セラミックの研削加工における工具損傷の推定

Estimation of Tool Failure in Grinding Process of Ceramic

○学 江村敏郎・九州大学大学院工学府

Toshiro EMURA, Graduate School of Engineering, Kyushu University

正 井上卓見・九州大学大学院
工学研究院

清水貫太郎・九州大学大学院工学府

國富将平・九州大学工学部

Takumi INOUE, Department of Intelligent
Machinery and Systems, Faculty of
Engineering, Kyushu UniversityKantaro SHIMIZU, Graduate School of
Engineering, Kyushu UniversityShohei KUNITOMI, Faculty of Engineering,
Kyushu University

Key Words: <Tool failure, Grinding, Ceramic, Hilbert transform>

1. 緒言

セラミック加工では、長時間の加工後に工具が破損し、加工面に損傷を与える問題がある。工具の適切な交換時期を予測することはコスト削減となるため、工具損傷を推定する手法を開発することが望まれている。しかし、これまでに同様の研究はほとんどみられず、この問題に対する指針を示す必要がある。本研究では加速度波形にヒルベルト変換を適用することで求めた振幅変化に対して周波数解析を行うことで工具の損傷具合を推定することを試みた。これにより回転数に関連した周波数成分が抽出され、その変動を追うことで工具損傷を推定できることを示す。

2. 実験

セラミック加工は研削加工、切削加工、穴あけ等の様々な種類がある。本研究ではそれらの中から、破損までの条件をコントロールしやすい側面研削を取り扱う。

2-1 実験装置 図1に実験の概略図を示す。図に示すように、セラミックの側面を工具が往復して研削を行う。また、ワークピース自身の加速度を測定するために、加工部分に近いch1~ch3の3箇所加速度ピックアップを取り付けた。

2-2 実験条件 実験は直径 20mm と 9mm の工具で行い、共に 3 回ずつ実験 (Trial) を行った。各工具の実験条件をそれぞれ表 1, 表 2 に示す。実験条件として研削幅 (Grinding width), 送り深さ (Feed depth), 工具回転数 (Rotational speed), 送り速度 (Feed speed), 工具往復回数 (stroke) を掲載している。工具直径 20mm の実験では工具損傷を早く発生させるために、送り速度を工具 1 往復ごとに 10% 増加させるように設定した。

Fig.1 Outline of experimental apparatus

2-3 実験結果 工具直径 20mm の工具は実験 3 (3rd Trial) の 29 往復目で工具が火花を発生して破損し、工具直径 9mm の工具は実験 3 の 9 往復目で破損した。また測定結果から ch1~ch3 すべての加速度はほぼ同様の振動特性を示すため、1 つの加速度に着目するだけで十分であることがわかった。ここでは ch3 の結果を示す。

3. ヒルベルト変換による解析

3-1 ヒルベルト変換 振幅変化を調べる手法として以下の式で表されるヒルベルト変換⁽¹⁾がある。

$$h(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(s)}{t-s} ds \quad (1)$$

これを適用することで振動数成分の位相を 90° シフトさせ、元波形の包絡線を求めることができる。包絡線の振幅 $A(t)$ は以下の式で求められる。

$$A(t) = \sqrt{f(t)^2 + h(t)^2} \quad (2)$$

3-2 φ20mm 工具の解析 実験 1 により得られた加速度波形と、その波形の最初から 3 往復分の波形を拡大した図を図 2 に示す。図 2 に示す添字の F は行き、B は帰りを表す。実験 1~3 の行きと帰りの加速度波形にヒルベルト変換を適用することで各波形の振幅変化を求め、その結果にフーリエ変換を適用して振幅変化の周波数解析を行った。例として実験 1 の 3 往復目の行きと帰りの解析結果を図 3 に示す。図 3 から回転数 n とその倍数成分の $2n$ を抽出できていることがわかる。これは円柱状の工具がごくわずかに偏心しているために、回転数に等しいうなりが振幅に表れ、これをヒルベルト変換が捉えたと考えられる。また、行きと帰りの解析結果は同様の

