

研究の課題名

動圧を利用した砥石磨耗のインプロセス測定法の適用による研削の高精度化

豊田工業大学工学部 助教授

報告者 古谷 克司

報告日 2002年(平成14年)4月1日

1. 本研究の意義、特色

高機能部品を高精度に研削加工により仕上げるためには、切り込み量を常に一定に保つ必要がある。しかし、加工中に砥石は磨耗するため、高価な材料や複雑な形状に対して切り込み量を一定に保つことは非常に困難である。

狭い間隔で配置された2つの物体を相対運動させる場合、そこに流体が存在すれば動圧が生じることが知られている。本研究では、これを利用して湿式研削加工中にインプロセスで砥石磨耗量を測定・補正し、研削加工の高精度化を目指した。通常研削液は砥石の磨耗の測定時には外乱となるため排除することが考えられるが、本研究ではこれを積極的に利用する。本手法は、砥石の幾何学的な形状に依存するものであり、磨耗量の測定そのものである。光学式変位センサを用いる場合には、圧縮空気により研削液を除去する必要があり、装置が複雑化する。しかし、本方式では比較的簡単な装置を付加するだけで、高精度な磨耗量のインプロセス測定が可能となる。

2. 実施した研究の具体的内容、結果

1. はじめに

研削加工は仕上げ加工において重要な位置を占める。加工中の砥石作業面性状は、研削の進行に伴って刻々変化し、やがて寿命となる。研削加工における寸法誤差要因の一つに、砥石磨耗が挙げられる。研削条件の不適によって目づまりや目つぶれを発生することがある。このような作業面性状の変化は研削性能の低下を招き、寸法精度と加工面粗さなどに直接影響を及ぼす。したがって、加工中の砥石磨耗量と作業面性状の両方のインプロセス計測が重要であると考えられる。研削加工では、研削液を用いる湿式研削が多用される。しかし、研削液が測定を困難にする場合が多く、湿式研削におけるインプロセス計測で十分な精度を持つものは少ない。それらの中で研削液により発生する動圧を利用して砥石磨耗量を測定する方法は、研削液を積極的に利用するため有効であると考えられる。本研究では、動圧を利用した研削砥石のインプロセス測定法により、目づまり等をインプロセスで検知する方法を開発するとともに、磨耗量を砥石切り込み量にフィードバックすることで研削加工を高精度化することを目的とする。

2. 測定原理

狭い間隔に配置された相対運動する2つの物体の間に粘性流体が存在するとき、動圧が発生することが知られている。本研究では図1に示すように、砥石と近接させて配置した圧力センサとのギャップに研削液を導入し、動圧を発生させる。動圧の大きさはギャップの増減、すなわち砥石の磨耗量によって単調変化する。また、研削液の流れは、砥石表面のトポグラフィの影響を受けると考えられる。したがって、動圧を観察することで砥石磨耗量およびト

ポグラフィの変化を検出できることが期待できる。本手法は、砥石、被加工物および研削液の電気磁気的な特性の影響を受けない。また、研削液を積極的に利用するため、光学的手法のような光のじょう乱の問題がない。

したがって、従来の非接触センサを用いた方法に比べ容易にかつ高精度に測定することが可能となると考えられる。また、加工に用いる研削液をそのまま利用することが可能であるため、付加する装置が少なくすむという利点を持つ。

3. 目詰まりの測定

3.1 実験装置および方法

実験には円筒研削版を用いた。研削砥石に圧力センサーを近接させ、ギャップに研削液を導入する。動圧の測定にはダイヤモンド型圧力センサーを用いた。直径が6mm、定格容量が100kPaで、固有振動数は22kHzである。圧力センサの出力は動ひずみアンプ（周波数範囲：DC~200kHz）を使用して増幅した。圧力センサが円板円周部に直接接触することを防ぐために、SUS304の平板に埋め込んだ。ギャップの測定には、渦電流式変位センサ（分解能：0.4 μ m）を用いた。ギャップと研削液流量を変化させたときの圧力センサ出力（分解能：48Pa）をFFTアナライザで測定した。アルミニウムを段階的に研削し目詰まりを発生させ、その都度動圧を測定した。ドレッシング直後から目詰まり過程における動圧の周波数解析結果の変化および接触式粗さ計を用いた砥石作業面粗さ測定結果を観察した。

3.2 実験結果

ドレッシング後とアルミニウムを半径方向に50 μ m研削後（研削量208mm²）における砥石作業面粗さは285から191 μ mRzに減少した。本実験で用いている砥粒（WA）はアルミナ質で、被削材に用いたアルミニウムと同質である。また、研削速度を極端に遅くしているため、研削時には容易に砥粒と切りくずとの容着が起り、切りくずが砥粒に付着または気孔に堆積することで、早期に目詰まりが発生していると考えられる。実験中の砥石直径に変化はなく、目詰まりの発生によって、表面粗さが細かくなったと考えられる。研削後の動圧では350Hz以上の圧力振幅が大きくなった。この動圧挙動は、超硬材を研削した目つぶれの場合にも確認できた。ここで、流体中に置かれた物体表面の境界層について考える。測定している動圧は乱流境界層内の圧力であると考えられる。滑らかな表面の物体ほど早期に流れの

