

高周波メガソニッククーラント装置の開発

日本工業大学 システム工学科

教授 鈴木 清

(平成 15 年度研究開発助成 AF-2003006)

1. はじめに

メガヘルツ帯域の超音波振動を重畳させた加工液を加工点に供給する”メガソニッククーラント(MSC)法”は、切削や研削加工において、加工特性を大幅に向上させ得ることが明らかにされてきた。また、その加工特性は、加工液に重畳する超音波周波数が高周波であるほど向上効果が高いことを示した。現状では、 $f=2.4\sim 3\text{MHz}$ のメガソニッククーラントが顕著な効果を発揮している。しかしながら、更なる加工性能向上を求める要望は多く、より高周波の超音波振動を駆動できるメガソニッククーラント装置の開発が望まれている。

本報告では、 $f=4.8$ および 7.2MHz の超音波振動をクーラントに重畳することができるメガソニッククーラント装置(図1)を開発したので、その基本特性を調査するとともに、切削加工特性を最も向上させ得ることができる超音波周波数を調査した。

2. 高周波メガソニッククーラント装置の開発

2. 1 高周波 MSC 装置開発の問題点と解決策

高周波メガソニッククーラント装置の開発において解決すべき問題点には、共振周波数の追尾駆動が困難なこと、高周波になるほど超音波振動子が薄くなるため割れ易いことが挙げられる。これらの問題点を解決するため、自動追尾機能では、振動子のインピーダンスを出力回路のインピーダンスにマッチングさせるためのインピーダンス変換器を用いて異なる周波数にわたって一定の整合を取るようにした。また、振動子の欠損抑制のため、3倍波駆動法を採用することによって、比較的厚めの 1.6 および 2.4MHz の振動子を3倍駆動し、 4.8 および 7.2MHz で駆動できるようにした。

2. 2 高周波メガソニックジェネレータおよびノズル

新たに開発したメガソニッククーラント装置(図1, 2)は、超音波周波数を $f=4.8, 7.2\text{MHz}$ の2つ周波数に切り替え可能であり、各用途における効果が最適となる周波数を選択できる。振動子を駆動する超音波出力は、 $10\sim 60\text{W}$ で可変できる。

3. 高周波数メガソニッククーラントの振動伝達特性の調査

3. 1 実験装置および条件

実験装置の仕様および条件の詳細を表1に示す。高周波メガソニッククーラントの振動伝達特性を調査するため、新たに開発した装置の他に、 $f=1.6, 2.4, 3\text{MHz}$ の超音波振動

