自転形単石ドレッシングに関する研究*

—寸法精度及び表面粗さに対する効果—

松 井 敏** 堀 内 毅**

Study on Rotation Type Single Point Diamond Dressing
— Effect on Dimensional Accuracy and Surface Roughness —

Satoshi Matsui and Takeshi Horiuchi

This paper presents a new dressing method, rotation type single point diamond dressing (RSPD dressing), in which a single point diamond dresser is rotated and fed to the direction of a wheel axis. The paper compares the dressing characteristics by this method with those of conventional single point diamond dressing (CSPD dressing). Main results obtained are as follows: (1) While the diamond edge form changes in CSPD dressing, it is almost maintained constant in RSPD dressing. (2) The wear of diamond edge in RSPD dressing is remarkably reduced compared with CSPD dressing. (3) In CSPD dressing, surface roughness changes as the wear of diamond edge. On the contrary, it is kept nearly constant in RSPD dressing because of the stability of the diamond edge form.

Key words: rotation type single point diamond dressing, conventional single point diamond dressing, diamond edge form, wear of diamond edge, surface roughness

1. 緒 言

近年、研削盤のNC化が急速に進んできており、また、熟練作業者の不足を反映して研削手順や研削条件を自動的に決定できる研削盤の開発も行われている¹⁾²⁾。このような研削盤においては、同じ条件で繰り返し研削したときの研削特性の再現性を確保することが特に重要な問題になる。

ところで、普通砥石のドレッシングに一般に使用されている単石ドレッサでは、ドレッシングによってダイヤモンドが摩耗し、その先端形状や先端高さが変化するため、これが表面粗さや寸法精度などの研削特性のばらつきの大きな原因の一つになっている。このような単石ドレッサの摩耗現象や、その摩耗が研削特性に及ぼす影響についてはいくつかの研究が行われているが^{3)~6)}、単石ドレッサの摩耗による研削特性のばらつきを防止するための効果的な方法はまだ実現されていない。

本研究では上述の問題を解決する一つの方法として、単石ドレッサを自転させながらドレッシングする方法（以下、自転形単石ドレッシングという）を考案し、その特性について検討した結果、従来の単

石ドレッシング（以下、従来形単石ドレッシングという）に比べて、単石ドレッサの摩耗の減少や表面粗さの安定性の面で大きい効果が得られることを確認したので、その結果について報告する。

2. 自転形単石ドレッシングの原理と実験装置

自転形単石ドレッシングは図1に示すように、単石ドレッサを研削砥石の半径方向に対して角度 θ （以下、傾斜角という）だけ傾斜させて、自転させながら研削砥石の幅方向に送り運動を与えてドレッシングする方法である。

Fig.1 Principle of rotation type single point diamond dressing

* 原稿受付 平成4年5月1日

** 正 会 員 日立精工(株) (海老名市上今泉2100)

Fig. 2 Dressing device

このようにすると、ダイヤモンドの先端は研削砥石によって近似的に円すい形に成形されていくものと考えられる。したがって、従来形単石ドレッシングのように摩耗によってダイヤモンドの先端が平坦化することがなく、表面粗さが安定するという効果が期待できる。

一方、ダイヤモンド先端の円すい面全体を使用してドレッシングすることになるので、ダイヤモンドの一部分だけを使用する従来形単石ドレッシングに比べて、ドレッシングに關与するダイヤモンドの表面積が大きくなり、これによってドレッサの摩耗も小さくなることが予想される。したがって、単石ドレッサの先端位置を基準として研削砥石の切込み方向の位置を制御するような研削盤でも、寸法精度が安定するという効果が期待できる。

図2に、本研究に使用した自転形単石ドレッシング装置の構造を示す。単石ドレッサとしては、ダイヤモンドの先端を頂角 90° の円すい形に成形した円すい成形ドレッサを使用し、傾斜角は 30° とした。

3. 自転形単石ドレッシングの特性

3.1 ダイヤモンド先端形状

自転形単石ドレッシングでは、ドレッシングによってダイヤモンドの先端が円すい形に成形されることを期待している。そこで、十分にドレッシングしてダイヤモンドの先端をある程度摩耗させた後に、その形状をSEM及び転写法により観察した。

図3は、ダイヤモンド先端部分のSEM写真を示す。(a)は回転軸に垂直な方向からみた状態、(b)は母線に平行な方向からみた状態である。(a)から、

(a) Vertical view to rotation axis

(b) Parallel view to generating line

Fig. 3 SEM photographs of diamond edge

Fig. 4 Diamond edge form of formed dresser

頂角 90° に成形されたダイヤモンドの先端部分に頂角 120° の円すい形が形成されているのがわかる。また、ドレッシングの際に砥石作業面に転写されるのは(b)に示す輪廓形状であり、これが本研究でダイヤモンド先端形状と呼んでいる形状に相当する。