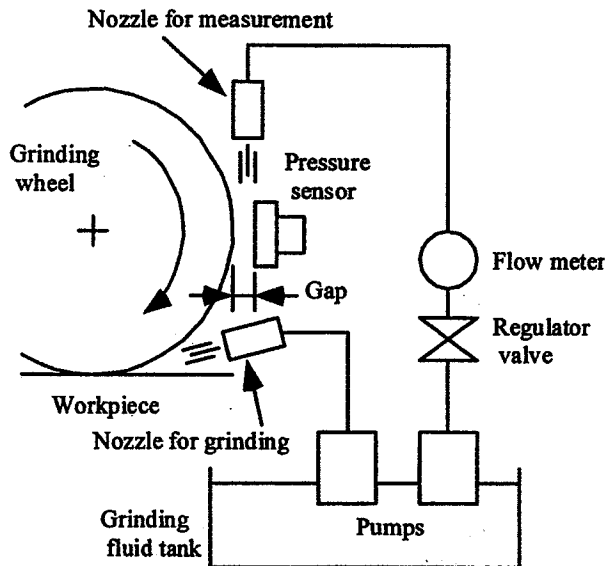


Fig. 1 Measurement principle by using pressure.

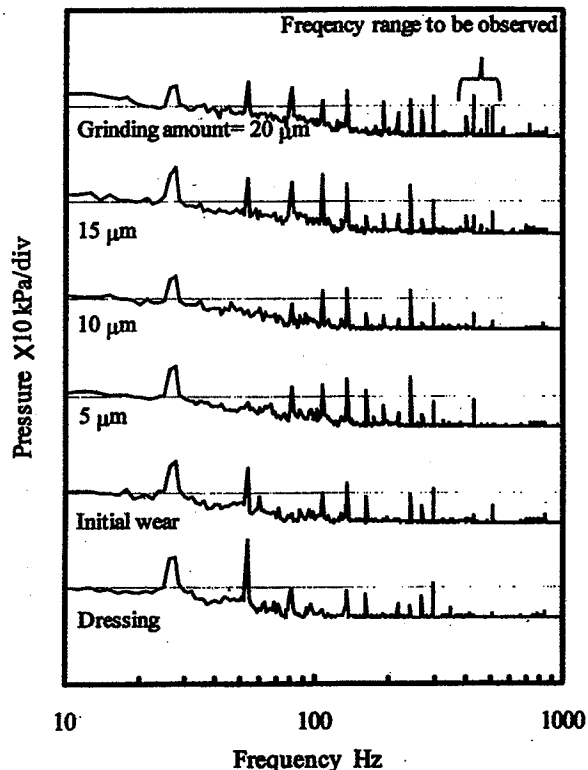


Fig. 2 Change of pressure spectra with progress of loading.

測定している動圧は乱流境界層内の圧力であると考えられる。滑らかな表面の物体ほど早期に流れの

はく離を生じることから、はく離が早いほど流れに乱れの成分が多くと考えられるので、目づまりした滑らかな表面で発生する動圧ほど高域の圧力振幅を含むと考えられる。

アルミニウムの研削を $5\mu\text{m}$ (研削量 14mm^2) ずつ段階的に行った場合には、図2に示すように目づまりの進行に伴う高域の圧力振幅の増大が確認できた。また、この過程においてギャップと研削液流量を変化させた結果、高域の圧力振幅の変化を顕著に捉える測定条件が、ギャップと研削液供給量に依存することが明らかになった。

4. 磨耗量のフィードバックによる研削加工の高精度化

4.1 実験装置

実験にはCNC平面研削盤を用いた。圧力センサ、ひずみアンプ、うず電流式偏位センサは3章と同じものを用いた。さらにこれをステップモータにより駆動されるxyzステージに取り付けることにより、センサの位置を自由に設定できるようにした。圧力センサ位置の制御および研削盤主軸切り込みの制御には、パーソナルコンピュータ (Pentium、100MHz) を使用した。圧力センサの出力は差動増幅器で増幅された後、パーソナルコンピュータに入る。