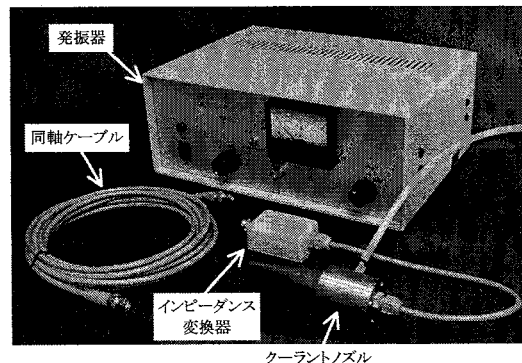


図1 メガソニッククーラントジェネレータおよびノズル外観

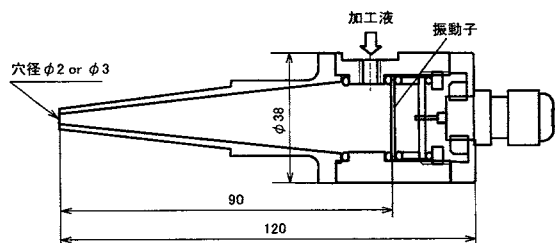


図2 メガソニッククーラントノズル模式図

表1 実験装置の仕様および条件

メガソニック クーラント 装置	<ul style="list-style-type: none"> ○ MSC 装置:メガソニックジェネレータ (メガソニックシステムズ) 発振周波数 $f=4.8, 7.2\text{MHz}$ 発振器出力 $P_w=12, \sim 60\text{W}$ ○ メガソニッククーラントノズル 振動子から吐出口までの距離 90mm 吐出口径 $\phi 2, 3\text{mm}$, 真鍮製
クーラント	シンセティック: Syntilo GX (5%) クーラント供給流量: $q=1.0\text{ l/min}$
測定器	ハイドロホン (NH8023, 東レエンジニアリング) 高分子圧電膜, 無指向性 $\phi 0.5\text{mm}$, $1\sim 20\text{MHz}$ 帯域
旋削 加工 実験	切削チップ: 超硬合金 (CNMA120404) ワーク: ステンレス鋼 (SUS304, $\phi 50\text{mm}$) 旋削条件: 切削速度 $V=75\text{m/min}$ 切込み: $a=0.05\text{mm}$ 送り: $s=0.05\text{mm/rev}$

を駆動することができる既存のメガソニックジェネレータMSG-331も用いた。ノズルは吐出口径 $\phi 2\text{mm}$ のものを使用し、加工液にはシンセティックタイプクーラント(5%希釈)を用いた。クーラント流量は $q=1.0\text{ l/min}$ とした。

2.2 音圧検知センサ

高周波振動の超音波振動を流体(クーラント)に重畳したときの基本特性を調査するため、1~20MHz帯域の周波数に応答する音圧検知センサとしてハイドロホン(高分子圧電膜、無指向性、 $\phi 0.5\text{mm}$)を選定した。このセンサの出力電圧 E をデジタルオシロスコープで測定した。音圧 P および振動加速度 α は、測定された電圧値から以下の式によって導いた。

$$P=E/M \quad (M: \text{校正係数 } 43\text{nV/Pa}) \quad (1)$$

$$\alpha=2^{1/2}\pi f P/(\rho C) \quad (f: \text{発振周波数}, \rho C: \text{音響インピーダンス}) \quad (2)$$

3.3 高周波数メガソニッククーラントの振動伝達特性

クーラント中を伝達する超音波振動の振動加速度および音圧の測定は、音圧検知センサ(ハイドロホン)とメガソニッククーラントノズルを図3に示すように配置して行った。

$f=1.6, 3, 4.8, 7.2\text{MHz}$ の超音波振動を重畳したメガソニック

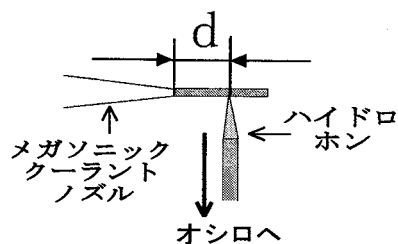
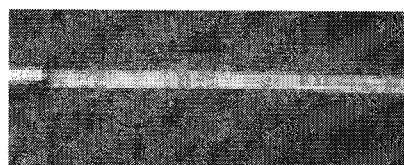
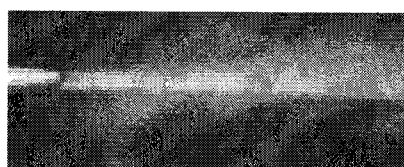