ところで、円すい成形ドレッサの場合には、ドレッシングによりダイヤモンドが摩耗すると円すい部分が次第に大きくなっていくので、これが先端形状に及ぼす影響について考察してみる。いま、図4に

Fig.5 Comparison of measured diamond edge profile and calculated one

Fig.6 Relation between length of generating line and diamond edge profile ($\theta=30^\circ$, calculated result)

示すように頂角 2β の円すい成形ドレッサを傾斜角 θ で取り付け、紙面に垂直な方向に送り運動を与えてドレッシングする場合に、ドレッシングにより形成される円すい形の母線PBの長さが l になったときのダイヤモンド先端形状を求める。砥石作業面に転写されるダイヤモンド先端形状はABを直径とする円を矢印Eの方向からみた形状になる。矢印Eの方向からみてドレッサの回転軸から x だけ離れた位置にあるダイヤモンド外周上の点Qから先端Pまでの高さを δ とすれば、

$$\delta = (l \cos \theta - \sqrt{l^2 \cos^2 \theta - x^2}) \sin \theta \quad (1)$$

である。式(1)から、各 x の値に対する δ の値を計算すれば、ダイヤモンド先端形状が求められる。

図5は、転写法により測定した先端形状とダイヤモンドの母線長の測定値から式(1)により計算で求めた先端形状とを比較した結果を示す。これから、計算結果と測定結果はほぼ一致しているといえる。

図6は、式(1)により母線長とダイヤモンド先端形状の関係を求めた結果を示す。円すい成形ドレッサでは、ダイヤモンドが摩耗すると母線長が大きくなり、それに伴って先端形状は鋭利性を失っていく。しかしながら、次節以降に示すように、摩耗の進行速度は従来形単石ドレッシングに比べて非常に遅いので、実用上はほとんど問題ないといえる。

Table 1 Dressing conditions

Wheel speed	1500min ⁻¹
Dresser speed	Rotation type:700min ⁻¹ Conventional type:0
Depth of cut	10μm
Feed rate	0.2mm/rev

Table 2 Grinding conditions

Workpiece	S43C
Grinding wheel	WA46J
Wheel speed	1500min ⁻¹
Depth of cut	2μm
Table speed	20m/min

3.2 ダイヤモンドの摩耗高さ

単石ドレッサの位置を基準として研削砥石の切込み方向の位置を制御している研削盤では、ダイヤモンドが摩耗してその先端高さに変化すると、寸法精度に直接影響する。自転形単石ドレッシングでは、ドレッシングに関与するダイヤモンドの表面積が大きいので、ダイヤモンドの摩耗が減少することが期待される。そこで、研削砥石を所定体積ドレッシングするごとにダイヤモンドの摩耗高さを測定して、寸法精度に対する効果を調べた。摩耗高さの測定は次の手順により行った。すなわち、ドレッシング装置と工作物をマグネットチャック上に取り付けて、初めにドレッシング終了位置から一定寸法 T_0 だけ切り込んだ位置まで工作物をトラバース研削する。次に、研削砥石を所定体積ドレッシングするごとに、ドレッシング終了位置から上記の寸法 T_0 だけ切り込んだ位置まで工作物の一部をプランジ研削する。このようにすると、ダイヤモンドが摩耗した分だけプランジ研削するときの研削砥石の位置が低くなるから、トラバース研削面とプランジ研削面との間に段差が生じる。この段差をタリサーフ6形粗さ計で測定して、ダイヤモンドの摩耗高さとした。

一方、実験開始前と終了後のダイヤモンド先端形状を転写法により測定し、その形状の比較からも摩耗高さを求めた。

表1及び表2にドレッシング条件及び研削条件を示す。なお、比較のため従来形単石ドレッシングでも同様の実験を行ったが、その場合の条件も無成形ドレッサを使用したこと以外は表1及び表2と同じである。

図7に、上記した最初の方法により、ドレッシング体積とダイヤモンドの摩耗高さの関係を調べた結果を示す。この方法にはいくつかの誤差要因が含まれるためデータにばらつきがあるが、平均的にみる

Fig. 7 Relation between dressing volume and wear height of diamond edge

と摩耗高さの傾向を読み取ることができる。

従来形単石ドレッシングの場合、先端形状の異なる2つのダイヤモンドを使用して実験した。摩耗高さは初期のダイヤモンド先端形状によって異なるが、70cm³程度のドレッシング体積で15~30μmの摩耗が生じている。この値は、図8に示す実験開始前と終了後のダイヤモンド先端形状から読みとった摩耗高さとはほぼ一致する。