4.2 零位法の適用による研削加工の高精度化

零位法による砥石磨耗補償法のアルゴリズムは以下の通りである。研削盤は一定の切り込み量 (DG) によりトラバース研削する。その間にコンピュータは圧力センサの出力が一定になるように、y軸ステージに上下信号を送る。砥石磨耗量が補正のための送りステップ (FSC) を超えると、NC研削盤の制御盤にも上下信号を送る。砥石主軸の上下動が終了し、研削盤から終了信号は返されるまでは、次の上下信号は送られない。圧力がノイズなどにより1%程度ばらつくため不感帯とし、圧力センサが微振動するのを防いだ。砥石はWA120J8Vを用いた。被削材には硬さHRC42のSKD11を用いた。U字型の片側だけを1回当たり $3\mu\text{m}$ 研削し、その高さを電気マイクロメータで測定することで研削量を測定した。砥石磨耗量は研削量に比例して増加し、 $450\mu\text{m}$ 研削後では $51\mu\text{m}$ であった。本実験では、砥石と圧力センサとの間隔を $10\mu\text{m}$ になるように制御した。指令切り込み量の $30\mu\text{m}$ ごとに加工誤差を測定した。砥石はほぼ一定の割合で磨耗した。それに伴ない主軸の切り込みを増加させたため、誤差は図3に示すように補正のための送りステップである $1\mu\text{m}$ 以下であった。一般に零位法のほうが測定時間が長い、研削加工では砥石磨耗の速度が遅いため、問題にならなかった。また磨耗量の補正をしない場合、偏位法により補償する場合と比べ、加工時間に差はなかった。

5. まとめ

目づまり過程における動圧の観察の結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 研削砥石によって発生する動圧は、ギャップと研削液流量によって変化する。
- (2) 動圧に含まれる周波数成分は、研削の進行に伴って、高域の圧力振幅が大きくなる。
- (3) 圧力を一定に保つよう圧力センサを変化させることによる零位法により砥石磨耗量を測定し、それを砥石主軸切り込み量にフィードバックすることで砥石磨耗量による加工誤差を補償した。加工誤差は補償のための切り込み量より小さかった。

3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

古谷克司 豊田工業大学 助教授

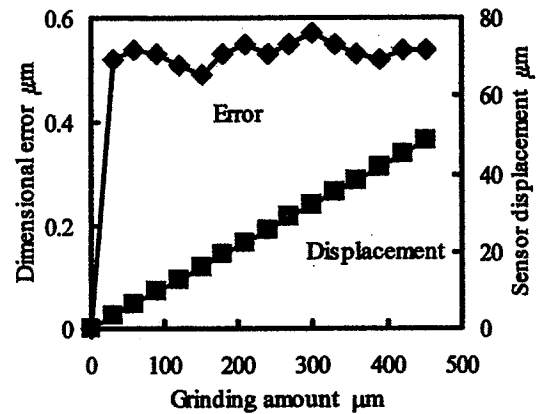


Fig. 3 Progress of error during grinding

4. 研究実施時期

平成13年3月1日から14年3月31日まで

5. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) Katsushi Furutani, Noriyuki Ohguro, Nguyen Trong Hieu, Takashi, Nakamura: In-process Measurement of Topography Change of Grinding Wheel by Using Hydrodynamic Pressure, International Journal of Machine Tools and Manufacture (投稿中)
 - (2) Katsushi Furutani, Nguyen Trong Hieu, Noriyuki Ohguro and Takashi, Nakamura: Automatic Compensation for Grinding wheel Wear by Pressure Based in-process Measurement in Wet Grinding, Precision Engineering (投稿中)
 - (3) Katsushi Furutani, Nguyen Trong Hieu, Noriyuki Ohguro and Takashi, Nakamura: Pressure based In-process Measurement of Grinding Wheel Wear by Zero Method and Its Application to Automatic Compensation, Proceedings of Institution of Mechanical Engineers, Part B, Journal of Engineering Manufacture (投稿中)
- 国内講演会 3件発表、1件予定(2002年6月)。国際会議3件予定(2002年7、9、10月)。

6. 内外における関連研究の状況

砥石磨耗量の測定ではAEセンサを用いる方法、レーザ変位計を用いる方法、空気マイクロメータを用いる方法などが提案されている。しかし研削液が測定を困難にする場合が多く、湿式研削におけるインプロセス計測で十分な精度を持つものは少ない。

一方、目づまりや目つぶれなど砥石作業面変化の検出ではレーザ変位計やCCDカメラなどを用いた砥石作業面トポグラフィの研究が盛んである。加工中の研削音や研削振動を測定する方法は湿式研削にも適用可能であるが、砥石磨耗量の測定には適用できない。

また、湿式研削における砥石磨耗量測定と砥石作業面変化の検出の両方を同時に行った例は少ない。

7. 今後の発展に対する希望

近年、機械加工の分野でも環境保護が重要視されるようになってきた。切りくずが混入した加工液は、これらを分離することが困難である。そのため、冷風による冷却もしくは加工液を霧状にして供給し、加工液の使用量を低減するドライ化の試みがなされている。本研究の原理は湿式研削だけでなく、粘性流体が存在すれば適用できる。したがって、今後はドライ化された研削加工への適用も検討したいと考えている。