1116 超音波振動加工装置の試作に関する研究

A Study on Making Ultra-sonic Vibration Machining Device for Trial Purposes

○ 宮本 裕文 (帝京大・院), 正 古澤 利明 (帝京大・理工)

Hirofumi MIYAMOTO and Toshiaki FURUSAWA

Teikyo University, 1-1 Toyosatodai, Utsunomiya city, 320-8551

The technology that applied a high power ultrasonic vibration to various processing had old history, and partly had been put to practical use. The purpose of this study is to clarify the technique of the device design and manufacturing methods with a lot of know-how when making ultrasonic vibration machining device for trial purposes. In this report, we derive the conditions of shape and the size of the horn with better mechanical performance. The performance is evaluated by measuring the frequency and the amplitude of the ultrasonic vibration, and the power. As a results, the horn with roundness at connection between thin and flange has the effective performance.

Key words : Ultra-sonic Vibration, Cutting, Horn, Load, Power

1. 緒 言

強力な超音波振動を各種の加工へ応用する技術の歴史は古く、1960年代にはすでに超音波遊離砥粒加工、超音波溶接、超音波切削・研削、超音波引抜きなどの各種の加工法が検討され、一部は実用化されていた⁽¹⁾。超音波振動を援用した引抜き等の塑性加工、切削・研削加工などは、いわゆる生産ノウハウとしてあまり公開されることがなかったが、特殊な素材への加工法として位置づけられ、開発がなされ、その一部は工場内で秘密裏に稼動してきた。

本研究は、製作のノウハウの多い超音波振動加工装置を試作することによって、装置設計、製作の手法を明らかにすることを目的としている。本報告は、超音波振動子からの振動を増幅するホーンと呼ばれる部品について、機械的性能の良い形状・寸法の条件を導き出すために行う。3次元CADのCATIAを使用したホーンの設計を行い、変成比、固定方法を変えたホーンを試作し、周波数、振幅、動力を測定することにより、性能を評価する。最適なホーンを見出すことより高効率な増幅を実現し、より少ないエネルギーで加工を行うことを目指している。

2. 実験方法および装置

ホーン部の設計は決められた周波数に対して材質、形状、寸法を決定するが、CATIAを使用してモデリングおよび固有値解析を行う。ホーン形状は設計の容易なステップホーンとして、材質をアルミニウム合金A7075、周波数が38kHz、変成比2となるように設計したものを基本形状とする。設計した形状・寸法を図1に示す。

さらに、変成比を2で、細径部とフランジ部との境界に図2(b)のようなR5の丸みを付けた物、また、フランジ部に6個のネジ穴をあけた物でR5の丸み有およびなしの物を作成する。また、比較のために、振幅をさらに増幅した変成比4で、フランジ部に丸溝を付けた物も用いる。フランジの固定方法は、基本形状の変成比4と変成比2のホーンに対してはホーンのフランジ部を2枚の固定用鋼板で前後から挟み込む方法、さらに、ネジ付きホーンを固定用鋼板に直接ネジで固定する方法である。固定用鋼板は定盤に固定したバイスに取付ける。

超音波振動発振器は最大出力200W、PLL周波数自動追尾方式を採用しており、周波数の制御範囲は 38 ± 1 kHzである。発振器に接続したボルト締めランジュバン型振動子⁽²⁾に試験体のホーンを取り付け、超音波振動を与えた時の、ホーン先端の周

波数を周波数カウンタ、振幅をレーザ振動計で測定する。

切削加工、塑性加工時は負荷がホーンに作用することになり、ホーンの振動を抑制することになる。そこで、荷重と動力を測定する目的から、ホーンと鋼板の間に応答周波数200kHzの圧電型ロードセルを挟む。そしてネジの締め付けによってホーン先端の荷重を変える。動力の求め方は、図3に示すように、横軸に振動の変位をとり縦軸に荷重をとると、変位と荷重のループの面積がホーンに加えられた振動エネルギーを表わしている。さらに、振動エネルギーを周期で割ることにより動力が求められる。

Fig.1 Basic horn (Amplitude of vibration velocity=2)

Fig.2 Basic horn with and without fillet

Fig.3 Energy loop formed by displacement and load

3. 実験結果および考察

ここでは、変成比 2 で挟み込み方式のホーンの結果を示す。図 4 に負荷に対する R なしホーンの発信器の振幅増幅率に対する振幅および周波数の測定結果を示す。振幅は負荷 650N で $1 \sim 2 \mu\text{m}$ であるが、710N 以上では $1 \mu\text{m}$ 以下とほとんど振動しない結果となっている。周波数は振幅増幅率を増加させると、増加して振幅増幅率が約 20% で 39kHz を越え、40% で 41kHz に至る。これは、過負荷のため周波数の制御範囲 $38 \pm 1\text{kHz}$ を超えてしまい、超音波振動装置本来の共振状態を維持できなくなり、効率的な振動がなされていないためと考えられる。

これに対して、図 5 に示す R 有の場合、周波数は多少の変動が見えるが、38~39kHz の間で安定している。振幅は振幅増幅率の増加に比例して振幅増幅率 15% の約 $1.5 \mu\text{m}$ から 60% の約 $6 \mu\text{m}$ まで増加していることがわかる。R の効果が大きいに見られる結果である。

R 有およびなしホーンの負荷に対する振幅増加率と動力の結果を図 6 に示す。R 有ホーンの場合、動力は振幅増幅率の増加とともに急激に増加し、各荷重ともにほとんど動力は変わらない。850N の負荷まではホーンは振動を抑制されず、効率的に動力を発生する。これに対して、R なしホーンは図 4 に示すように、ほとんど振幅が出ない関係で動力は極めて小さい。

ホーンの細端部とフランジ部が直角である場合、発信した超音波が拘束部周辺で減少してしまう。しかし、R5 で滑らかな接続に近づけることで、ロスを少なくしてホーン先端に伝えることができ、動力が大きかったと考えられる。加工装置として使用する場合には、超音波振動の効果は大きくなると考えられる。

4. 結 論

超音波振動を利用した切削装置や塑性加工装置の試作を目的とし、その振動増幅器であるホーンの拘束方法および形状を検討した。ホーンを試作して周波数・振幅・並びに動力の変化を比較する実験を行った結果、以下の結論が得られた。

- (1) ホーンの段部を滑らかな接続に近づけるために丸みづけをすることによって、力を効果的に伝えることができ、ホーン先端により大きな振幅を得られる。
- (2) R 有ホーンにより出力される動力は、850N の負荷まではホーンを効率的に作動できる。

参考文献

- (1) 日本塑性加工学会：超音波応用加工，森北出版，(2004) pp. 2-94
- (2) 難波精一郎、後藤敏幸、橘 秀樹、藤崎博也、竹下信雄、古井貞熙、井口征士、桑野園子、大串健吾、中村 昭、音の科学 株式会社朝倉書店出版 P172

Fig.4 Relationship between amplitude, frequency and amplification rate when using basic horn

Fig.5 Relationship between amplitude, frequency and amplification rate when using basic horn with fillet

Fig.6 Relationship between power and amplification rate of ultrasonic generator when using basic horn with and without fillet