

平成21年 4月30日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19360064
 研究課題名（和文） 切削力の大幅な低減を可能とする放物線振動切削装置の開発
 研究課題名（英文） Development of parabolic vibration cutting device to realize significant reduction of cutting force
 研究代表者
 社本 英二 (SHAMOTO EIJI)
 名古屋大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：20216146

研究成果の概要：本研究では、工具に放物線状の超音波振動を付加して切削する（放物線振動切削加工法と呼ぶ）ための装置を開発することを目的とし、約 20kHz のねじり振動と約 40kHz の縦振動を合成することによって超音波放物線振動を発生する装置等を設計・試作した。そして開発した放物線振動切削装置を加工機に組み込んで超音波領域での放物線振動切削加工を実施し、従来法に比べて切削力の低減効果を有することを確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2008年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：切削加工、超音波振動、放物線軌跡、切削力

1. 研究開始当初の背景

近年、振動切削はその優れた切削性能が実証され、様々な分野で実用化が検討されている。振動切削における切削性能は、その振動形態によって大きく左右されるが、これまで1方向のみの振動を使用した直線型の振動切削や、同周波数の2方向の振動を組み合わせ、楕円振動しながら加工を行う楕円振動切削などが検討されている。

2. 研究の目的

本研究では新しい振動切削の手法として、2方向で異なる周波数の振動を組み合わせる

放物線超音波振動切削を提案し、その有用性について検討を行う。具体的には、超音波放物線振動子を開発して加工実験を行い、通常切削および従来振動切削と本手法の基礎的な比較を行う。

3. 研究の方法

放物線振動切削加工法の模式図を図1に示す。本提案手法では切削方向とそれに垂直な切れ刃方向に2:1の周波数比の振動を与えながら切削を行う。このとき2方向の振動の位相差を調整し工具刃先を放物線状の軌跡で振動させながら切削を行う。これにより、

常に切れ刃方向に運動を与えながら断続的な傾斜切削を行うことで、従来の切削方向の直線振動切削に引き切りの効果を付与することができ、切削力を低減することができると考えられる。さらに、切れ刃方向の振動半周期ごとに、引き切りの方向が反転するため、切れ刃の方向に発生する分力も周期的に反転する。そこで、機械系の応答しない超音波領域で放物線振動切削を行った場合、その切れ刃方向の分力は高周波で反転しつづけるため、静的には相殺されることが期待できる。以上の加工メカニズムより、放物線振動切削加工法を用いることによって、直線振動切削加工法の長所に加え、さらに切削力が低減されることが期待される。

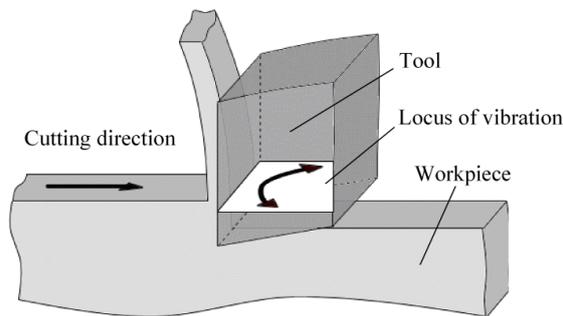


Fig. 1 Parabolic vibration cutting process

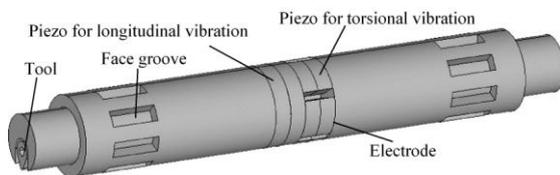


Fig. 2 Parabolic vibration tool

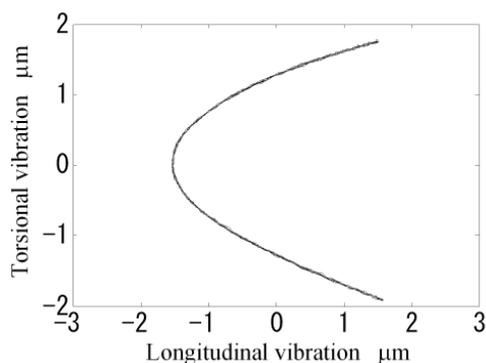


Fig. 3 Measured parabolic vibration locus

4. 研究成果

(1) 超音波放物線振動子の開発

放物線振動切削加工法を実用的に使用するためには、超音波領域で数ミクロン以上の安定した振動を2自由度で発生することのできる工具の開発が不可欠である。そこで、3

次モードにおける約 40 kHz の縦振動と約 20 kHz の捻り振動を組み合わせることで、放物線振動切削を実現することが可能なBLT型の超音波振動子の開発を行った。開発した超音波振動子の模式図を図2に示す。また、縦振動およびねじり振動駆動用の圧電素子に 39.5 kHz で 300 V_{p-p}, および 19.75kHz で 60 V_{p-p} の駆動電圧を入力し、レーザドップラ振動計を用いて工具刃先(ダミー工具)の振動を測定した結果を図3に示す。図より、縦振動方向で 3.1 μ_m_{p-p}, ねじり振動方向で 3.7 μ_m_{p-p} の放物線振動が得られていることがわかる。

