研削加工の諸条件が研削砥石の性能に 及ぼす影響について (第 1 報)

——切れ刃に及ぼす振動の影響——

田 中 義 信* 津 和 秀 夫* 河 村 末 久**

Effects of Grinding Conditions on the Performance of Grinding Wheels (1st Report)

Yoshinobu TANAKA, Hideo TSUWA, Suehisa KAWAMURA

The experimental approaches are carried out on the problems of cutting edges, such as distributions and wear of them, under the conditions that there are relative vibrations between grinding wheel and the workpiece.

It is shown that, as their amplitude increase, asymmetry of the distributions of cutting edges as well as wear of the grinding wheel are promoted notably.

Wear of the grinding wheel reduce their amplitude, but when there are more than 3μ of amplitude, that effect hold out till the life time of the grinding wheel.

1. は じ め に

精密な機械部品を迅速かつ経済的に生産する方法として研削は近年ますます多く利用されている。研削加工は砥石の表面に展開する多数の切れ刃による微量ずつの切削作用であるため、切れ刃先端部の形状と砥石—工作物間の相対位置関係によって仕上精度、仕上面の品質、加工能率などいわゆる砥石の研削性能が左右されてくる。

特に最近では、研削性能を劣化させる主要な原因として、研削抵抗や研削熱の増大に直接影響を及ぼす切れ刃の摩耗状態、ならびに仕上面を悪化させたり砥石の摩耗や切れ刃の分布を不均一にさせる砥石—工作物間の相対振動に関心が持たれている。

これらの間の相対振動は砥石、工作物、テーブルなどの駆動機構にもとづくばかりでなく、研削抵抗によっても誘起されており、精密研削に際しては防振策に特に注意しなければならない。

研削盤の振動や剛性が研削性能に及ぼす研究には、仕上面の形状に関する塩崎の解析¹⁾、系の剛性が精度に及ぼす塩崎²⁾、R.S. Hahn³⁾らの解析があるが、その他は主として振動解析で占められている。切れ刃は研削中絶えず変化しながら作用しており、その分布状態の測定は従来きわめて煩雑な方法でなされてきた。ここでは試作された切れ刃測定器⁴⁾を使用して、砥石—工作物間の相対

振動が切れ刃の摩耗や分布状態に及ぼす影響を測定した結果について報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 使用研削盤と振動の測定法

実験に使用した研削盤は大隈製 GCS・生産精密研削盤で、砥石と工作物間に相対振動を与えるためには砥石軸のフランジに不平衡をとりつけた。

図 1 は軸受内における砥石軸の安定性を測定するための装置を示す。砥石軸には精密に仕上げた測定リングを固定し、これと対向する極板を水平、垂直二方向からとりつけてすき間の变化を改井上式微小容量変化測定器⁵⁾の出力としてブラウン管上にリサージュ図形で描かせると、軸の安定性が観察される。また、砥石台と工作物間の相対振動は、テーブル上のセンタの位置に極板をとりつけて、砥石台前面とのすき間の变化をブラウン管上に描かせて測定した。

図 1 砥石軸の安定性の測定法

* 正会員 大阪大学工学部

** 学生会員 大阪大学工学部

準面と作業面とを工作物上に転写してその高さの差から求めた。付加不平衡側A部の摩耗量は不平衡をとりつけたままの砥石、反対側B部の摩耗量はこれを取り外した砥石によって転写して求めた。

2.4 実験の条件

実験の条件は表1のごとくで、空転中と研削中とは研削抵抗のため砥石—工作物間の振動状態に変化が表われるので、この変化を少なくするために砥石は目なおしによって作業幅を3.5mmとした。テーブル速度は3mm/revとし、工作物の同一点は一回だけ研削されるようにした。

図5 付加不平衡と砥石軸の安定性

O_1 : 測定リングの中心, O_2 : 砥石軸の中心, O_3 : 軸受の中心

図6 砥石軸の振動

3. 実験結果

3.1 付加不平衡と振動の関係について

不平衡として $Wr=140, 280, 420\text{g-cm}$ をとりつけた場合の砥石軸の振動状態は図5のごとくで、いずれの場合にも安定したリサージュ図形が得られた。図形の変形は砥石軸の振動によるものである。すなわち図6において、測定リングの中心を O_1 とし、砥石軸の中心 O_2 との偏心を a とする。砥石の不平衡がP点にあって、 O_2 が軸受内の点 O_3 を中心に振幅 b で回転すると仮定する。

いま、Pが O_1X 線にある場合を原点にとると、時間 t の後には O_1O_2P は O_3 を中心に回転して $O_1'O_2'P'$ の位置にくる。このとき水平方向の極間距離 x は

$$x = x_0 + \overline{QR} = x_0 + c \cos \theta_0 - c \cos (\omega t + \theta_0) \quad (3)$$

