

砥石軸方向微小振動付与による Hyper 研削の表面粗さ向上

東京農工大学 ○竹内 直也, 野村 幸作, 茅野 雅久, 平和産業株式会社 日下部 篤史, 東京農工大学 ©笹原 弘之

要 旨

研削加工では、砥石の回転と送りの運動により砥粒による加工痕が連続的に形成されるため、表面粗さの向上には限界がある。本研究では砥石内部から研削液を供給するHyper研削の研削液にプランジャポンプにより脈動を与え、砥石を軸方向に微小振動させる機構を開発した。振動の付与により加工面での砥粒の運動軌跡が正弦波状になり、振動なしでは削り残す部分が除去される。これにより、表面粗さが向上することを明らかにした。

1. 緒 言

研削加工は、高い形状・寸法精度が得られるため、主に仕上げ加工に用いられているが、外部ノズルにより研削液を供給する際に砥石回転による空気層に研削液供給が阻まれ¹⁾、3次元形状物の加工時に外部ノズルと被削材が干渉する恐れがある。そこで、砥石の気孔を利用して機構内部に流路を設けることにより砥石内部から研削液を供給する研削液供給機構が研究されている²⁾。この砥石内研削液供給機構を用いて、多軸制御工作機械で切削加工のように高効率で輪郭加工を行う加工法はHyper研削と称されている。Hyper研削は加工点に効率よく研削液を供給できるため、加工温度・研削抵抗の減少、砥石摩耗の抑制、表面粗さ向上などの様々な優位性が示されている。

しかしながら、研削加工では砥石の回転と送りの運動により個々の砥粒の運動軌跡がトロコイド曲線を描き被削材表面に微小な凹凸を形成する。それにより砥粒の加工痕が連続的に形成され、表面粗さの向上には限界が生じる³⁾。砥石を軸方向に振動させ、砥粒の正弦波状運動により加工痕を連続的な畳目状にすることがこの問題は解決法のひとつとなる。

そこで、本研究ではホルダ内部に流路を持つHyper研削の機構を利用し、研削液を供給するプランジャポンプの脈動により砥石を軸方向に振動させる機構を開発した。この機構を用いて加工面と表面粗さへの影響について明らかにすることを本研究の目的とし、更なる高精度加工の実現を目指す。

2. 砥石軸方向微小振動付与機構

Hyper研削の機構と研削液を供給するプランジャポンプの脈動により砥石を軸方向に振動させる機構を図1、2に示す。スピンドルスルーでは大きく分けてシリンダとピストンで構成され、そのピストンに砥石を専用フランジにより取り付ける。シリンダ、ピストンおよびフランジには研削液が流れるための流路が設けてある。シリンダ上部をコレットチャックで把持するものとし、それ以外の部分でのシリンダの内径およびピストンの外径を $\phi 30$ とし、受圧面の直径を $\phi 18$ 、オリフィス径を $\phi 3$ とした。シリンダ・ピストンのはめあいはずき間ばめとし、機構内部に流れる研削液の粘性抵抗が回り止めの役割を果たすようにした。弾性体として、シリンダ内部に皿ばねを組み込んである。サイドスルーでは、回転部と非回転部で構成されていて、回転部にほぼ同型のシリンダ・ピストンからなる機構を取り付けることで軸方向に運動可能な機構とした。スピンドルスルー同様に回転部、非回転部、シリンダ、ピストンおよびフランジには流路が設けてある。両機構ともこの流路により砥石内部から研削液を供給することができる。なお、使用する砥石はWAビトリファイドボンド砥石の平型 $75 \times 13 \times 31.75$ で、粒度#80、結合度K、組織14である。