一方、自転形単石ドレッシングでも2回実験を行ったが、いずれの場合も摩耗高さはドレッシング体積に関係なく、ほぼ2~3μmである。このように摩耗高さがほとんど変化していないことから、2~3μmの測定値は実験誤差であり、実際にはほとんど摩耗していないものと考えられる。このことは、図8に示した実験開始前と終了後のダイヤモンド先端形状がほぼ完全に一致していることから推定される。

このような自転形単石ドレッシングと従来形単石ドレッシングにおけるダイヤモンドの摩耗高さの違いは、ドレッシングに関与するダイヤモンドの表面積の違いにより説明できる。いま、ダイヤモンドの摩耗体積 V_d は研削砥石のドレッシング体積 V_w に比例するものと仮定する。すなわち、

$$V_d = \alpha V_w \quad (2)$$

の関係が成立するものとする。 α は比例定数で、研削砥石やドレッサの仕様、ドレッシング条件などによって異なるものと考えられるが、以下においては表1に示した条件でドレッシングしたときの実験結果から求めた $\alpha = 5 \times 10^{-9}$ を用いる。

さて、自転形単石ドレッシングの場合には、図4

(a) Conventional type (b) Rotation type

Fig. 8 Diamond edge profile measured before and after experiment

Fig. 9 Diamond edge form of formed dresser

に二点鎖線で示したように、ドレッシングにより形成される円すい形の母線 $P'B'$ の長さが l_0 （以下、初期母線長という）になった状態のダイヤモンドを使用し、この状態から図に実線で示す状態まで摩耗したものとする。このとき、点Oから母線 $P'B'$ までの切込み方向の高さを h_0 、母線 $P'B'$ から母線 PB までの高さを h とすれば、

$$h = \left[\frac{3\alpha \cos^3(\beta + \theta)}{\pi \sin^2 \beta (\cos \beta - \sin \beta \tan \theta)} V_w + \left(\frac{l_0 \cos(\beta + \theta) \cos \theta}{\sin \beta} \right)^3 \right]^{1/3} - \frac{l_0 \cos(\beta + \theta) \cos \theta}{\sin \beta} \quad (3)$$

となる。

一方、従来形単石ドレッシングの場合には、図9に示すように、頂角 2β の円すい成形ドレッサを傾斜角 θ で取り付けて、二点鎖線で示すように先端部の直径 AB をあらかじめドレッシングにより b_0 （

Fig. 10 Relation between dressing volume and wear height of diamond edge (calculated result)

以下、初期摩耗幅という)になるように成形したものを使用するものとする。この状態から図に実線で示す状態まで摩耗したものとし、点OからA'B'までの切込み方向の高さを h_0 、A'B'からABまでの高さを h とすれば、

$$h = \sqrt[3]{\frac{3\alpha}{\pi \tan^2 \beta} V_w + \left(\frac{b_0}{2 \tan \beta}\right)^3} - \frac{b_0}{2 \tan \beta} \quad (4)$$

となる。

図10は、式(3)及び式(4)により、ドレッシング体積とダイヤモンドの摩耗高さの関係を計算した結果を示す。従来形単石ドレッシングでは、摩耗高さは頂角や初期摩耗幅によって異なるが、ドレッシング体積1000cm³では数十μmに達する。

一方、自転形単石ドレッシングでは、摩耗高さは初期母線長により異なるが、従来形単石ドレッシングに比べると非常に小さい。初期母線長が0.5mm程度のもを使用すれば、ドレッシング体積1000cm³においても、摩耗高さは高々7μm程度である。

以上のように、自転形単石ドレッシングによればダイヤモンドの摩耗高さを著しく小さくできることがわかる。

3.3 ダイヤモンドの摩耗と表面粗さ

表面粗さはダイヤモンドの先端形状と密接な関係があることが知られている⁵⁾。自転形単石ドレッシングでは図8に示したように、ダイヤモンド先端形状の変化が非常に小さいので、表面粗さを長期にわたって安定に維持できることが期待される。そこで、研削砥石を所定体積ドレッシングすることに工

Fig. 11 Relation between dressing volume and surface roughness

作物をプランジ研削し、表面粗さの推移を調べた。ドレッシング条件と研削条件は表1及び表2と同じである。また、比較のために、従来形単石ドレッシングについても同様の実験を行った。この場合の条件も無成形ドレッサを使用したこと以外は表1及び表2と同じである。

図11に、ドレッシング体積と表面粗さの関係を示す。従来形単石ドレッシングではドレッシング体積が小さいときに表面粗さが急激に変化し、その後はほぼ安定した値で推移している。このように、表面粗さが大きく変化するのは、図中に示すようにダイヤモンドの先端形状が変化することが原因である。

一方、自転形単石ドレッシングによる表面粗さは1.5μm程度の変動幅に入っており、ほぼ安定している。このように表面粗さが安定しているのは、図中に示すようにダイヤモンド先端形状が安定しているためである。

