械

面研削実験を行ない、 b と F_t , F_n の関係を書いてみると、一例を図4に示すとおり、それぞれ直線上にのり原点を通らない。これらの直線を $b \rightarrow 0$ まで外挿し、縦軸との交点から $F_{n,b \rightarrow 0}$ と $F_{t,b \rightarrow 0}$ を定めれば ($b \rightarrow 0$ のとき $F_{pg \rightarrow 0}$ と考える)

$$\mu = \frac{F_{t,b \rightarrow 0}}{F_{n,b \rightarrow 0}} \quad (3)$$

から μ の値を求めることができ、 μ が求まれば式(2)から F_f を求めることができる。そこで図4中に $\mu F_n = F_f$ の関係を書けば、斜線を施した部分が加工物を削り取るに要する力 F_{pg} を表わすことになる。図5に示すような内周形ダイヤモンド砥石¹⁰⁾を用いてSi単結晶の厚さ $b \text{ mm}$

砥石周速 $U=800 \text{ m/min}$, 送り速度 $v=15 \text{ mm/min}$

図6 切断抵抗と単結晶厚さとの関係

を4種類に変えて切断実験を行なったときの関係を求めると図6のような結果が得られ、この場合も先と同様の方法によって μ を求められることが明らかである。

5. 処理砥石の性能比較

3節に述べた予備実験で選り出した4種類の処理剤と、比較のために4種類の研削液を用いて平面研削実験を行なったときの b と F_t , F_n の関係の一例を図7に示す。このようにして求めた4種類の処理剤および4種類の研削液を用いた場合の $\mu \sim F_f/F_t$ の関係を図8に示す。これによれば μ の増加につれて F_f/F_t の増加する傾向が認められ、前に報告した理論計算値の結果³⁾ (p. 87図2) とほぼ一致している。またラノリン以外の処理剤はいずれも乾式研削に比べて μ と F_f/F_t を減らし、研削液ではソリューションだけが μ と F_f/F_t の減少をもたらすことがわかる。油性のものは μ を減らす砥石のすべりを増加して研削性能を低下するようになる。

いま、加工物にできるだけ悪影響をおよぼさないように研削するためには F_f/F_t を小さくすることが望ましい³⁾。 F_f/F_t を小さくすることは、接線研削抵抗の行なう全仕事量のうち、摩擦仕事の占める割合を小さくすることであり、したがって摩擦熱の発生を少なくすることである。そこで μ と F_f/F_t を小さくすることは、研削性能の向上に役立つということができ、またこのようにすれば各種処理剤および研削液の研削性能が判定できることになる。

図9は各種処理剤の効果をまとめて示したものである。ここで x は全法線研削抵抗のうち砥粒がうけもつ割合を示すものであり³⁾、目づまりの度合をあらわす指数と考えられ「目づまり係数」と呼ぶ。この x は文献(3) (p. 85) の表1の式(24)

図 7 各種処理剤および研削液を用いたときの研削抵抗と加工物幅との関係

 図 8 F_f/F_t と μ との関係

図 9 処理砥石の効果の判定

$$\frac{F_t}{F_n} = \frac{2}{\pi} x \cos \theta + \mu \quad (4)$$

より $\theta \doteq 60^\circ$ と仮定⁵⁾⁶⁾⁷⁾して計算したものである。また T は前述の方法で求めた研削表面温度を示す。この図から次のような結果を導くことができる。

1) 乾式研削の場合の F_t/F_n は 0.45~0.50 の範囲にあり、一方処理砥石においては 0.43~0.57 である。これは F_t/F_n の値だけでは処理砥石の研削性能の評価にならないことを示している。

2) 乾式研削の場合 μ の値は 0.23~0.27 の範囲であり、これは砥石の結合度によって変わる。一方処理砥石の場合は 0.14~0.37 の範囲であり、湿式研削の場合は 0.13~0.29 である。ステアリン酸とパラフィンの μ 値の乾式に比べての減少は顕著であり、ケミカルソリューションと油性研削液の値に匹敵する。

3) 乾式研削における F_f/F_t の値は 50% であり、一方処理砥石の場合は 30~65% で、湿式研削の場合は 33~71% である。処理砥石の F_f/F_t はラノリンを除き 50% より小さく、研削加工に不必要な摩擦仕事の減少を物語っている。また Mayer と Shaw⁸⁾ が乾式研削においては F_t の約半分が加工物の加工に費されると仮定しているが、このように F_f の分離を行えば明らかにその考え方の正しいことを示すことができる。

4) 乾式研削における x の値は 0.66~0.76 であり、処理砥石においては 0.56~0.90 である。また湿式研削においては 0.20~0.71 である。ラノリンを除く処理砥石および研削液ソリュブル、ソリューションを用いた場合に

は目づまりしにくいことを示している。

5) 乾式研削における研削比 γ の値は 10 より小さく、処理砥石の場合は鯨ろうを除き 10 より大きい。ステアリン酸処理の砥石を使った場合、研削液を用いた湿式研削と比べ研削比の値が大きくなり、砥石減耗に及ぼす処理砥石の顕著な効果が明らかである。