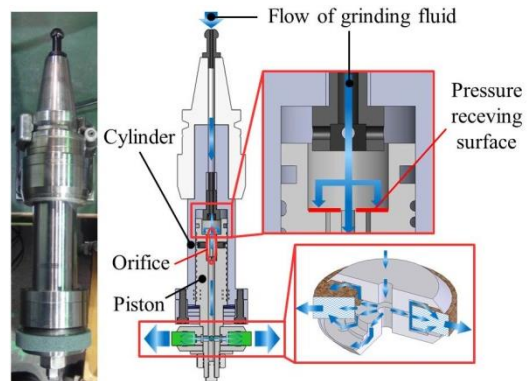


Fig.1 Spindle through holder of vibration mechanism

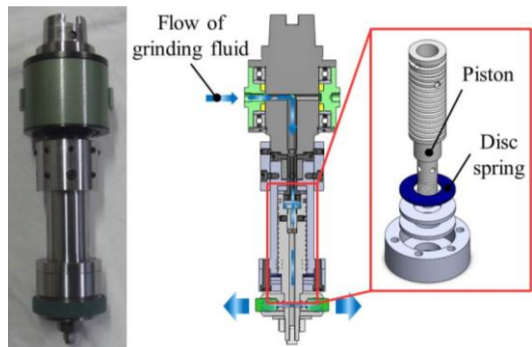


Fig.2 Side through holder of vibration mechanism

この機構を用いて、プランジャポンプの脈動を動力源とするピストンの振動変位について調査した。図3に主軸無回転時でポンプ軸の回転周波数が 370min^{-1} のときのピストンの振動波形を示す。流量は、ポンプの仕様上スピンドルスルーが 15L/min 、サイドスルーが 17L/min である。図3より、プランジャポンプの脈動を用いた機構により、ピストンが振動していることがわかる。スピンドルスルーでは振動振幅が $4.40 \mu\text{m}$ 、振動周波数が 21Hz 、サイドスルーでは振動振幅が $16.7 \mu\text{m}$ 、振動周波数 20Hz となった。振動振幅はサイドスルーの方がスピンドルスルーと比較して約3倍の振幅が得られた。この理由としては、用いたポンプが異なり、サイドスルーに用いたポンプのプランジャの容積が大きいためである。これにより1本のプランジャによる脈動の圧力・流量の振幅が大きくなる。つまり、本機構の振動振幅はポンプ容量に大きく依存する。振動周波数はスピンドルスルー、サイドスルー共に約 20Hz となった。これはポンプ軸の回転周波数が 370min^{-1} すなわち約 6.2Hz であり、プランジャの数が3本なので、脈動の周波数はポンプ軸の回転周波数の3倍の約 20Hz となる。脈動の周波数とピストンの回転周波数がほぼ一致することがわかる。

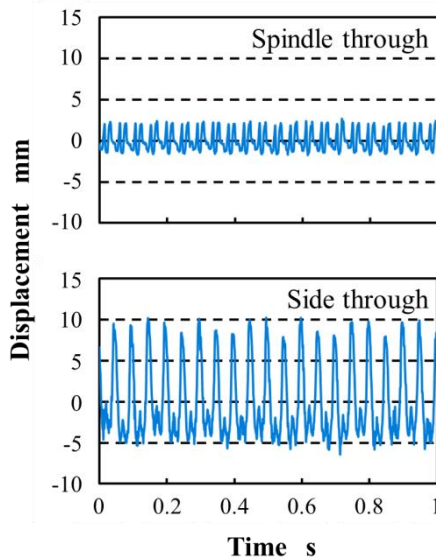


Fig.3 Vibration of piston

3. 実験方法

スピンドルスルーおよびサイドスルーの砥石内研削液供給機構および砥石軸方向微小振動付与機構を用いて加工実験を行った。実験条件を表1に示す。加工後の試験片における表面粗さを接触式の表面粗さ測定器により測定し、加工面をレーザ顕微鏡により観察した。

Table 1 Experiment condition

	Spindle through	Side through
Cutting speed	m/s	20
Feed rate	mm/min	500
Depth of cut	mm	0.01
Type of coolant	Emulsion	
Rotational frequency of pump shaft	min ⁻¹	
Amount of coolant supply	L/min	15
Grinding method	Down cut	
Work piece	S45C	S50C