ところで、自転形単石ドレッシングでも円すい成形ドレッサを用いる場合は、ダイヤモンドが摩耗すると図6に示したように先端形状が変化するので、長期的にみると表面粗さに影響が現れることが考えられる。そこで、その影響を解析的に検討してみる。

図12に示すように、砥石作業面には近似的にダイヤモンド先端形状がドレッシングリード P_d に相当する間隔で転写された形の溝が形成される⁷⁾。ここでは、ダイヤモンド先端形状をドレッシングリードに相当する間隔で幾何学的に重ねてできる溝の高さを溝高さと呼ぶことにする。溝高さと表面粗さの間にはかなりよい相関があるので、溝高さに対する影響を調べることで、表面粗さに対する影響を推

Fig.12 Schematic groove profile on wheel surface made by dressing

定することにする。

自転形単石ドレッシングではダイヤモンド先端形状が軸対称になるから、溝高さ R は式(1)で $x = P_d / 2$ とおいた場合の δ の値になる。したがって、

$$R = \left(1 \cos \theta - \sqrt{1^2 \cos^2 \theta - \frac{P_d^2}{4}} \right) \sin \theta \quad (5)$$

となる。

また、ドレッシングによりダイヤモンドが高さ h だけ摩耗した場合の溝高さは図4の幾何学的関係と式(5)から、

$$R = \sin \theta \left[\left(\frac{h \sin \beta}{\cos(\beta + \theta) \cos \theta} + 1 \right) \cos \theta - \sqrt{\left(\frac{h \sin \beta}{\cos(\beta + \theta) \cos \theta} + 1 \right)^2 \cos^2 \theta - \frac{P_d^2}{4}} \right] \quad (6)$$

となる。

図13は、式(3)及び式(6)によりドレッシングリードが 0.2mm/rev の場合について、ドレッシング体積と溝高さの関係を計算した結果を示す。これから、初期母線長が 0.5mm 以上であれば、 1000cm^3 までドレッシングしても溝高さはほとんど変化しないことがわかる。したがって、円すい成形ドレッサを用いてもダイヤモンドの摩耗による表面粗さの変化は、実用上ほとんど問題にならない程度であるといえる。

4. 結 言

単石ドレッサを回転させながら、研削砥石の幅方向に送り運動させてドレッシングする自転形単石ドレッシングを考案した。この方法でドレッシングした場合の各種特性について従来形単石ドレッシングと比較した結果、次の結論を得た。

(1) 従来形単石ドレッシングでは、ドレッシングによりダイヤモンドが摩耗して先端形状が次第に変

Fig.13 Relation between dressing volume and groove height (calculated result)

化して行くが、自転形単石ドレッシングでは、ダイヤモンドの先端は常に円すい形に維持される。

(2) 従来形単石ドレッシングでは、 70cm^3 程度研削砥石をドレッシングすると $15 \sim 30\mu\text{m}$ の摩耗が生じるが、自転形単石ドレッシングでは、この程度のドレッシング量ではほとんど摩耗は生じない。

(3) 従来形単石ドレッシングでは、同じ条件で研削してもダイヤモンドの摩耗による先端形状の変化に伴って表面粗さが変化してしまう。自転形単石ドレッシングでは、ダイヤモンド先端形状が安定しているので、同じ条件で研削すれば常にほぼ同じ表面粗さを得ることができる。

参 考 文 献

- 1) 米田孝夫, 嘉数侑昇: 習熟型研削加工システムの開発研究, 精密工学会誌, 58, 4(1992)703.
- 2) 近藤定巳, 中村峯雄: NC研削盤における新技術・機能の開発, 1991年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, (1991)45.
- 3) H. OPITZ, H. FRANK, W. ERNST, O. DAUDE (須藤徹也訳): 研削砥石の目直しとその効果(1), ダイヤモンドドレッサの摩耗, 機械の研究, 19, 11(1967)1529.
- 4) H. OPITZ, H. FRANK, W. ERNST, O. DAUDE (須藤徹也訳): 研削砥石の目直しとその効果(2), 砥石作業面状態の特性評価と変化, 機械の研究, 19, 12(1967)1659.
- 5) 松井 敏: 平面研削における仕上げ面精度向上の諸要因, 機械と工具, 19, 8(1975)71.
- 6) 中島利勝, 宇野義幸, 橋 達人: 単石ドレッシングにおける2, 3の問題—ドレッサの摩耗およびドレッシング条件が研削結果に及ぼす影響—, 砥粒加工学会誌, 34, 1(1990)21.
- 7) 横川和彦: といしドレッシング条件が研削面形状精度におよぼす影響, 日本機械学会論文集(第3部), 34, 262(1968)1168.