となる。垂直方向についても極間距離は同様な式で示されるように変化するので測定リングの偏心に見掛け上変化があらわれる。測定リングの偏心 a は砥石を低速回転することによって求め、この場合 1.75μ であった。ベクトル b は付加不平衡に比例するとして計算すれば図5を参照して各付加不平衡について $0.4, 0.8, 1.2\mu$ の程度となる。

しかし、問題は b の大小ではなく、砥石軸の回転の安定性であり、この場合には剛性が大きく付加不平衡を増

図7 砥石台と工作物の間の相対振動

図 8 付加不平衡と砥石台—工作物相対振幅

大してもリサージュ図形の遊動はほとんど認められなかった。

一方図 7 は工作物に対する砥石台の相対振動をセンタの位置で求めたものであり、砥石の残留不平衡によって生じた振動のほか他の回転系からの高周期の振動が含まれている。不平衡をとりつけた場合の工作物—砥石台の相対振動の状態は図 8 のごとくであり、系の相対振動は工作物—砥石台の振動に限定して考えれば十分である。

3.2 砥石—工作物間に相対振動のない場合の切れ刃の変化について

付加不平衡のない場合の砥石—工作物間の相対振幅は約 0.15μ であることがわかった。このような状態で、砥石の切込み t を $5\sim 20\mu$ の範囲に変化させ、研削中の切れ刃の分布状態の変化を切れ刃面積率 η と連続切れ刃間隔 a について求めたものを図 9 に示す。 $t=5\mu, 10\mu$ では η は研削回数とともにほぼ直線的に増大している。15

図 9 研削回数と切れ刃面積率、連続切れ刃間隔の関係

図 10 付加不平衡と切れ刃面積率、連続切れ刃間隔の関係 (研削 30 回)

μ の切込みでは研削 15 回までの摩耗ははげしいが η の上昇率は低下し、45 回以降では $t=10\mu$ の場合より小さくなっている。 $t=20\mu$ では、研削 15 回ですでに $\eta=6\%$ となっており、研削 30 回以降ほとんど一定値を示している。

連続切れ刃間隔 a は、 $t=5, 10\mu$ では研削回数とともに急激な変化をしているが、 $t=15, 20\mu$ では研削 30 回以降ほとんど変化しない。

砥石の釣合が不十分な状態で、目なおしすると砥石の作業面は非真円に修正されるが、工作物面に対しては一定距離になるように修正される。したがって、系の剛性が大きく、研削抵抗が微小であれば切れ刃と工作物の相対振動は打ち消される。図 10 はこのような方法で、不平衡のある場合の研削を無振動状態の研削に置換しておこなったもので、研削 30 回における切れ刃の状態を付加不平衡に対して求めたものである。付加不平衡が増大しても、切れ刃面積率 η は A 部、B 部ともほぼ 5% を示し、連続切れ刃間隔も $2, 3\text{mm}$ 程度となっており切れ刃の状態は局部的変化は認められず、無振動化されていることが示される。

3.3 砥石—工作物間に相対振動がある場合の切れ刃について

釣合のよくとれた砥石でも、砥石台、軸受、砥石軸、工作物で構成された系の剛性が低い場合には、研削抵抗の変動などによって振動状態が変化し、切れ刃と工作物の間には相対振動が生じる。このような場合の切れ刃の状態を知るために、砥石を釣合い状態で目なおしたのち、不平衡をとりつけて研削する方法を採用した。図 11 は、付加不平衡 $Wr=140, 280\text{g-cm}$ とした場合の η と a の (研削中の) 変化を付加不平衡側の A 部について測定したものである。

図11 研削回数と切れ刃面積率，連続切れ刃間隔の関係

図12 研削回数と切れ刃の平均摩耗長さの関係 (付加不平衡側)

$W_r=140$ g-cm の場合には，切込みが増大するため， η は図 9 の $t=15\mu$ の場合の挙動に接近してくる。 $W_r=$

 図14 研削 30 回における仕上面のプロファイル (プランジ研削)
 砥石 A 60 K, 工作物 S 45 C, 砥石周速 1970m/min, 工作物周速 20m/min

図13 切れ刃面積率，連続切れ刃間隔に及ぼす振動の影響 (研削 30 回)