4. 実験結果

図4に加工表面の算術平均粗さ R_a 、図5に最大高さ粗さ R_z の測定結果を示す。軸方向に微小振動を与えたことによって、サイドスルーでは R_a が $0.44\mu\text{m}$ から $0.37\mu\text{m}$ と $0.07\mu\text{m}$ 改善し、 R_z は $2.89\mu\text{m}$ から $2.47\mu\text{m}$ と $0.42\mu\text{m}$ 改善された。一方、スピンドルスルーでは R_a が $0.52\mu\text{m}$ から $0.61\mu\text{m}$ と $0.09\mu\text{m}$ 悪化し、 R_z が $3.97\mu\text{m}$ から $3.81\mu\text{m}$ と $0.16\mu\text{m}$ 改善された。スピンドルスルーの R_a が砥石内研削液供給機構と比較して悪化した原因は、ドレッシング後の砥石の形状が真円ではなく、わずかに楕円状になっていたためと考えられる。これは砥石軸方向微小振動付与機構のシリンダとピストンのクリアランスにより、ドレッシングおよび加工時に偏心し、偏心量が安定しないため同一円周上で加工が行えないことが原因と考えられる。

図6に加工面をレーザ顕微鏡で観察した結果を示す。軸方向微小振動を与えない場合では加工痕がほぼ直線上であるのに対し、微小振動を与えた場合には加工痕の山部が途切れている部分が見られる。これは砥石軸方向振動の効果と言える。しかし、振動振幅および1つの加工痕あたりの振動周波数振動数が低いため変化がある部分が少なかった。振動振幅を大きくするために流量・ポンプ容量を大きくし、同時に送り速度を低くすることにより、より明確に表面粗さ向上の効果が見られると考えられる。

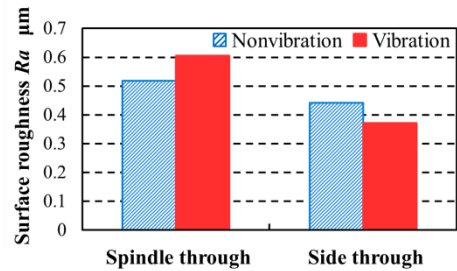


Fig.4 Arithmetic average of the roughness profiles

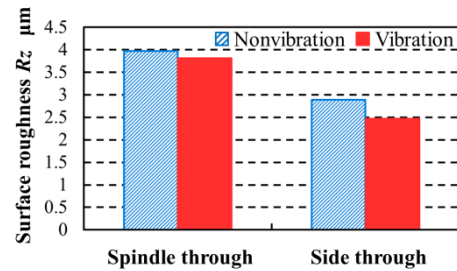
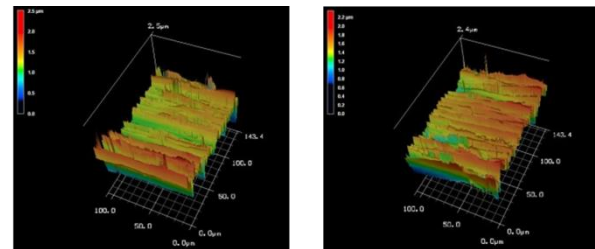


Fig.5 Maximum height of roughness profile



a) Test piece of nonvibration mechanism

b) Test piece of vibration mechanism

Fig.6 Three dimensional display of test piece

5. 結言

プランジャポンプの脈動により砥石を軸方向に振動させる機構を開発して加工実験を行い、以下のことがわかった。

- 1)プランジャポンプの脈動により、砥石は軸方向に振動し、その振動は流量・ポンプ容量・ポンプ軸の回転周波数に依存することを示した。
- 2)軸方向微小振動を与えた場合と与えない場合とを比較し、前者により表面粗さが微小に改善されることを示した。しかし、ピストンとシリンダのクリアランスによりドレッシングおよび加工が不均一になると、表面粗さが悪化する。
- 3)軸方向微小振動を与えない場合に砥粒の加工痕がほぼ直線上に生成されたのに対し、振動の付与によりその加工痕による山部に途切れている部分が見られた。しかし、振動振幅が小さく、送り速度に対する振動周波数が低かったために明確な効果は見られなかった。

参考文献

- 1)奥山繁樹, 中村佳伸, 川村未久, 高切込み研削における研削液の冷却作用に関する研究, 精密工学会誌, 58,4, (1992) pp.673-678.
- 2)八尾泰弘, 李志, 中江慶吾, 笹原弘之, 砥石内研削液供給方法による研削液の少量化とその効果, 精密工学会誌, 78,8, (2012) pp.710-715.
- 3)坂本博宣, 峠睦, 松尾哲夫, ジグ研削の被削材除去機構に及ぼすクイル運動の影響, 日本機械学会論文集C編, 61,591, (1995) pp.4523-4528.