

## 難削材・高硬度材に対するペムテック社電解加工機の提案

### 1. はじめに

近年、世界的に航空機の需要が高まる中、自動車や駆動装置のエネルギー効率の向上に伴い、難削材、高硬度材、複雑形状ギヤ等の加工アプリケーションが増えている。航空機業界では旅客機に、宇宙産業では人工衛星やロケットといった飛翔体にその動向が伺える。これまで市場の開発・拡大は滞り、欧米の技術や産業規模に遅れを取っていた日本ではあるが、最近では衛星から得られるデータの質や量、解析技術が進歩し、その情報を用いたサービスやソリューションの提供が期待されている。また、比較的新規参入のしやすい小型衛星・ロケットの製造や技術開発にベンチャー企業が乗り出し、さらに増加することが見込まれる。

航空機や宇宙業界で活躍するエンジンは高温・高圧の条件で利用されるため、使用されるエンジン部品は耐熱性に優れるニッケル基合金やチタン合金などの難削材となる。また、自動車ではエンジン内が高温・高圧化するほど燃費が向上する。このため、自動車エンジン部品の一部はステンレス材から耐熱性に優れるニッケル基合金、チタン合金などの材料への置き換えが進んでいる。

これら難削材の切削は難しく、加工に時間がかかるだけでなく、工具の消耗も激しい。言い換えれば、5軸マシニングセンタの台数や使用する工具の本数に起因して製造コストが増す。工具の摩耗による製造管理も容易ではない。

そこで注目を集めているのが工具消費のない、切削と比較し加工も速い精密電解加工である。

本稿では電解加工の原理から、電極形状を維持する機能、電極を高速振動しながら再現性のある機械動作、加工ツールとなる安定した電解液の管理、後工程不要の仕上げ加工、加工事例について記述したい。

### 2. ペムテック社電解加工機

1960年代、工具が消耗しない魔法の加工機として電解加工の技術が注目され、国産電解加工機も登場した。しかし、電解液管理の難しさや精密加工ができないというところに、放電加工機の台頭もあり、日本の電解加工機メーカーは市場から撤退した。欧州ではロシアを中心に電解加工の研究が継続され、約20年前にフランスのペムテック社は電解加工とは異なる精密電解加工機を発表した(図1)。



図1: ペムテック社電解加工機 PEM800

### (1) ペムテック機の精密転写を実現した電極とワークのギャップの最小化

微細な形状の精密な転写には電極とワークのギャップを極限まで小さくすることが不可欠である。従来の電解加工機では電極とワークを 0.2mm 以上離すが、ペムテック社の精密電解加工機はその間隔を最小 0.01mm まで接近させる。両者間の距離が遠いほど、電極の形状転写は放射的になる。逆にその距離が短くなると直線的な転写が生まれ、加工の均一性が向上し、電極の形状や面精度に極めて近い微細な転写が可能になる(図2)。



図 2 コイン型の微細なストラクチャの転写

### (2) 電極が消耗しない電極形状の持続性

電解加工は電気ですべて金属を分解するものでファラデーの法則を利用する。これは身近な電気めっきの原理で、めっき処理品を陰極、めっきしたい金属を陽極にして電解する。電解液中の陽極に銅をいれておくと、酸化反応によりめっき液中に金属が溶解し、電解液に金属イオンができる。陰極側のワークでは還元反応が起こり、電解液中の金属イオンが電流によって電荷を失い金属になる。(図 3)

電解加工は電解液中に電極側をカソード(陰極)、ワーク側をアノード(陽極)として、電気反応を起こすことで加工をする。つまり、ワーク側が酸化反応で加工され、電極側は還元反応がおきるため太ることはあっても、電極消耗

が原理上発生しない。

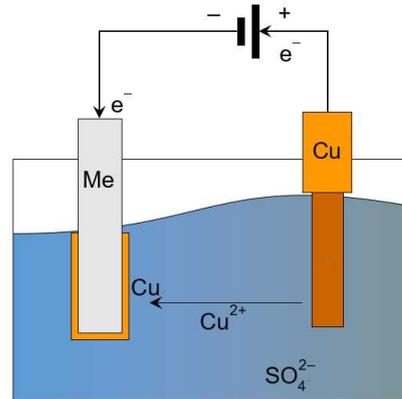


図 3 ファラデーの法則イメージ図

電極がめっきされることを防ぐため、電解液に流れを付け、溶解された金属イオンを加工エリアから排出する必要がある。ただし、電極には電解液が接触するため、長く使用している間に電極が還元反応する可能性がある。ペムテックは、任意のタイミングで、瞬間的に電極の極性を切り替え、電極を清掃することができる。この機能と電極消耗のない原理が、同じ電極の長期運用を可能にしている。

