高精度ワイヤ放電加工機 PA シリーズの紹介

三菱電機株式会社 名古屋製作所
石原 秀一郎* 寺田 裕* 鈴木 俊雄*

Introduction of High Accurate Wire EDM “PA Series”

Mitsubishi Electric Corp.
Shuichiro ISHIHARA, Yutaka TERADA and Toshio SUZUKI

1. まえがき

近年の電子機器を始めとする製品の小型化や高密度部品実装化に対応した超微細精密金型や、光ファイバーフェルールのプラスチック化に対応した超高精度金型を実現する超精密加工の要求が高まっている。これらを背景に、ワイヤ放電加工機においては、ピッチ精度・形状精度・面あらさのサブミクロン化・細線ワイヤによる微細加工を求められている。一方では、自動車部品の金型に代表される大物金型にも精密化の要求が高まり、エンジンガasketなどの大物順送型にも数 μm のピッチ精度が要求されている。

本稿では、 $\pm 2\mu\text{m}$ 精度保証のPAシリーズに搭載された要素技術を中心に、超高精度ワイヤ放電加工の最新技術と今後の方向性について述べる。

2. PA シリーズの紹介

表1は、PAシリーズの主要仕様である。機種としては、小型のPA05と中型のPA20とがある。どちらも $\pm 2\mu\text{m}$ 精度保証であるが、PA05については、 $\pm 1\mu\text{m}$ 精度保証の高精度パッケージと $\phi 0.03\text{mm}$ の細線ワイヤ対応の極細線パッケージを搭載できる。

両機種とも、長時間連続加工での熱変位抑制のために、フルキャビン構造の採用が特徴である。

表1. 主な製品仕様

項目	PA05	PA20
最大工作物寸法 (W×D×H)[mm]	500×390×145	1050×800×295
最大工作物質量 [kg]	100	1500
各軸移動量 (X×Y×Z)[mm]	220×150×150	500×350×300
各軸移動量 (U×V)[mm]	$\pm 32 \times \pm 32$	$\pm 21 \times \pm 21$
適用ワイヤ径 [mm]	$\phi 0.05 \sim 0.25$ ($\phi 0.03$:オプション)	$\phi 0.1 \sim 0.3$
ワイヤ自動結線 装置	AF (細線対応)	AT (高速対応)
超仕上げ電源 FS4	標準搭載	オプション

3. PAシリーズの特長

3.1 駆動制御の最適化

安定した高精度位置決めを求められるPAシリーズにおいて、真円精度向上が不可欠となる。今回機械駆動部を見直し、駆動ACモータの外乱抑圧特性を向上させると同時に、64bitCNC機能を駆使したAFC(Advanced Friction Control)制御を搭載した。また内挿誤差の少ない高精度リニアスケールを採用することにより、従来機に比べて穴間ピッ

* 三菱電機株式会社 名古屋製作所
放電システム部 ワイヤ放電加工機設計課
〒461-8670 名古屋市中区矢田南5-1-14TEL 052-712-2311

チ精度はもちろんのこと、 $1\mu\text{m}$ が限界であった真円加工精度を機械間のバラツキを含めて $0.5\mu\text{m}$ まで向上させることが可能になった。図 1 に PA05 での機械真円精度の測定結果を示す。

図 1 機械真円精度測定結果

3.2 熱外乱抑制構造

PA05 のフルキャビン構造とコラム通水機構を図 2, 3 に示す。PA シリーズは機械本体をフルキャビンカバーで覆い、空調設備による室内の気流や白熱灯などの熱外乱を遮断している。PA05 は加工による発熱量もそれほど多くない為、カバー内部に断熱材を貼り付けた断熱構造としている。PA20 では逆に加工発熱によるキャビン内の温度上昇が局所的に起こらないように、キャビン後方へ空気の流れを作りキャビン内の温度を均一化しているのが特徴である。また、加工に伴って発生するカバー内の熱は加工液タンクとの間で循環する加工液に吸収させ、カバーの外に放出すると

図 2. PA05 外観

図 3 機械構造体水冷システム

同時に、Z 軸ベース・下部アームといった機械構造体には機械本体温度に同調制御された加工液を循環することで、上下相対変位を抑制している。

3.3 極細線対応ワイヤ自動供給装置

0.1mm 径以下の細線ワイヤを機械にセットする作業はかなりの熟練を要し、生産性を妨げる要因となっている。PA05 は、 0.03mm 径までの自動供給可能としており、細線ワイヤのセット作業に熟練を不要としている。

一方、加工形状が微細化するのに伴って、スタート穴の小径化が進んでいる。PA05 は、標準仕様で 0.3mm 径までの小径穴に対応しているが、さらに微細穴特殊仕様により 0.1mm 径前後のスタート穴径へも自動供給可能としている。

PA20 については、大物金型への適用を考慮し、高速ワイヤ自動供給装置「AT」を標準装備した。挿入時間 10 秒の高生産性と、水中結線/断線点挿入による錆の防止・液温変化の防止を図っている。

