

机上工具測定技術がもたらす可能性*

Possibility of On-machine Tool Measurement Technology

長谷川浩幸**

Hiroyuki HASEGAWA

Key words tool, measurement, on-machine

1. 加工誤差を起こす要因とは

昨今の切削現場における流れは、ツールの小径化、それに伴う加工機械主軸の高回転化となっている。ツールの小径化が、先端座標やツール径の測定を困難にしている一方で主軸の高回転化は電気的な発熱あるいは摩擦熱の増加の原因ともなっている。同時に加工される製品の精密・集積化および精度は高くなる一方である。一見して相反する流れにある問題を解決するために、まず加工誤差がどのようにして起こるのかを復習したい。

① 主軸およびベアリングの熱変位

主軸が回転することで電気的な発熱あるいは摩擦熱によりツール先端の座標は変位する（Z座標が伸びる方向）。

同時にジャイロ効果で主軸が傾く（主にY軸方向）。

② 温度による筐体の変化

機械のベースを構成している部材は主に鋳鉄であるが、鋳鉄の線膨張係数は 11.55×10^{-6} （1mあたり1℃の変化で $11.55 \mu\text{m}$ 変位）である。例えば一般的な大きさの加工機械を例に挙げるとベースの高さを1.5mで計算すると環境温度が10℃変化した場合、 $11.55 \mu\text{m} \times 1.5\text{m} \times 10^\circ\text{C} = 173.25 \mu\text{m}$ 、約0.173mm変化することになる。

③ 摩耗による変位

ツールは加工と平行にそれ自体も磨滅していく、また摩耗による変位は表面精度だけでなく表面粗度、仕上がり状態にまで影響を与え、切削長（切削時間）に比例するので加工面積が大きい場合や、対象ワークが硬質な場合はこの変位を無視できない。

2. 精密加工に必要なものとは？

前述したように精度を不確実にする三大要素とは以下のとおりである。

1. 主軸およびベアリングの熱変位
2. 温度による筐体の変化

3. 摩耗による変位

しかし、逆に言い換えると、どのような状況にあってもツール先端とワーク（材料）の相関座標さえ確実なら狙い通りの加工が可能になるということになる。

今回、紹介するのは加工機に測定器を設置し、前述した3つの要因が起こす変位を実加工回転数で捉え数値として出力し、補正を行う手法である。現在までも接触式やレーザ光を用いた方式、一部画像を使用した方式が存在するが、全く今までの概念を変えた撮像方式（ダイナミックツールモニター）を軸に解説を試みる。

最初になぜ、この方式でなければならないのかを簡単に説明する。市場には比較的安価で接触式の測定用ツール（スイッチ）が存在するが、静止時にしか測定できず、回転し始めてから起こる熱変位は担保できないし、細い工具では破損の原因となるために使用できない。レーザ方式は光軸が80%程度遮光されたときにオンオフ出力を出すためにツールの形状や測定する場所によって工具長の位置が変わってしまう。

次に測定に画像方式を用いる場合であるが、画像においてもいくつかの方式が存在する。一番安価で簡便に開発・製作が可能な手法はライン CCD + 高速シャッターを用いるシステムである。ライン CCD 方式は測定において1本の線を設定し、その線が遮光されるピクセル数を数えて測長を行うシステムである。しかし、例えばボールエンドミルやテーパーエンドミルのように太さが均一でない場合、設定される線の位置によっては加工径にならず、また理論的に奇数刃の刃物の場合、どのタイミングでシャッターが切られても最大外形にはならない。

さまざまな方式を検証したが、どのタイミングでも確実に先端座標と径を導き出すためには、回転中の刃物の最外殻軌道（刃物の最大の稜線）の抽出と水や油、切子を排除するために形状を認識させ自動でトレースさせる残像方式以外にないという結論に行き着いた（図1参照）。本方式はイメージセンサーで取得される画像を連続的に蓄積し得られる残像（a）から、画像処理によって高速回転する工具の稜線を自動抽出するものであり、積算アルゴリズムに

*原稿受付 平成25年4月18日

**株式会社ジェイネット（埼玉県越谷市平方2083-1）

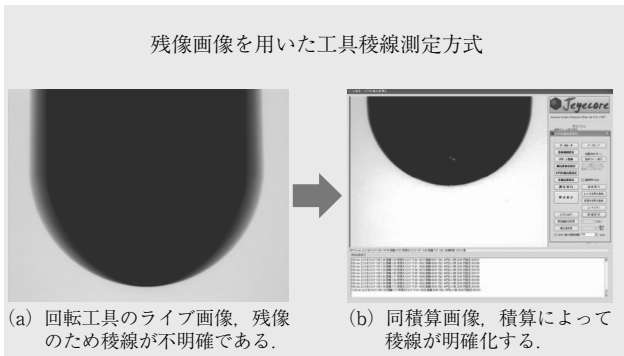


図1 積算方式による稜線の明確化

よって工具包絡面を確実にトレースすることができる (b).

