

比研削抵抗を考慮した研削痕深さの算出

Calculation of Effective Ground Depth of Cut Taking into Account Specific Grinding Force

○鈴木隆善<sup>1</sup>, 山田高三<sup>2</sup>, 李和樹<sup>2</sup>, 三浦浩一<sup>2</sup>

\*Takayoshi Suzuki<sup>1</sup>, Takazo Yamada<sup>2</sup>, Hwa-Soo Lee<sup>2</sup>, Kohichi Miura<sup>2</sup>

An effective ground depth of cut in grinding operation has been obtained using proposed calculation method in our study so far. However, one of problem in this calculation method is that each normal grinding force has to be measured using force sensor for each grinding pass. Therefore, proposed method is not practical in the machining shop. Here, grinding force can be calculated by a specific grinding force without measuring. From such a viewpoint, this study aims to propose new calculation method of the effective ground depth of cut using the specific grinding force. Comparing calculated results with measured results, it is known that the effective ground depth of cut can be calculated by new calculation method.

1. 緒言

研削加工とは、砥石に所望の切込量を与え工作物を除去する加工法である。研削の際に、砥石や工作物、工作機械が弾性変形し、切込量に対して切残し量を生じる。この切残し量は、一般的にスパークアウト研削を行い除去することで、所望の研削痕深さが得られる。

本研究室では、これまでにスパークアウト研削時の研削痕深さの算出方法を明らかとしている<sup>[1]</sup>。しかし、この算出方法では研削時の法線抵抗を研削回数ごとに測定する必要がある。そのため、実用的とは言い難い。

そこで、比研削抵抗を用いることで法線抵抗の算出が行えることに着目し、法線抵抗を理論的に算出できないかと考えた。しかし、比研削抵抗は砥石や工作物、研削条件によって異なるため、特定の値に決めることが難しい。そのため、研削 1 回目の法線抵抗を測定することで、砥石と工作物の組み合わせごとの比研削抵抗を算出できるのではないかと考えた。

そこで本研究では、比研削抵抗より法線抵抗を算出し、その法線抵抗を用いて研削痕深さの算出を行うことを目的としている。

2. スパークアウト研削時の研削痕深さの算出方法

研削時に生じる研削現象のモデルを、図 1 に示す。直径  $d_e$  の砥石に設定切込量  $a_p$  を与え研削を開始した場合、研削盤や砥石の弾性変形量  $\delta_m$ ,  $\delta_{con}$  が生じ、切込み量を減少させる。いっぽう、研削熱の影響により砥石や工作物の熱膨張量  $h_{th-g}$ ,  $h_{th-w}$  が生じ、切込みを増加させる。また、研削盤のテーブル摺動面に潤滑油を用いている場合、工作物が法線抵抗などを受けることでテーブル降下量  $h'_t$  が生じ、切込を減少させる。これらを加味した次式により、研削痕深さ  $a_e$  を算出できる。

$$a_e = a_p + (h_{th-g} + h_{th-w}) - (h'_t + \delta_m + \delta_{con}) \quad (1)$$

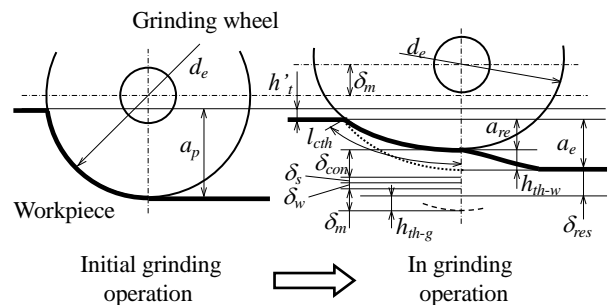


Figure 1. Schematic diagram of contact condition

3. スパークアウト研削時の切込量の算出方法

本研究においてスパークアウト研削は、設定切込量  $a_p$  を変えずに工作物を左右に送り、研削をする場合を想定している。このとき、工作物が砥石を 1 回通過することを 1 パスとし、パス数ごとに切込量の算出を行う。ここで、設定切込量  $a_p$  を変えずに研削を行う場合、1 パス目で生じた切残し量を 2 パス目では研削することになる。そのため、2 パス目の切込量  $a'_{p2}$  は 1 パス目の切込量  $a'_{p1}$  から、式(1)より算出した 1 パス目の研削痕深さ  $a_{e1}$  を引いて、次式より算出できる。

$$a'_{p2} = a'_{p1} - a_{e1} \quad (2)$$

2 パス目以降の切込量は、同様の方法で算出を行う。

4. 実験方法および工作物の研削痕深さの測定方法

本実験では、平面研削盤を用いて研削加工を行う。このとき、研削時の法線抵抗  $F_n$  は工作物を取り付けた動力計により測定する。また、研削後の工作物は形状測定機を用いて、所望のパス数における研削痕深さ  $a_e$  の測定を行う。この実験では、研削盤のテーブルを常時駆動させたまま設定切込量  $a_p$  を与える。これにより、研削盤のテーブルが潤滑油によって完全に浮上した状

1 : 日大理工・院 (前)・機械 2 : 日大理工・教員・機械

態から実験を行うことができる。なお、本実験に用いる砥石は WA60J6B, 工作物は NAK55 である。実験条件は, 設定切込量  $a_p$  が  $10\mu\text{m}$ , 砥石周速度は  $1800\text{m}/\text{min}$ , テーブル送り速度は  $3.3\text{m}/\text{min}$  である。