図3 メガソニッククーラントの振動伝達測定実験状況

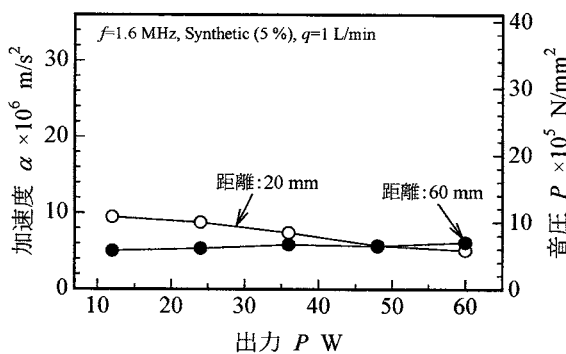


(a) 発振器出力: $P_w=12\text{W}$

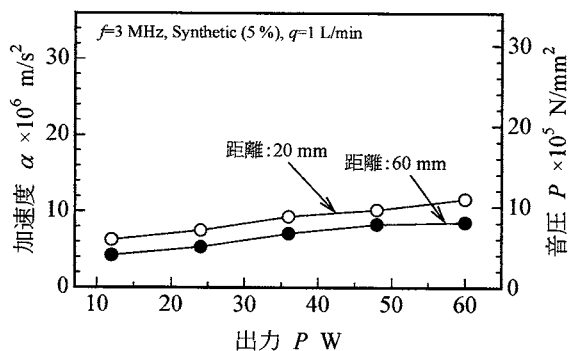


(a) 発振器出力: $P_w=12\text{W}$

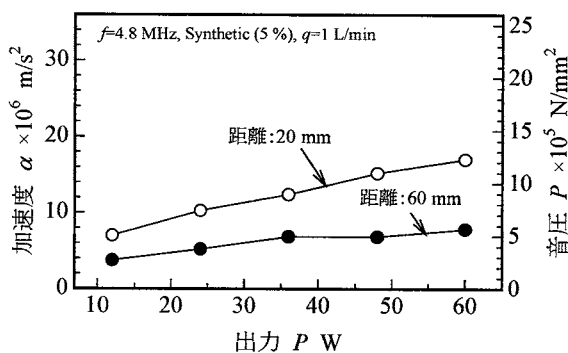
図4 超音波振動による噴出状況の変化
($q=1\text{ l/min}$, $f=1.6\text{MHz}$)



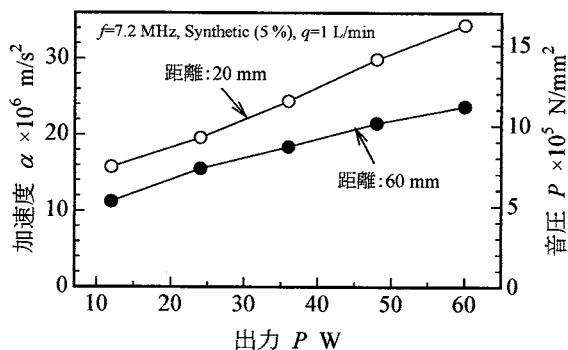
(a) $f=1.6\text{ MHz}$



(b) $f=3\text{ MHz}$



(c) $f=4.8\text{ MHz}$



(d) $f=7.2\text{ MHz}$

図5 高周波メガソニッククーラントの振動加速度と音圧特性
(シンセティック(5%), $q=1\text{ l/min}$)

クーラントを $q=1\text{ l/min}$ の流量でノズルから水平方向に噴出させた(図4)。図5にノズル出口からの距離と音圧および振動加速度との関係を示す。

従来機の $f=1.6\text{MHz}$ では、図4に示すように、発振器出力が大きいくほど液流周辺に水煙が発生し、クーラントに伝達する振動エネルギーが大きくなったように思われるが、音圧は発振器出力の大きさにかかわらずあまり変化しなかった。一方、 $f=3.0\text{MHz}$ および新装置の $f=4.8, 7.2\text{MHz}$ では、いずれのクーラントでも発振器出力の増大に伴って水煙は発生しないが、加速度および音圧が高くなった。また、超音波周波数が大きいほど、その値が大きくなった。

ノズル出口からの距離に近いほど、加速度および音圧が大きくなることもわかった。

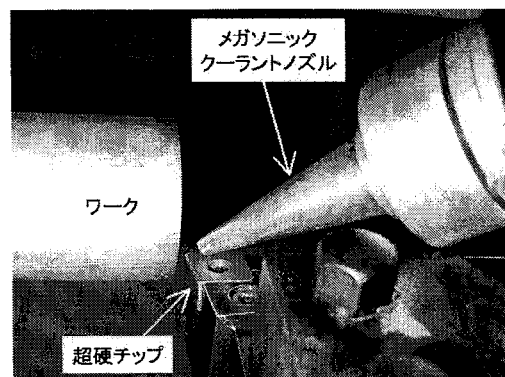


図6 メガソニッククーラントによる旋削状況

4. 切削加工におけるメガソニック振動周波数の同定

4.1 切削実験条件

高周波メガソニッククーラントの振動周波数を同定するため、ステンレス鋼 SUS304 の外周旋削加工に $f=4.8$ および 7.2MHz のメガソニッククーラントを適用した。

