D30 砥石回転速度による研削加工のモニタリング - 新しいインデックスの開発 -

Grinding process monitoring based on wheel rotational speed - development of the new monitoring indexes -

正 井澤正樹 (富山高専)

IZAWA Masaki, Toyama National College of Technology, 13 Hongo-machi Toyama

In this study, to monitor the grinding force without any dynamometer, the new monitoring index calculated from the rotational speed of the grinding wheel are proposed and compared to the previous monitoring index. The previous is calculated by *Speed Difference Square Method* and shows very strong correlation with the tangential grinding force.

The new index is calculated by the method derived from viscous friction. This paper shows strong correlation between the new index and the tangential grinding force, as well as the previous index.

Key Words: Grinding Wheel, Rotational Speed, Speed Difference Square Method, Grinding Force

1. はじめに

研削加工において、加工条件の適否や砥石の表面性状の判別には、動力計を用いた研削抵抗の管理が有効である¹⁾²⁾。しかしながら、動力計自身のひずみや共振、動力計の価格などが足かせとなり、実際の加工の現場では動力計が活用されるには至っていない。

そこで本研究では、動力計を必要としない研削抵抗の把握法として、加工時の砥石回転速度からインデックスを導出し、そのインデックスによる研削抵抗のモニタリングを提案している。過去には主軸モータに印加される電圧に着目した研究³⁾や、電動機のすべり・トルク特性を利用した研究が行われ成果を上げてきたが、本研究は砥石回転速度を利用しており、主軸の動力源による制約を受けないという特長を持っている。

本研究の経緯として、速度差2乗法から導出したインデックスが接線研削抵抗(F_t)と非常に強い相関を示すことを既に示している⁴⁾。本報では速度差2乗法インデックスにおける問題点を解決すべく、新たに考案したモニタリングインデックスを試行する。

2. 速度差2乗法によるインデックスの導出法

平面研削盤の主軸系について軸の回転速度を ω とし、式(1)～(3)のようにモータから供給される動力を W_{in} 、ベアリング等で生じる摩擦損失を W_{loss} 、研削加工に費やされる動力を W_{out} とすると、式(4)の関係が成り立つ。ただし、 T は摩擦抵抗によるトルク、 v は被削材の送り速度とする。

$$W_{in} \propto J\dot{\omega} \quad (1)$$

$$W_{loss} \propto T\omega, \quad (T \propto \omega^2) \quad (2)$$

$$W_{out} \propto F_t v \quad (3)$$

$$W_{in} + W_{loss} + W_{out} = 0 \quad (4)$$

ここで式(4)に(1)～(3)を代入し、摩擦抵抗を微小とみなして $W_{loss}=0$ とすると式(5)が得られる。この式を時間 t で積分するとき、式(6)を用いて ω について積分定数を変換する。その際に積分範囲を式(7)の範囲とすると式(8)が得られる。

これは砥石回転速度が式(7)の範囲で変動する際に起こる F_t の差異が式(8)の右辺に比例することを示しているので、本研究では、式(9)のように速度差2乗法インデック

ス $D\omega$ を定義する。このとき、 C_1 を定数とする。

$$C_1 J \dot{\omega} + F_t v = 0 \quad (5)$$

$$\dot{\omega} = \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

$$\omega_0 - \Delta\omega \leq \omega \leq \omega_0 \quad (7)$$

$$F_t|_{\omega_0 - \Delta\omega} - F_t|_{\omega_0} \propto \frac{1}{2} J \omega_0^2 - \frac{1}{2} J (\omega_0 - \Delta\omega)^2 \\ = \Delta\omega (2\omega_0 - \Delta\omega) \quad (8)$$

$$D\omega = \Delta\omega (2\omega_0 - \Delta\omega) \quad (9)$$

実際の平面研削において、1パスの砥石回転を測定したサンプルを図1に示す。ここで図1における空転時の回転速度 ω_0 と加工時の最低回転速度との差(DRS: Difference of Rotational Speed)が式(7)～(9)における $\Delta\omega$ にあたる。

