寄書◆技術報告

振動吸収チャック, system 3R MacroVDP

— 切削加工における加工面, 工具寿命, 加工速度の改善 —

齋藤 幸一*

Dampening Chuck, system 3R Macro VDP

— Improvement of Surface Finish, Tool Life and Productivity in Cutting —

Koichi SAITO

1. はじめに

切削加工時に発生する振動は加工結果の多くの要素に悪い結果を与える。振動は加工時の刃物とワークとの断続的な接触により発生する。このような振動は、機械フレームの設計と共振の結果軽減もしくは増幅される。これらの振動を軽減する為の色々な方法が試されたが解決策は得られていない。System 3R 社はこの問題を解決すべく、スウェーデン王立工科大学(KTH)と共に研究開発を行ってきた。

一つの解決策はワーク及び機械ヘッドをソフトに保持する事だが、これは精度の問題を起こす。この度 VDP の名前で発表された振動吸収パレットシステムは剛性、精度を失うことなく切削加工時に発生する振動を吸収する構造を持ったパレットシステムである。

本稿において system 3R パレットシステムについて説明し、VDP の効果とその使用例を紹介する。

2. System 3R パレットシステム

RockSolid 削り出しの剛性と精度で定評のある system 3R の Macro system は、従来、形彫り放

電加工機用の電極の作製及びクイルへの電極の取り付けに使われてきたが、近年その剛性から金型の直彫りや部品加工の切削に使われるケースが多くなった。

Macro system(写真 1)はチャック本体、ドローバー、パレットから成り立っており電極やワークを、基準面を失うことなくワンタッチで高精度に移動するのに使われる。

写真1 Macro system

* システム・スリーアール日本(株)

〒112-0002 東京都文京区小石川5-18-5

2.1 Macro system の特長

- + パレットの基準面は研削仕上げ一体構造なので；
 - ・ 基準面は面接触なので、剛性があり、磨耗が無視できるので優れた精度、特にシステム精度を持つ。
 - ・ 基準面の緩みが生じない。
 - ・ 90° のインデックス精度が良い。
 - ・ 剛性があり、切削トルクに対して強い。
 - ・ AEC(電極交換装置)を使用しての取り付け精度が良い。
 - ・ 取扱が簡単。
- + パレットのXYZの基準面は同一平面上にあるので；
 - ・ 加工時、ビビリが発生しづらい。
 - ・ 剛性があり、切削トルクに対して強い。
- + ドローパーはフローティング構造なので；
 - ・ 高精度。
 - ・ 精度は電極の挿入角度に影響されないのでAECでの取り付け精度が良い。

以上のことにより Macro system は繰返し精度 $2\mu\text{m}$ 、システム精度 $3\text{--}5\mu\text{m}$ を保証している。

図1 100万回使ったMacroの繰返し精度

図1はMacro systemの繰返し精度をXYZ, 240回測定したときのエラー分布を表す。横軸はエラーの測定値、縦軸は $0.2\mu\text{m}$ 以内の測定サンプルの個数を表している。縦のドットのラインは測定機の誤差を表している。

カーブから Macro system の繰返し精度は $\pm 1\mu\text{m}$ で

あることがわかる。しかし測定機の誤差が $\pm 0.35\mu\text{m}$ であることから Macro system はサブミクロンツーリングであるという事ができる。10kgの電極を付けて行ったテストでも同じ結果が得られている。

3. MacroVDP

3R パレットシステム Macro の振動吸収(VDP)タイプが MacroVDP である(写真2)。パレットは従来 Macro と MacroVDP とで共通である。

写真2 振動吸収型チャック MacroVDP

3.1 MacroVDP の特長

MacroVDPは切削加工時に発生する振動の共振点において50-90%の減衰を行う。従ってMacroVDPは切削加工の加工品質を改善する事ができる；

- + 電極、ワーク等の加工面粗さが従来の1/2-1/3になる。
- + 工具寿命が20-50%延び、チッピングを回避できる。
- + 生産性を1.5-2倍向上できる。
- + 高速ミーリング(HSM)において、より高速回転を使用出来る。
- + より高速切削タイプの工具を使用できる。
- + HSM のスピンドルユニットを振動による損傷から守る。
- + MacroVDPは最新鋭の機械の性能をフルに引き出せる。

3.2 KTH レポート

次にKTHで行われた加工テストのレポートを紹介する。

加工テストはMazakのマシニングセンタ(MC)を使

用し、TiCN をコーティングした 4 枚刃のハイスエンドミルを使って行った。工具のサイズは：

直径、 $D = 16\text{mm}$

最大加工深さ、 $a_x = 35\text{mm}$

振れ角、 $\theta = 30^\circ$

ワークはスチール SiS 2260 (SKD 12 相当) で Macro パレットに直付けした

3.2.1 ワークサイズ $65 \times 65 \times 65\text{ mm}$ の加工

図 2 は従来 Macro による y 軸方向の加工の振動の状況を示している。

図2 従来 Macro による加工

横軸は周波数(Hz)、縦軸は振動の振幅(power spectral density: PSD (m/s^2)²)を表している。加工条件は図の右側に記してある。

V_c : 切削速度

f : 送り

a_x : 深さ方向の加工量

a_r : 径方向の加工量

図上に4つの共振点、100, 1125, 1350, 2450Hz がある。最初の周波数 100Hz の振幅は工具の回転速度×刃の数により、機械系の静的な剛性を表している。他の三つの共振点は加工中に発生したところの周波数の共振点でそれらはまさしく加工時に発生する振動の形態を表している。1125Hz と 1350Hz は曲げモードとして作用し 2450Hz は回転モードとして作用する。