ここまで原理的な解説をしてきたが、その結果、何ができるのかを考えていきたい。加工回転中のツール先端の座標、振れ周りを含む径、主軸の倒れを把握することができれば、結果的にどのような切削条件や温度環境にあっても狙い通りの精度加工が行えるということになるが、一番わかりやすい例は、加工段差の解消であろう。特に ATC 等の加工段差は、その後の仕上げなどで修正に大きな工数を取られ、納期や原価に大きな影響を与える。これを解決するにはツール先端の座標を正しく求め、ATC 後に加工回転数で主軸の伸びや倒れが止まる (サチュレーション) ポイントを探し、その後に補正を行い加工を行うことで実現できる。

3. 今後の加工における可能性

動的なツール先端の座標や振れ周りを含む径を正確に把握する手段を得て今後可能性の高くなったアプリケーションを考察する。

① 振れの全くない環境で加工を行う

ツール先端の振れは、ツール自体の振れ、ツーリングがもつ振れ、そして主軸がもつ振れが加算された状況下で発生する。逆に加工機械上でツールを加工回転数で回転させ横から回転させた砥石を当てて研削すると振れのないツールを作ることができる。実証実験では $310\mu\text{m}$ の刃物を購入し、上記の手法で $300\mu\text{m}$ まで研削し、振れ周りを最大で $0.24\mu\text{m}$ まで圧縮したツールと、 $300\mu\text{m}$ の市販の刃物にて溝加工を行い、比較を行った (図2 参照)。振れ周りが少ない刃物で切削した溝幅は $301\mu\text{m}$ で切削面は非常に綺麗な仕上がりであった (a) が振れ周りを含む刃物では双方の壁の間で振動が発生し、溝幅は $480\mu\text{m}$ 、切削面も粗く、同じ実験を繰り返し行った場合、刃物の寿命は $1/6$ であった (b)。

② 磨きレス化への応用

主に金型等を製作する場合、切削加工の後工程で磨きが行われることが多いが、例えば $0.5\text{mm}\phi$ の切削工具で形状加工を行った後にスクヤロップハイト分のみを同じ径の $0.5\text{mm}\phi$ 軸付砥石で磨くことができれば磨きの工数は格

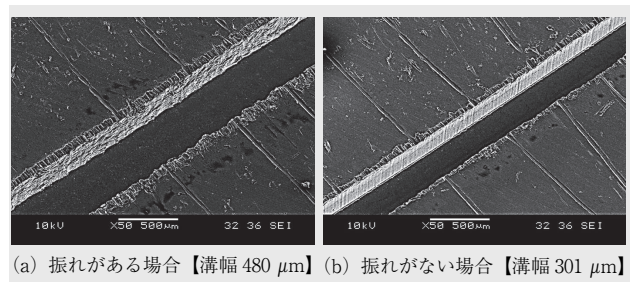


図2 工具振れ除去による微細ツール溝切削面の改善効果

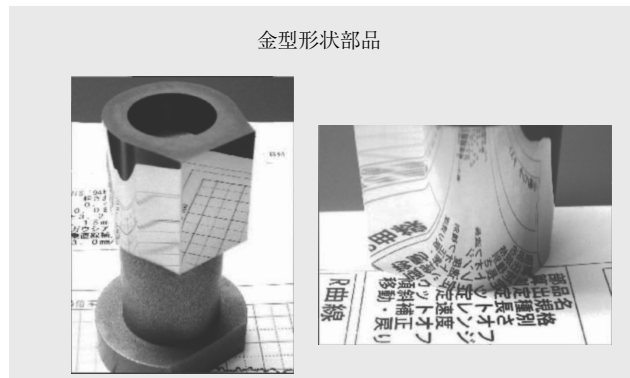


図3 金型形状部品磨きレス化への応用

段に改善される。

しかし、高番手の砥石におけるダイアの砥粒突出量は $3\sim 5\mu\text{m}$ であり、常にこのレンジ内で研削加工を行うことは難しく、かつ砥石に振れがあっても、この工程を行うことはできなかったが前述した機械上で振れ周りをなくす工程を行い、ツールの座標と径が把握できれば実現することが可能となる (図3 参照)。この工程でマシニングセンターにおいて超硬パンチを製作し表面粗さ $Rz40\text{nm}$ を実現した。

4. 総 論

現在までには完全に把握することが困難だった実加工回転中におけるツール先端の座標値、振れ周りを含めた径の把握が可能になることで、加工精度の向上、加工段差の解消のみならず、数多くの将来的なアプリケーションの可能性が開かれたように思う。かつて手動で加工を行っていたシステムから NC マシンへ進化したように、これらの技術を基にして次世代の技術革新やアプリケーションが確立されることを切望したい。



長谷川浩幸

1983年大学卒業後、大手計測器メーカーに就職、計測機器の開発に携わるが1997年に独立。主な研究テーマは画像を用いた測定器の開発関連。2005年第17回中小企業優秀新技術・新製品賞 技術・製品部門優良賞。2006年第一回渋沢栄一ベンチャードリーム賞。2007年埼玉県ベンチャー企業優良製品コンテスト優秀賞。