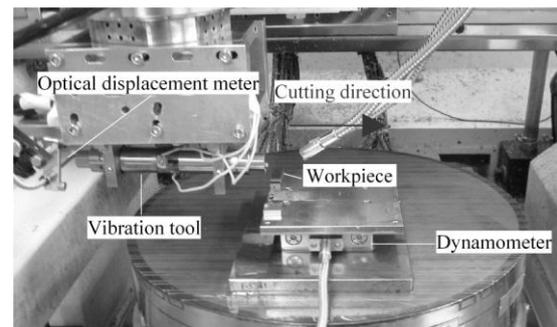


Fig. 4 Experimental setup

(2) 基本的な加工特性の評価

① 実験方法

放物線振動切削の基本的な切削性能の評価を行うため、開発した超音波振動子を用いて超精密切削実験を行い、通常切削と直線振動切削との切削力の比較を行った。振動子を取り付けた超精密加工機の外観写真を図4に示す。図に示すように、切削動力計を介して無酸素銅の被削材を取り付け、工具を右方向に送ることにより溝加工を行った。また、加工中には切削力の測定を行った。工具刃先にはノーズ半径 13 mm の単結晶ダイヤモンド工具を用い、39.5 kHz の縦振動、および 19.75 kHz のねじり振動により各振動切削を行った。振動子の裏側に測定用のダミーブロックを貼り付け、光変位計を用いて振動計測することにより振動軌跡の確認および調整を行った。主な実験条件を表1に示す。

② 実験結果

切削速度 200 mm/min, 切込み量 5 μm の条件で溝加工を行い、振動軌跡の影響について評価を行った。表に示すように実験条件 1, 2, 3 では振動振幅の異なる3つの条件で放物線振動切削を行った。また、実験条件 4 では縦振動のみを行い切削方向の直線振動切削、実験条件 5 ではねじり振動のみを行い切れ刃方向の直線振動切削、実験条件 6 では通常の切削を行った。

各実験条件において、測定された切削力の平均値と加工後に計測した切削断面積から求めた比切削抵抗を図5に示す。図に示され

Table 1 Experimental conditions

Experiment No.		1	2	3	4	5	6		
Cutting method		Parabolic vibration			Ordinary vibration		Ordinary cutting		
Vibration conditions	Frequency kHz	39.5					—		
		19.75							
	Amplitude μm_{p-p}	Cutting direction		3.0	3.0	1.9		3.1	—
		Cutting edge direction		6.7	4.0	6.0		—	5.5
Cutting conditions	Depth of cut μm	5							
	Cutting speed mm/min	200, 2000, 20							
Workpiece	Material	Oxygen free copper							
Tool	Material	Single crystal diamond							
	Rake / relief angle deg.	0 / 5							
	Nose radius mm	13							

るように各振動切削では比切削抵抗が減少しており、特に背分力はほとんど発生していないことがわかる。ここで、実験条件 1, 4, 5, 6 における結果から、各切削加工法の主分力方向の比切削抵抗を比較すると、放物線振動切削を行うことにより通常切削の約 1/8, 切れ刃方向の直線振動切削の約 1/3, 切削方向の直線振動切削の約 90%に減少することが分かる。このように、放物線振動切削を行うことにより各直線振動切削および通常の切削と比較してさらに切削抵抗を低減することが可能となることを確認した。

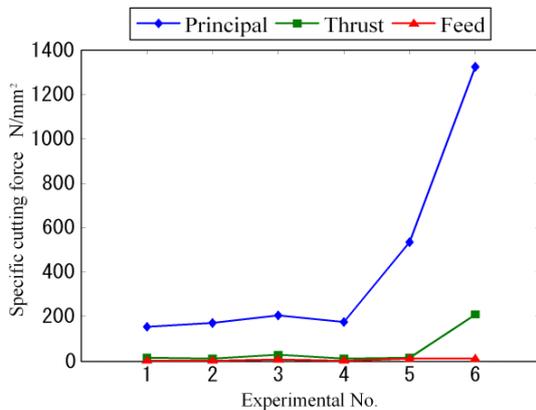


Fig. 5 Effects of vibration conditions on specific cutting forces

次に、放物線振動切削における振動軌跡の影響について比較を行った。実験条件 1 に比べて切れ刃方向の振動振幅が小さい実験条件 2 では、比切削抵抗が大きくなっていることが分かる。これは、切れ刃方向の振動振幅が小さいため、切削中において切削送り方向に対する工具の移動方向の傾斜角が減少し、引き切りの効果が低減するとともに切れ刃方向に生じる切削力の相殺効果が減少する