次に従来 Macro と MacroVDP とを比較した x 軸方向の結果を図 3 に示す。切削速度(V_c)と送り(f)は双方の Macro と同じで深さ方向の加工量(a_x)と径方向の加工量が異なる。MacroVDP の方が厳しい加工条件

となっている。1 は従来 Macro, 2 は MacroVDP の結果である。

この結果は MacroVDP の機械的な安定性が顕著に改善されている事を表している。MacroVDP の切削条件が厳しいにもかかわらず従来 Macro よりかはるかに低い振幅を表している。全周波数領域において振動は減衰している。

また機械系(=チャック)の剛性を表す一次共振点 75Hz の振幅も MacroVDP の方が小さく、従来 Macro より MacroVDP の方が剛性があることを示している。

図3 従来 Macro と MacroVDP との比較

3.2.2 ワークサイズ $60 \times 50 \times 50\text{ mm}$ の加工

次に同じ加工条件で加工したときの、双方のチャックの加工結果を比較してみる。

図 4 は双方のチャックを図右の同一加工条件で加工して y 軸方向の振動の比較を表している。図から分かるように MacroVDP の効果が明らかに表れている。共振点の振幅は約 1/10 に減衰している。そして大切な事は機械的な安定性(減衰性)はシステムの剛性に悪い影響を与えていないという事です。減衰性と剛性とが両立しているという事です。

次に加工条件が変わったらどうなるかを調べてみた。同じく双方のチャックは同一加工条件が使用された。図 4 は a_r が 4 mm だったが、図 5 では a_r が 6 mm であり、多少厳しい加工条件になっている。

加工条件が厳しくなっても、1 の従来 Macro の結果に比べ、2 の MacroVDP が静穏な剛性を示す領域を含め全周波数帯において減衰し、共振点の振幅を 1/5 以下に減衰している事を示している。

図4 同一加工条件での両チャックの比較

図5 多少加工条件を上げての比較

図6 より加工条件を厳しくしての比較

次に加工条件をより厳しくし、Vc を 60 から 80 m/min に、a_e を 6 から 8 mm にした。結果は図6 の通りで、MacroVDP の減衰性は前と同様顕著に現れている。

4. Buchler 社における比較テスト

スイス Buchler 社において比較テストを行った(写真3)。

写真3 Buchler 社における加工比較テスト

写真4 ワークと各々の工具の加工内容

ワークは 1.4034 (X46Cr13 / 700-800N/mm², SUS 420 J2 相当) でサイズは 80×70×70 mm. Macro パレットに直付けし、6 種類のカット／加工条件で比較加工を行った(写真4)。

夫々のカット／加工条件において加工音、加工面ともに MacroVDP が優れていたが、特にカット 3, 4, 5 にお

いてそれが顕著であった。カッタ／加工条件は表1、写真5,6,7の通りである。

写真5 カッタ3

写真6 カッタ4

写真7 カッタ5

表1 カッタと加工条件

	カッタ3	カッタ4	カッタ5
カッタ	WC	WC	WC
カッタ直径 D mm	16	52	63
送り F mm/min	1500	1500	1200
スピンドル回転 n 1/min	4000	1800	1700
刃数 Z 枚	6	6	7
加工巾 B mm	0.2-0.25	40	60
加工深さ T mm	29	1.5	1

5. 加工例

5.1 電極加工／1(写真8)

ワーク材質 : 銅
 工具 : R3.0 ボールエンドミル
 回転数 : 1,000 rpm
 送り : 1,000 mm/min

結果 : 加工面粗さの向上

従来Macro 0.2700 μ mRa
 MacroVDP 0.1499 μ mRa

写真8 電極加工/1

5.2 電極加工／2(写真9)

ワーク : 銅
 工具 : R0.5 ボールエンドミル
 回転数 : 6,000 rpm
 送り : 540 mm/min
 結果 : 加工面粗さの向上
 従来Macro 2.0 μ mRa
 MacroVDP 0.7 μ mRa

写真9 電極加工/2

5.3 部品加工例ーカッタ

スエーデンのLidingo Produktions ABではHermleの5軸制御MCでエンドミルカッタ(SIS 2541, SNCM 447 相当、硬度 45HRC)を製造している(写真10)。

Macroパレット 54×54 mm に各種カッタ用治具を載せワンタッチでワークのセンタが C 軸のセンタに来るようにしてある。

写真10 5軸制御MC上のMacroVDP

直径40, 50, 63, 80そして100 mmのエンドミルカッタを従来のMacroで製造していた。40 mm カッタはまあまあだが80 mm(写真11)になるとチップスロット部を加工する時に振動が発生する。

この振動の問題は MacroVDP を使うことにより解決した。

写真11 80 mm カッタ

80 mm, チップスロット7個のカッタを加工して従来一本の工具で10個しか加工出来なかったのが MacroVDP を使うことにより40-45個加工できるようになった。

トータル加工時間が32分から26分(19%減)に短縮でき、加工面粗さも向上した(写真12)。

従来Macroによる加工面

MacroVDPによる加工面

写真12 カッタ加工面の比較

6. 結論

以上の様に従来振動吸収と剛性/精度は両立しないとされていたが MacroVDP において剛性/精度を失うことなく顕著な振動吸収性を達成する事ができた。

MacroVDP の振動吸収の機構は切削加工中に、非常に高い加工の安定を達成できる。厳しい加工条件のもとでもこのこのパレットシステムは従来の Macro に比べ顕著な静的動的な安定性を見せる。

最後に本稿を書くに際し、了解を得て；

Ake Hjalmarsson

2000-02-03AH

VIBRATION CONTROL BY PASSIVE

DAMPING IN PALLET SYSTEM

から切削データ等を引用したことを付記する。

(2003 年 6 月 6 日受付)