切削加工実験はNC旋盤上で行った。切削工具には超硬合金チップを用い、切削速度 $V=75, 150\text{m/min}$ 、切込み $a=0.05\text{mm}$ 、送り $s=0.05\text{mm/rev}$ の条件で外周面を旋削した。メガソニッククーラントの供給流量は $q=1\text{ l/min}$ とした。実験条件の詳細を表1に、メガソニッククーラントノズルの設置状況を図6に示す。

4.2 切削加工結果

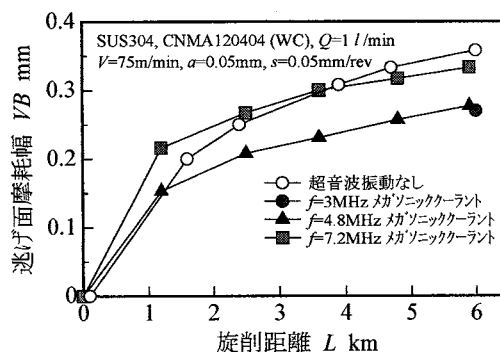
(1) 切削チップの逃げ面摩耗幅に及ぼす影響

切削速度 $V=75, 150\text{m/min}$ でステンレス鋼外周面を旋削したときの超硬チップ刃先の逃げ面摩耗幅を比較した結果を図7に示す。

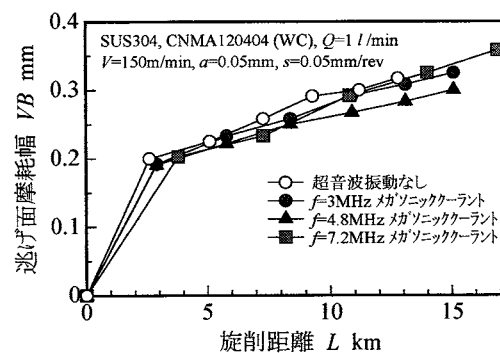
どちらの切削速度においても、 $f=3$ および 4.8MHz のメガソニッククーラントを用いたときに、逃げ面摩耗幅が減少した。 $f=7.2\text{MHz}$ のメガソニッククーラントは、超音波振動を重畳しない場合と同程度の消耗であり、メガソニッククーラントの効果が見られなかった。

(2) 切削加工面に及ぼす効果

切削速度 $V=75\text{m/min}$ で旋削を行ったときの被削面性状および粗さ曲線を図8に示す。超音波振動を重畳しない通常供給の場合には、被削面に溶着物が見られ、表面粗さは $Ry=3.27\mu\text{m}$ だった。 $f=3$ および 4.8MHz のメガソニッククーラントを用いたときには、被削面に溶着物は見られず、表面粗さがそれぞれ $Ry=1.02, 1.43\mu\text{m}$ に改善された。一方、 $f=7.2\text{MHz}$ のメガソニッククーラントでは、超音波振動を重畳しない場合に見られた溶着物が見られるとともに、表面粗さは $Ry=2.24\mu\text{m}$ と改善効果が小さかった。