3.4 FS4 電源による超仕上げ加工

ワイヤ放電加工において、直流電源による加工では微小エネルギー領域において持続アークを阻止することが困難であり、加工液として水を用いるため、電解作用によって組織の欠落(チップ

グ)が発生するという問題がある。これに対して、交流高周波の正弦波を極間に加えることによって最良面あらさ $0.5\mu\text{m Ry}$ 以下の超仕上げ加工を実現した。高周波を使用することにより、単放放電エネルギーが小さいにもかかわらず、加工電圧・電流の極間共振状態を引き起こすことによって放電を発生し、亜鏡面加工を実現している。¹⁾

PA シリーズに搭載される FS4 電源は、従来の FS 電源に改良を加えタイコ形状を抑制する波形とし、真直精度・面品質を向上させ、特に厚板加工での加工性能を大幅に改善し、超硬 80mm 厚で面あらさ $0.5\mu\text{m Rmax}$ ・真直精度両側 $3\mu\text{m}$ を実現している。

3.5 SL 制御

板厚の変化がある面を仕上加工すると、段差部での筋の発生や、板厚に対応した凹凸が発生する。SL(Step Less)制御では、各板厚における放電ギャップを均一とする送り速度を与えることにより、段差を抑制し平面度及び真直性の向上を実現している。図4にSL制御時・非制御時のデータを示す。段差及びタイコ量を $2\mu\text{m}$ 以下に抑えることが可能となった。

EM(Entrance Master)制御は、加工のアプローチ部分で発生するヘソ(凹み)を低減し、凸状にも調整可能な制御である。これにより、磨き等の後工程を必要としない高精度な加工を実現している。

図5にEM制御・非制御時のデータを示す。

図4 SL制御時・非制御時の比較

図5 EM制御時・非制御時の比較

3.6 コーナー制御による精度向上

ワイヤ放電加工機において、インコーナーやアウトコーナーは加工量が急激に変化するため精度を出しにくい箇所である。

PA シリーズでは、加工量の変化をNC装置で内部演算し、これを加工に反映するコーナー制御(CM-R, CM-S)機能を備えている。CM-Rは主に荒加工用に用いられ、エネルギー制御モードと軌跡制御モードを持ち、薄板での高速加工・厚板での高精度加工など用途によって使い分けが可能である。CM-Sは仕上げ加工用に用いられ、前述のSL制御と組み合わせると、コーナー部分での形状精度が格段に向上する。

3.7 多彩なオプション機能

PA05にはより高精度な加工に対応する為、多くのオプションを備えている。

「超高精度パッケージ」は、 $1\mu\text{m}$ 以下の加工精度を要求する超高精度加工に対応した仕様である。適用範囲を限定($100\text{mm} \times 100\text{mm}$)し、その範囲での送り精度・真円精度を機械製作段階より厳しく管理している。また、加工液系液回路と共に、液排出/充填回路にも加工液温度制御装置(ユニットクーラー)を配置し加工槽内に供給される全ての液温を制御して、液温変化を最小限に抑えている。

「極細線パッケージ」は、従来の限界を超えた狭ギャップ加工を可能にする仕様である。IC リードフレーム金型で、仕上がり寸法 $55\mu\text{m}$ のスリット

加工を実現するため、ワイヤ走行系改良によりテンション変動を抑制すると共に上部 WG の構造を変更しダイヤモンドダイスと被工作物の距離をより近づけることにより加工スリット幅の最小化を図っている。

4. 加工事例

4.1 コネクタコアピン加工事例

図 6 にコネクタコアピンの加工事例を示す。従来の超高精度機に比べ、PA シリーズは加工精度が上回るだけでなく、トータル加工時間も大幅に向上している。高性能サーボ SL 制御とコーナーエクスパート機能により、仕上げ加工の形状誤差修正能力が向上し、従来よりも少ない仕上げ回数で超高精度な加工が可能となっている。

4.2 光コネクタ用微細穴加工事例

IC リードフレーム金型加工以外でもエレクトロニクス分野を始めとする製品のダウンサイジング化は著しく、こうしたニーズに対する加工事例を次に紹介する。図 7 は、光コネクタ用微細穴に対応したものである。FS4 電源を使用し、形状精度及び面あらさを向上させている。

ワイヤ：φ0.07BS
板厚：2.0mmt
面あらさ：0.8μmRy
形状精度：±1.5μm

図 6 コネクタコアピン加工例

ワイヤ：φ0.05SP
工作物：超硬 1.5mmt
面あらさ：0.8μmRmax
穴径：φ0.11mm
形状精度：±0.5μm

図 7 光コネクタ用微細穴加工例

5. むすび

以上、超高精度ワイヤ放電加工機”PA シリーズ”に搭載されている新技術と新機構をベースに、精密金型加工への適用事例を紹介した。市場はより極限を追求した機械を望んでいる。今後とも、製品の更なる改良と研究開発に努め、市場ニーズの変化に対応した製品開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 真柄卓司：半導体向け超精密ワイヤ放電加工機”PX05” 三菱電機技報 Vol. 75(2001) No. 7 pp. 15-18

(2002 年 10 月 16 日受付)