3. 回転体に作用する粘性抵抗の応用

上述した速度差2乗法において、導出過程で被削材の送り速度を含んでいるが、平面研削盤での検証の結果アップカット/ダウンカットを問わず $D\omega$ と F_t との相関が非常に強いことがわかった。この矛盾を解決するため、本研究では新たなインデックスを考案・試行する。ここでは図2に示すような回転体周囲の流体(粘度 μ)による粘性抵抗をモデルとする。この損失馬力 L は、式(10)のように表わされる。ただし、 F は摩擦力、 V は周速度、 d は回転体の直径、 n は回転速度とする。

Fig.1 Wheel rotational speed in surface grinding

Fig.2 Model of viscous friction

$$L = FV = \frac{\mu \pi^3 d^3 l}{3600 h} n^2 \quad (10)$$

この式で、回転速度を ω に置き換えて W_{loss} と W_{out} の和に相当するものとして式 (11) のように扱い、 C_2 を定数とする。これを上述と同様に式 (4) に代入し積分して整理する。得られた試行インデックス EI (EI : Experimental Index) を式 (12) に示す。

$$W_{loss} + W_{out} = C_2 \omega^2 \quad (11)$$

$$EI = \frac{\Delta \omega^2 + 2\omega_0^2 - 2\omega_0 \Delta \omega}{\omega_0 - \Delta \omega} \quad (12)$$

4. 実験装置

本研究に用いた実験装置を図 3 に示す。実験に用いた平面研削盤 (岡本工作機械, PSG-5C) の主軸はモータと直結しており、モータ軸に取り付けたスリットとフォトセンサから砥石の回転パルスが取得できる。回転パルスは端子台からノートパソコンに取得し、プログラム上で砥石回転速度とモニタリングインデックスが算出される。これと同時に水晶式 3 成分動力計から研削抵抗を測定し、上述の砥石回転速度、インデックスと同様に取得する。

Fig.3 Experimental apparatus

5. 実験結果と考察

表 1 に示す条件の平面研削を行った。図 4 に得られたモニタリングインデックスを比較した。速度差 2 乗法で得られる $D\omega$ のプロットは比較的線形な傾向を示した。 F_t との相関係数も 0.9606 と非常に高い値を示した。一方今回考案した EI

はプロットが水平に近い若干右上がりの形となり、 $D\omega$ との違いが明確に見られた。式 (12) から考察すると、 $F_t=0$ 付近から急速にインデックスの値が立ち上がり、プロット点付近から傾きが減少し図 4 のようになることがわかった。また式 (9) と (12) との比較から、モニタリングインデックスにおける回転速度の次元がプロットの傾向に影響すると考えられる。なお EI においても F_t との相関係数は高く、0.9409 を示した。

Fig.4 Comparison of the monitoring indexes

6. おわりに

平面研削において加工時の砥石回転速度を計測し、そこから導出されるモニタリングインデックスについて、次の知見を得た。

- (1) 新たに考案したインデックス EI は従来の速度差 2 乗法インデックス $D\omega$ と比較して、 F_t との関係において傾向が異なる。
- (2) 新たに考案したインデックス EI は、 F_t との強い相関を示した。

参考文献

- 1) 精密工学会：新版精密工学便覧，コロナ社，(1993)。
- 2) 河村末久，矢野章成，樋口誠宏，杉田忠彰：研削加工と砥粒加工，共立出版，(1993)。
- 3) 姫野賢治，東江真一，大野守：誘導電動機のすべりから求めた接線研削抵抗，精密工学会誌，56，11 (1990) 2039。
- 4) 井澤正樹：砥石回転速度による研削抵抗のモニタリング (第 2 報)，2006 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集，(2006) 191。

Table1 Experimental condition

Grinding wheel	205×19mm, WA46IV
Workpiece	S50C
Grinding fluid	Soluble
Cutting depth	5-20 μm
Feed	3-9 m/min