

自転／公転型研磨法の研究

1. はじめに

研磨加工は古くから軟質研磨工具を使い、加工対象と工具間に遊離砥粒を介して加工面の粗さを向上させる方法である。このため研磨加工中に加工エリア全面に安定的な除去量を得ることが難しく、その結果、長時間の研磨加工により前加工面の形状精度を低下させてしまう。近年、工作機械の進歩や加工技術の向上によってあえて研磨加工を行わずに最終仕上げとする手法もある。しかし、ますます高精度が求められる光学部品や次世代大型天体望遠鏡、衛星搭載科学探測機器、X線や中

性子などの量子ビーム光学系などの加工において、研磨加工はなくてはならない重要工程である。筆者は高精度光学部品の加工プロセスにおいて、高精度な形状加工に応用できる新しい研磨法として自転／公転型研磨法を提案した。本稿ではその原理、基礎実験結果について紹介する。

2. 自転／公転型研磨法の原理

図1に自転／公転型研磨法の原理を示す⁽¹⁾。パイプ状研磨ツールを用いて、その軸線周りに回転する自転運動を行う。ツール軸は、ワークの法線に対して少し傾いている。ツールの端面とワークの接触面の中心を通る軸周りに公転運動を同時に行う。自転軸は公転軸に対して θ だけ傾いており、この二つの軸は、同一の平面内にあるようにする。ツール面は円錐面ないし球面であり、ワークと接触するのは公転軸上の先端部である。また、公転軸がツールとワークとの接触領域の中心部を通り加工面に垂直となるように、ツールを調整する。このような構造とすることによって、研磨加工中にワークとの接触領域内のツールの走行軌跡の方向を連続的に変化させて、研磨軌跡の等方性と、軌跡密度の均一性を高めようというものである。また、研磨作用はツール自転によって円錐面ないし球面によってなされ、公転はツールの走行方向を連続的に切り替える働きをしている。公転のみでは接触領域の中心点では走行速度はゼロであり研磨は進行しがたい。パイプツールの肉厚が大きいとき、また自転軸と公転軸のなす角度 θ が大きいとき、ツールと工作物の走査停止時の接触領域は大きくなる。一方、このとき接触領域内の速度分布は広がり、軌跡密度の均一性は低下する。

走査を停止して、一カ所に一定圧力で研磨を継続すると、円錐面の母線(直線)で工作物に接触していたツールは、内半径側および外半径側の磨耗が進み、ツール・ワークの球面接触(面どうしの安定接触)に向かう。

3. 研磨効果

提案した新しい研磨法が安定的に実験できるように自転／公転型研磨ユニットの設計・製作を行った。また、提案研磨法の研磨性能を確認するために研磨実験を行った⁽²⁾⁽³⁾。ワークはSUS420材料を使用し、研削仕上げによって表面粗さがRa:2.3 μ m程度に仕上げられている。研磨特性および研磨エリアの安定性を明らかにするために一定時間で研磨した研磨痕を対象にし、非接触形状測定装置で測定した。

図2に測定した研磨痕の3-Dイメージを示す。測定データから研磨エリアの中心を通る断面プロファイルを取り出し、研磨痕直径および研磨深さを定義して、その変化を調べた。

図3に繰り返し実験した研磨エリアの直径と研磨時間の関係を、図4に研磨の除去深さと研磨時間の関係を示す。研磨エリア直径は研磨時間が経過するにつれて増加していることがわかる。各回実験でのばらつきは最大で5分間研磨のときに175 μ mであった。また、除去深さは研磨時間の増加につれて増加するが、5分間研磨以降増加量が低下している。これは研磨荷重が一定である状態で、研磨時間が進むとともに研磨エリアが大きくなっていくために、平均研磨圧力が低下していくことが原因と考えられる。また、研磨深さは5分間研磨のときは安定しているが、10分研磨以降ではばらつきがあり、15分間研磨のとき最大で4.9 μ mであった。

4. おわりに

本稿では、高精度修正研磨法として実用できる新しい研磨法—自転／公転型研磨法の紹介を行った。また、実際に自転／公転型研磨法ユニットを試作し、それによる検証試験を行った。基礎研磨実験により、自転／公転型研磨法の研磨安定性を確認し、修正研磨への実用が可能であることがわかった。

(原稿受付 2011年12月14日)

[林 偉民 群馬大学]

●文献

- (1) 上野嘉之・林 偉民・大森 整, 2006年度日本機械学会年次大会講演論文集, 4 (2006-9), 33-34.
- (2) 林 偉民・佐藤隆史・呉 勇波・山形 豊, 2009年度日本機械学会年次大会講演論文集, 4 (2009-9), 339-340.
- (3) 林 偉民・大村元志・藤本正和・呉 勇波・山形 豊, 2011年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, (2011-9), 125-130.

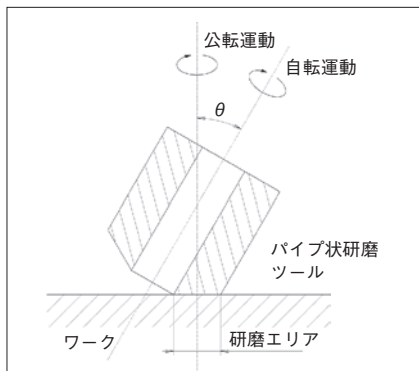


図1 自転／公転型研磨法の原理

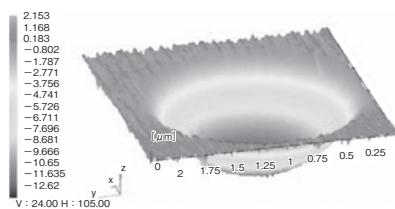


図2 研磨痕の3-D測定データ例

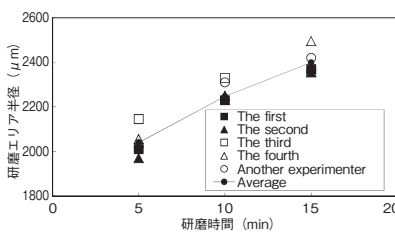


図3 研磨エリア直径の安定性

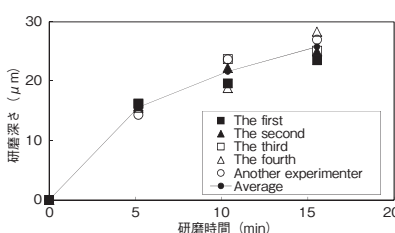


図4 研磨深さの安定性

加工中工作物とツールの接触領域内加工面の任意の一点を過ぎるツールの走行方向はすべての向きに変化し、その周期は公転の回転周期であり、その軌跡は、接触領域全体にわたって等方的で均一である。また、その点を単位時間当たりツールが通過する距離(軌跡密度)は、ツールの平均半径における周速であって、全面均一である。この均一等方性によって、加工面があらゆる方向に研磨されるので、表面あらかの向上が期待できる。また、軌跡密度も均一であるところから、接触領域全面に均一な研磨除去量が発生して、研磨能率も良好かつ安定であると期待できる。さらに、研磨ツールが時間とともに摩耗した場合でも、自転軸方向に一定圧力でツールを押しつけておけば、接触面積が一定に保たれ、研磨条件の安定化が期待できる。