### (3) 振動減衰性があり熱変位に強い高剛性グラナイト機械ベース

アプリケーションにもよるが、電解液を電極とワークの隙間に満たし、金属イオンを含む電解液を電極とワーク付近から排出するため、封止治具を加工に用いることが多い。電気分解が続く金属イオンは一方で、加工の妨げとなるため電極は高速上下運動が必要となる。電解液に一定の圧力を加えた封止治具からの反発力と振動源が加工部に近いため、振動減衰性に優れた高剛性の機体構造が必要となる。ペムテック機は最小限コンパクトな門型構造をしており、グラナイトベースにすることで高い再現性の要になっている(図 4)。



図4 マシン内部

#### (4) 加工ツールである電解液の品質の徹底管理

電解加工液の取り扱いで重要な点は、温度と六価クロム、pH 値の管理である。電気分解加工では熱が発生しないため、電解液をチラーで安定した温度にする。クロムを含む素材を加工すると、六価クロムが電解液中に蓄積されていく。それをセンサで感知し、安全な三価クロムに置き換える機能が内蔵されている。加工の再現性を確保するには、指定の pH 値を維持していく必要がある。ペムテック機に内蔵された電解液タンクは(図5)加工中に pH 値が酸性、アルカリ性に変化しないよう防御し、適度な中性を維持する仕組みで、高精度で安定した加工を約束する。



図5 電解液タンク内部

#### (5) 後工程不要の仕上げ加工

切削であれば粗、中仕上げ、仕上げのような工程と工具が不可欠となる。放電加工においても、電極を粗、仕上げ、超仕上げといった工程ごとに工具を変える必要があるが、電解加工であれば、粗加工から仕上げ加工まで一つの電極で連続加工ができる。また、非接触での加工のためバリが発生することがない。さらに、加工中の電解液の温度は 20~50℃と低温なため、加工熱によりワーク表面の結晶構造が変化したり、マイクロクラックが発生することがない。後処理を必要としない加工面の面精度は電極の面精度に依存するが、Ra 0.03 $\mu$ m も達成可能である(図6)。



図6 貨幣の圧印金型

### 3. ペムテック社電解加工機の加工事例

以上、本稿では需要が増す難削材・高硬度材の効率的な加工法として、ペムテック社の電解加工機を紹介した。最後に図7～11で加工事例を紹介し、結びとする。

#### 加工事例1:航空用ブリスク

マシニングセンタで加工すると十数時間かかるものが、ペムテックは1時間以内で仕上げる。航空用のブレードやヘリカルギヤといったねじれ形状でもワーク取り付け側Z軸が回転することで加工可能。

- 材質:インコネル
- 加工時間:約50分



図7 航空用ブリスク

#### 加工事例2:製薬用タブレットパンチ

一つの電極で粗～仕上げ～磨きの工程が可能。製薬タブレットの打錠ピンや注射針など、バリを許さないアプリケーションにも実績あり。製造工程の削減に大きく貢献。

- 材質:ダイス鋼
- 加工時間:約15分



図8 製薬用タブレットパンチ

#### 加工事例3:特殊ベベルギヤ

切削加工で1個10時間要したワークを20分で4個同時加工。

- 材質:SUS440B
- 加工時間:5分/個(4個同時)
- 面粗さ:Ra0.2μm



図9 特殊ベベルギヤ

#### 加工事例4:バルブプレート

加工後の結晶構造に変化がなく高圧下での耐久性が実証され、ドイツ自動車メーカーのエンジンのダウンサイジングに採用。

- 材質:高炭素クロム鋼 SUJ2
- 加工時間:6秒/個(64個同時加工6分)



図10 バルブプレート 左)加工前/右)加工後

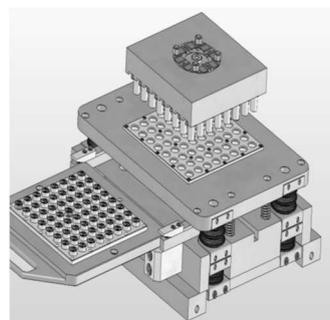


図11 ローディングパレット

以上