6) 乾式研削における F_f の値は 0.7~0.8 kg であり、処理をしない砥石と比べステアリン酸処理あるいはパラフィン処理の砥石を使った場合の F_f の減少は顕著である。この値はケミカルソリューションあるいは油性研削液の値とほぼ等しい。

7) ステアリン酸あるいはパラフィン処理砥石を使った場合の研削表面温度 T は処理しない場合より低く、湿式研削の場合と同程度である。ラノリン処理の場合は、油性あるいはケミカルソリューションの研削液を使ったときと同じぐらい研削表面温度を低くすることができる。

結論として、ステアリン酸あるいはパラフィンを処理した砥石は湿式研削とほとんど等しい研削性能を示す。さらに、砥石の中央部だけを使用して、1 回ごとにスパークアウトしながら連続的に研削実験を行ない、研削回数と砥石減耗深さ δ との関係を求めると図 10 のとおりとなる。図中に示した矢印は研削焼けあるいは目づまりの発生をあらわしている。処理しない砥石で乾式研削した場合、研削回数 250 回目ぐらいから研削焼けが発生する。処理しない砥石にケミカルソリューションを研削液として用いた場合は研削回数 250 回目ぐらいから目づまりが

図10 砥石減耗深さと研削回数

起き、油性研削液を用いた場合は 450 回目ぐらいから目づまりが発生した。またステアリン酸処理砥石に研削液として水を使用した場合も 250 回目ぐらいから目づまりを起こしている。ステアリン酸処理砥石を乾式で用いた場合、研削液を用いたときに比べ、砥石減耗深さは多少大きい、研削途中で研削焼けあるいは目づまりを起こさず 600 回を過ぎてもお良好な研削を続けることができた。この結果から処理砥石は乾式あるいは湿式研削に比べ研削焼けまたは目づまりを起こさずに比較的少ない砥石減耗量を示し、したがって、砥石寿命が長くなることがわかる。

6. 結 論

処理砥石の性能判定ははなはだむずかしい。というのは、一定条件で処理することがむずかしく、いったん処理剤を入れた砥石から処理剤を完全に抜くことはもちろん処理剤の量を増減することは不可能に近い。そこでどうしても各処理剤別に別の砥石を使用しなければならない。しかし同じ条件で焼成された砥石であっても、細かく観察すると、個々の砥石の間に必ず研削性能のばらつきがあるばかりでなく、一枚の砥石の中にも局部的な差があることは避けられない。

本報において使用した方法は種々の疑点を残してはいるが、加工物幅を変えて研削実験を行なって、 F_f , μ を求め、 F_f/F_t と μ との関係から一応処理砥石の研削性能

判定の基準にすることができた。このとき μ の大小だけでは判定基準とはならないし、 F_f/F_t の大小の方がより重要な量のように思われる。また F_f の値の大小は測定した研削表面温度と相関関係があるようである。本実験においてはステアリン酸処理が砥石減耗量、研削表面温度および目づまり程度の減少に顕著な効果を示した。しかし、この場合に問題となるのは処理剤の量であって、われわれの実験範囲では（用いた砥石と加工物の種類、研削方式によっても異なるであろう）、重量比 3% 前後がもっともすぐれた研削性能を示すことがわかった。なお、処理砥石に研削液を併用することは目づまりを増加する傾向にあった。また図 9 から明らかなように使用目的に応じて処理剤の種類を変えることも、処理砥石使用上の一つのゆき方と考える。

本研究を行なうに当たり、終始ご懇切なご指導をいただいた砥粒加工研究会長熊谷直次郎博士に厚くお礼申し上げます。また実験にご協力下さった三井金属工業（株）目黒砥石工場、ユシロ化学（株）に感謝する次第です。なお本研究は昭和 39 年度文部省総合研究費の助成により行なわれたものであることを付記する。

(1964, 11 月 4 日受付)

参 考 文 献

- 1) 小林 昭他：ゲルマニウム単結晶切断用ダイヤモンド砥石の性能試験，電気試験所研究報告，594 号 (1961) 27.
- 2) 高沢孝哉：研削面表層の温度分布の測定，切削加工技術便覧，日刊工業，(1962) 851.
- 3) 小林 昭：研削抵抗の定性的説明，精密機械，24 巻 2 号 (1958) 84.
- 4) 佐藤健児：プランヂカット研削法の研究（第 2 報），精密機械，22 巻 12 号 (1956) 503.
- 5) 小林 昭：砥粒の切削作用，精密機械，20 巻 9 号 (1954) 349.
- 6) 小林 昭：プラスチックの研削切断法の研究（第 10 報），精密機械，23 巻 11 号 (1957) 532.
- 7) 小林 昭：研削機構に関する最近の研究状況，精密機械，25 巻 4 号 (1959) 95.
- 8) J. E. Mayer and M. C. Shaw : Grinding Temperatures, Lubric. Engg., 1 (1957) 21.
- 9) 小林 昭：研削加工理論の進展，砥粒加工，2 巻 3 号 (1965) 132.
- 10) 小林 昭：非金属材料の精密加工法(上)，地人書館 (1963) 146.