Table1 Grinding condition for tool diameter 20mm

Trial	Diameter (mm)	Grinding width (mm)	Feed depth (mm/stroke)	Rotational speed (rpm)	Feed speed (mm/min)	stroke
1st	φ 20	28	0.1	8000	1300	30
2nd			0.2		880	14
3rd			0.2		880	29

Table2 Grinding condition for tool diameter 9mm

Trial	Diameter (mm)	Grinding width (mm)	Feed depth (mm/stroke)	Rotational speed (rpm)	Feed speed (mm/min)	stroke
1st	φ9	10	0.2	6000	800	10
2nd					1200	10
3rd					1600	9.5

傾向を示すので、加工の進行にともなう往きのみの振幅変化の周波数解析結果を図4に示す。図4から加工が進むにつれて回転数成分 n が徐々に小さくなっていき、実験3 (3rd) の中盤から後半にかけて回転数成分 n よりも $2n$ 成分が大きくなっていることがわかる。これは研削加工が進むにつれ、工具の偏心が工具磨耗により解消され、ヒルベルト変換で求めた振幅変動の回転数成分が小さくなった後に、工具の一部に比較的大きな磨耗、砥粒の脱落などの小さな損傷が生じたために、回転数の倍数成分が生じているためだと考えられる。したがって、ワークピース加速度の振幅変化を周波数解析し、回転数に関連する成分を追うことで、工具状態がある程度推定できる。具体的には、徐々に小さくなる回転数成分 n が $2n$ 成分よりも小さくなったところで、工具損傷が近いと予測できる。次に、異なる形状の工具でも同様のことが言えるか確かめる。

3-3 $\phi 9\text{mm}$ 工具の解析 直径9mmの工具は先端が6ブロックに分割されており、回転数 n の倍数成分である $6n$ が顕著に見られるために、着目する回転数成分は n と $6n$ とする。直径20mmの工具と同様の解析を行った結果を図5に示す。図5から加工が進むにつれて $6n$ 成分が小さくなり、実験3では $6n$ 成分よりも回転数成分 n の方が大きくなっていることがわかる。これは加工が進むにつれて、磨耗粉や研削屑がブロック間の隙間に詰まると共に砥粒が一部脱落してきたためと考えられる。したがって、直径9mmの工具では $6n$ 成分が n 成分より小さくなったところで工具損傷が近いと予測できる。また、破損の直前では n および $6n$ 成分が急激に大きくなっている。

以上、2種類の工具の解析結果から、主要な回転数成分が、その次に強く現れる回転数成分よりも小さくなったところで工具損傷の発生を捉えることができ、それらの回転数成分が共に急激に増大することで工具破損が予測できる。

また、測定したワークピースの振動加速度に、ヒルベルト変換を適用して加速度波形の振幅変化を求め、その結果にフーリエ変換を適用して振幅変化の周波数解析を行う方法が、加工中の工具状態推定と損傷時期の予測に有効であることがわかった。

4. 結言

(1) 実験で測定された加速度から工具損傷を推定するため、ヒルベルト変換を適用して加速度波形の振幅を求め、その結果にフーリエ変換を適用することで、振幅変化の周波数解析を行った。

(2) 本研究の手法によって研削加工の回転数成分を捉えることができ、その変動によって工具損傷を概ね推定できることを示した。

5. 参考文献

- (1) Takumi Inoue, Atsuo Sueoka, Shingo Okazawa, Estimation of Time-Varying Vibration Parameters by the Segmental Use of the Harmonic Wavelet, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol.74, No.741 (2008), pp.1145-1153

Fig.2 Acceleration during the 1st grinding, (a) Complete and (b) extended figure

Fig.3 Frequency analysis of amplitude modulation to the accelerations of $\phi 20\text{mm}$ 3F and 3B

Fig.4 Analysis result (Forward), tool diameter 20mm

Fig.5 Analysis result (Forward), tool diameter 9mm