5. 比研削抵抗を用いた研削痕深さの算出方法

実験時に測定する法線抵抗  $F_n$  から, 1 パス目の法線抵抗  $F_{n1}$  のみを用いて比研削抵抗  $K$  の算出を行う。この比研削抵抗  $K$  から, 2 パス目以降の法線抵抗を算出し, 式(1)を用いて研削痕深さ  $a_e$  を算出する。

まず, 比研削抵抗  $K$  は 1 パス目の法線抵抗  $F_{n1}$  を研削面積  $A'_{g1}$  で除して算出することができる。この研削面積  $A'_{g1}$  は, 真実切込量  $a'_{rel}$  と砥石幅  $b$  より算出できる。このときの  $a'_{rel}$  は, 1 パス目の切込量  $a'_{p1}$  からテーブル降下量  $h'_{i1}$  と研削盤の弾性変形量  $\delta_{m1}$  を引いた次式より算出することができる。

$$a'_{rel} = a'_{p1} - h'_{i1} - \delta_{m1} \tag{3}$$

これにより, 比研削抵抗  $K$  は次式より算出できる。

$$K = F_{n1} / A'_{g1} = F_{n1} / (a'_{rel} \times b) \tag{4}$$

次に, 算出された比研削抵抗  $K$  を用いて 2 パス目の法線抵抗  $F_{n2}$  の算出をしていく。2 パス目の法線抵抗  $F_{n2}$  を算出するためには, まず暫定的な 2 パス目の法線抵抗  $f_{n2}$  を算出する必要がある。これは法線抵抗の影響により, テーブル降下量  $h'_{i2}$  が生じ, 2 パス目の切込量  $a'_{p2}$  が変化してしまうためである。暫定的な 2 パス目の法線抵抗  $f_{n2}$  は, 比研削抵抗  $K$  と研削面積  $A_{g2}$  より算出できる。この研削面積  $A_{g2}$  は, 式(2)より算出した 2 パス目の切込量  $a'_{p2}$  と砥石幅  $b$  より算出できる。これにより, 暫定的な 2 パス目の法線抵抗  $f_{n2}$  は次式より算出することができる。

$$f_{n2} = K \times A_{g2} = K \times a'_{p2} \times b \tag{5}$$

この法線抵抗  $f_{n2}$  により生じるテーブル降下量  $h'_{i2}$  を求め, 2 パス目の切込量  $a'_{p2}$  から  $h'_{i2}$  を引くことで, 真の 2 パス目の切込量  $a''_{p2}$  を算出する。この切込量  $a''_{p2}$  を, 用いて式(5) と同様に次式より 2 パス目の法線抵抗  $F_{n2}$  を算出する。

$$F_{n2} = K \times A'_{g2} = K \times a''_{p2} \times b \tag{6}$$

そして, 算出した法線抵抗  $F_{n2}$  を用いて式(1)より研削痕深さ  $a_{e2}$  を算出する。以降のパス数については, 同様に算出し, 所望のパス数の研削痕深さを算出する。

6. 実験結果および考察

まず, 研削実験はパス数を 1 パスから 3, 5, 7, 10 と増やしていき, 各 3 回ずつ行った。このときの各パス数における研削痕深さを測定し, 比研削抵抗より求

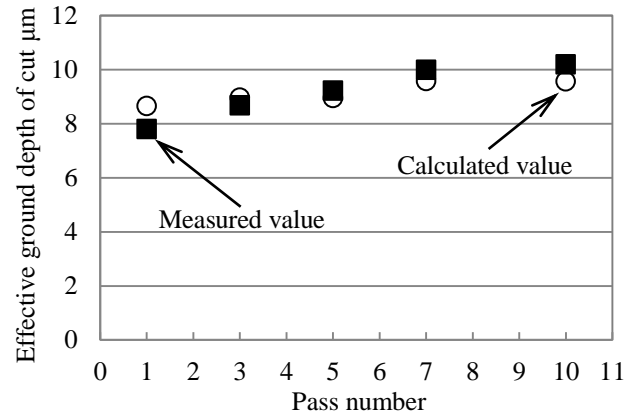


Figure 2. Comparison of measured and calculated the effective ground depth of cut

めた算出結果と比較した。その結果を図 2 に示す。図 2 には各パス数の平均値を示してある。図 2 より, 比研削抵抗を用いて算出した研削痕深さが測定した研削痕深さと同様に, パス数の増加に伴い増加していることがわかる。また, 各研削痕深さがどのパス数においても近い値となっている。このことから, 比研削抵抗を用いることにより研削痕深さの算出が行えたと考えられる。

次に, スパークアウト研削の終了パス数を図 2 より見てみると, 1 パスから 7 パス目までは各研削痕深さが増加していることがわかる。しかし, 7 パス目と 10 パス目の各研削痕深さは, ほぼ変化しておらず研削痕深さも設定切込量の  $10\mu\text{m}$  に近い値となっている。このことから, 7 パス目までにスパークアウト研削が終了し, 所望の研削痕深さが得られたと考えられる。

以上のことから, 比研削抵抗を用いて研削痕深さを算出することで, スパークアウト研削終了までの研削現象を理論的に算出できたと考えられる。

6. 結 言

- ・比研削抵抗を用いて 2 パス目以降の法線抵抗の算出し, その法線抵抗を用いることで理論式より研削痕深さの算出が行えた。
- ・研削痕深さの算出から, スパークアウト研削の終了パス数を求めることができた。
- ・比研削抵抗を用いて研削痕深さを算出することで, スパークアウト研削終了までの研削現象を理論的に算出できた

7. 参考文献

[1] 山田高三, 鈴木隆善, 李和樹, 三浦浩一:「研削過程モデルを用いたスパークアウト研削時間の予測」, ABTEC2012 講演論文集, A29, 2012.