ためであると考えられる。また、実験条件 1 に比べて切削方向の振動振幅が小さい実験条件 3 においても、実験条件 1 に比べ比切削抵抗が増加していることが分かる。これは、切削方向における振動速度の減少により、振動の周期に対する実加工時間の割合が増加し、間欠切削特有の切削力の平均化効果が減少するためであると考えられる。

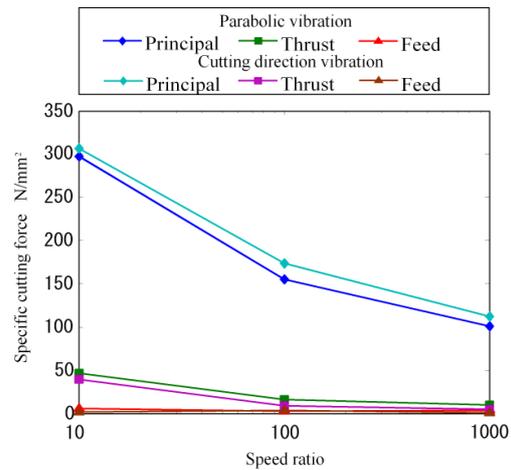


Fig. 6 Relationship between speed ratio and specific cutting forces

表 1 に示す実験条件 1 および 4 において切削速度を変更し、速度比を約 10, 100, 1000 の 3 条件において溝加工を行い、速度比の影響について評価を行った。なお、切削送り速度に対する切削方向の振動速度の比を速度比と呼ぶ。放物線振動切削と切削方向振動切削において、測定された切削力から求めた比切削抵抗と速度比との関係を図 6 に示す。図から、いずれの切削加工法においても速度比の増加に伴い比切削抵抗が減少していることがわかる。これは、速度比の増加に伴い、

実質的な加工時間が減少して切削力の平均化効果が増大したためである。また、速度比が100以上の条件において、放物線振動切削のほうが直線振動切削と比較して若干減少の比率が大きくなることを確認した。これは、放物線振動切削においては、さらに工具移動方向の傾斜角度が増大する効果が得られるためであると考えられる。

(3) 成果のまとめ

新しい振動切削の手法として放物線振動切削を提案し、開発した超音波放物線振動子を用いて、通常切削および従来振動切削との基礎的な加工特性の比較検討を行った。超精密溝加工実験の結果、放物線振動切削を適用することにより、通常切削および従来振動切削と比較して切削力が低減することを確認した。さらに、振動軌跡により加工特性が変化すること、速度比の大きい条件において切削性能が向上することを確認した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① Eiji Shamoto, Norikazu Suzuki, Rei Hino: Analysis of 3D Elliptical Vibration Cutting with Thin Shear Plane Model, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 57/1, 2008, 57-60
- ② Norikazu Suzuki, Makoto Haritani, Ji-bin Yang, Rei Hino, Eiji Shamoto: Elliptical Vibration Cutting of Tungsten Alloy Molds for Optical Glass Parts, Annals of the CIRP, Vol.56/1, 2007, 127-130

[学会発表] (計6件)

- ① 鈴木教和, 丸小慶介, 社本英二: 200kHzの高周波楕円振動工具の開発, 日本機械学会 東海支部第58期総会講演会, 2009年3月18日, 岐阜大学
- ② Eiji Shamoto and Norikazu Suzuki: Elliptical Vibration Cutting of Hard Mold Materials, OSA's 92nd Annual Meeting and Exhibit,

- 2008年10月21-22日, Rochester NY, USA
- ③ Saiid Amini, Eiji Shamoto, Norikazu Suzuki, Mohammad Javad Nategh: FE Analysis of One Directional and Elliptical Ultrasonic Vibration-Assisted Cutting of IN738, International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies 2008 (AMPT2008), 2008年11月2-5日, Manama, Kingdom of Bahrain
- ④ Eiji Shamoto and Norikazu Suzuki: Development of Elliptical Vibration Cutting Technology and Its Application to Ultraprecision / Micro Machining of Hard / Brittle Materials, 6th CHINA-JAPAN international Conference on Ultra-Precision Machining, 2008年11月24日, Hunan University, Changsha, China
- ⑤ 鈴木, 江端, 社本: 楕円振動切削によるタングステン合金の超精密微細加工 (第3報) – 工具寿命の延長に関する検討, 2008年度精密工学会春季大会学術講演会, 2008年3月17日, 明治大学
- ⑥ 社本, 鈴木, 菊地, 土屋, 浜田: 放物線振動切削加工法の提案, 2007年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2007年9月12日, 北海道旭川市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

社本 英二 (SHAMOTO EIJI)
名古屋大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 20216146

(2) 研究分担者

樋野 励 (HINO REI)
名古屋大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 80273762
鈴木 教和 (SUZUKI NORIKAZU)
名古屋大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 00359754