(a) $V=75\text{m/min}$



(b) $V=150\text{m/min}$

図7 旋削加工特性に及ぼす高周波メガソニッククーラントの効果

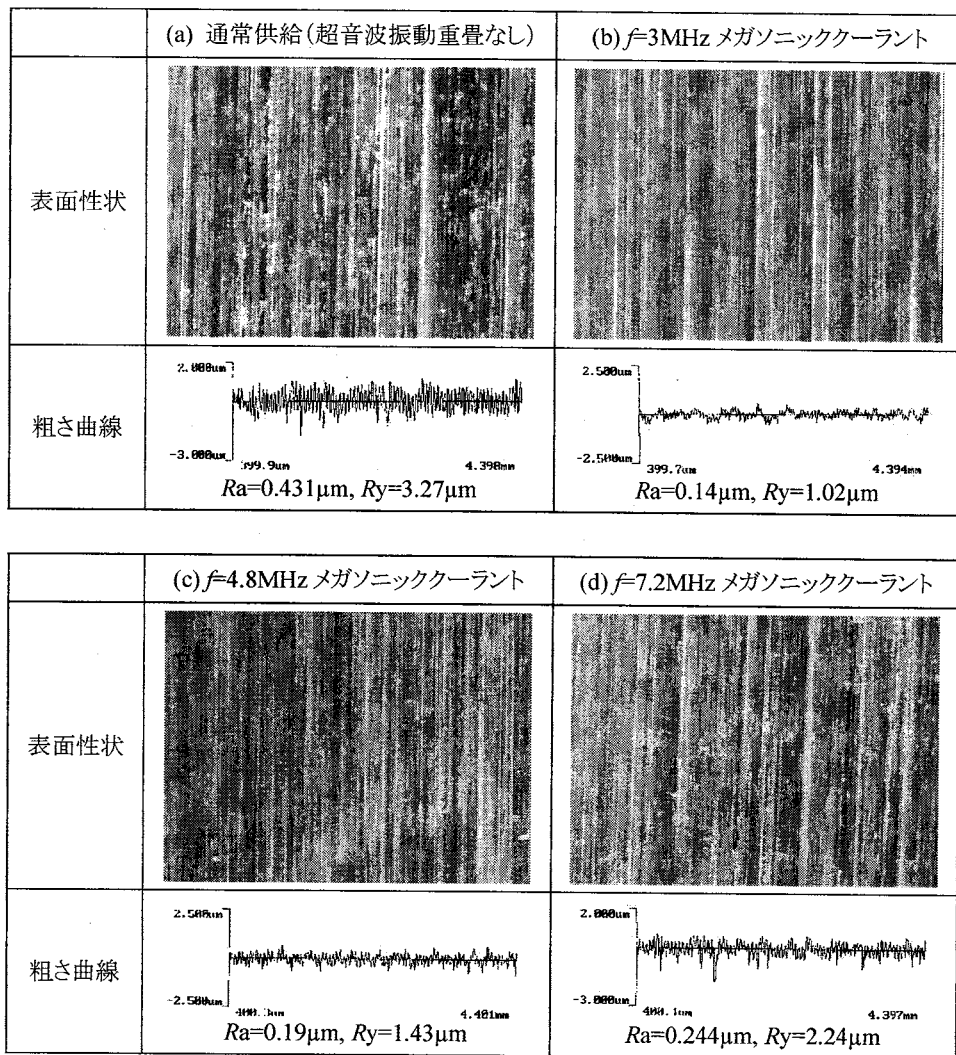


図8 高周波メガソニッククーラントによる被削面性状の改善効果
 $(V=75\text{m/min}, a=0.05\text{mm}, s=0.05\text{mm/rev}, q=1\text{ l/min})$

4. まとめ

加工性能の更なる向上を目的に、既存のメガソニッククーラント装置よりも高周波数の超音波振動 ($f=4.8, 7.2\text{MHz}$) を駆動することができるメガソニッククーラント装置を開発した。メガソニッククーラント中の振動伝達特性および切削加工特性を調査した結果、次のような結果を得た。

- (1) メガソニッククーラント中の超音波振動の伝達特性は、超音波周波数が高いほど、振動加速度および音圧が増大する。また、ノズル噴出口からの距離が近いほど、その値は大きくなった。
- (2) ステンレス鋼 SUS304 の切削加工に高周波メガソニッククーラントを適用し、最適周波数の同定を試みた結果、 $f=3$ および 4.8MHz のメガソニッククーラントでは加工性能の向上が見られたのが、 $f=7.2\text{MHz}$ まで周波数を高めたメガソニッククーラントでは改善効果があまり見られなかった。

今後は、超精密研削加工に適用し、その効果を調査していく予定である。

本研究を行うに当たりご協力頂いた(財)天田金属加工機械技術振興財団に厚く御礼申し上げます。