280g-cm では研削 30 回以降の上昇はほとんど認められない。付加不平衡の大きいほど研削中の切れ刃の分布状態の変化は減少する傾向が認められ，研削 60 回では付加不平衡の大きいほど η は小さく， a は大きくなっている。切れ刃の状態は η と a によって十分に示されているが，切れ刃の摩耗長さの大小で示すとさらに一層明らかとなる。切れ刃測定器を使用した場合には切れ刃の平均の摩耗長さ $\bar{l}$ は次式で示される。

$$\bar{l} = [\text{測定長} \times \eta] / [\text{測定長に含まれる切れ刃数}] \quad (4)$$

図 12 はこの場合の切れ刃の平均摩耗長さ $\bar{l}$ を研削回数に対して示したものであり， $W_r=0$ では $\bar{l}$ は研削回数とともにしだいに増大しているが， $W_r=140, 280$ g-cm では研削 15 回以後ほとんど増大せず一定値を示している。これは，振動によって切込みが増大し，摩耗した切れ刃が破碎や脱落をおこなっていることを示している。

図 13 は，研削 30 回における付加不平衡側 A 部とこれに対向する B 部の切れ刃の分布状態を W_r に対して示し

たものである。A部では切込みの増大による摩耗切れ刃の欠損、脱落によって、またB部では切込みの減少によって、それぞれ付加不平衡の増大とともに切れ刃の分布に急激な変化が生じている。ここで Wr に対する η , a の変化は、A B部ともほぼ同一傾向を示しているが、切込みの相違によって生じた切れ刃密度、 $\bar{l}$ などの切れ刃特性にも注意しなければならない。図14は不平衡 $Wr=140, 280, 420\text{g}\cdot\text{cm}$ をとりつけて砥石と工作物の間に相対振動をさせながら 30 回まで研削した場合の仕上面の状態を示したものである。左の列は不平衡をとりつけた砥石によってプランジ研削した場合で、主として付加不平衡側A部の切れ刃で切削されたものであり Wr の増大とともに仕上面が粗くなり、凹凸の間隔も広まっており摩耗した切れ刃が粗に並んでいる状態が示されている。

右は不平衡をとり外して、主として対向するB部の切れ刃で切削された場合である。摩耗の少ない多数の切れ刃が作用した状態がそのプロフィールから知られる。

3.4 相対振動による砥石の摩耗について

砥石と工作物の間に周期的な振動がある場合には、砥石は摩耗によって自ら振動を緩和させる作用をするが、上述のごとく切れ刃の分布状態が不均一になるため良好な研削作業はのぞめない。図15は付加不平衡の大きさに

対する A, B 部の半径方向摩耗量を研削回数について示したものである。摩耗を示すカーブは付加不平衡の増大するほどA部では急激になりB部ではゆるやかになっている。ここで両部位の摩耗量の差は相対振動の低減量に相当しており、研削初期に 3μ 以上の相対振動がある場合には、摩耗による振動緩和作用は研削 60 回に至っても初期値の $1/2$ 程度に過ぎず振動の影響が持続的であることがわかる。

4. 結 論

研削作業における砥石と工作物の間の相対振動は、研削盤の寿命や精度を低下させ、かつ仕上面精度に悪影響を及ぼすが、切れ刃の状態に及ぼす影響を要約するとつぎのごとくなる。

- 1) 砥石に不平衡があつて砥石軸が周期的振動をしていても、砥石軸—砥石—工作物で構成された系の剛性が大きく砥石軸が安定な回転を維持する場合には、砥石の作業面は目なおしによって工作物に対して一定距離に修正されるため、研削中の切れ刃の分布には部分的な粗密は生じない。
- 2) 砥石と工作物の間の周期的振動は砥石の切込みを連続的に変化させ、切れ刃の分布状態に不均一を生ずる。A 60 K の砥石では振幅 6μ で切れ刃の脱落が激しくなり切込みの増大側では摩耗の激しい切れ刃が疎に、減少側では摩耗の少ない切れ刃が密に分布する。
- 3) 砥石の半径方向の摩耗は振動を緩和させるように作用するが、振幅 3μ 以上では寿命点付近まで振動の影響が持続される。

(1964, 5月6日受付)

文 献

- 1) 塩崎進：砥石軸の振動が工作物仕上面に及ぼす影響，砥粒加工研究会会報，3巻11号（昭34）1.
- 2) 塩崎進：作業中に生ずる砥石と工作物の相互位置の変化が砥石の切込み量に及ぼす影響，機械学会論文集，25巻158号（昭34）979.
- 3) R.S. Hahn：On the analysis of random errors in precision grinding operations, Trans. ASME(B), Vol. 83, No. 2 (1961) 131.
- 4) 津和秀夫：研削における砥粒の挙動について（第5報，昭和38年度精機学会春季大会前刷，73.
- 5) 津田，大塚：井上回路の周波数特性とその改良，応用物理，18巻10号（昭24）345.

図15 研削回数と砥石の摩耗の関係