

完全非接触 XY 平面位置決めテーブルを用いた微細加工

1. はじめに

近年、超精密・微細加工に対する要求は年々厳しくなり、運動精度向上のため位置決めテーブル系を完全非接触構造とする超精密加工機も登場してきている。しかし非接触構造の採用により無負荷時の運動特性は向上するものの、加工力などの外乱に対しては機械的拘束および減衰がないため留意する必要がある。

本稿では、筆者の研究グループで行っている、超精密加工機を対象とした完全非接触 XY 平面位置決めテーブルを用いた微細加工について紹介する。

2. テーブル構造構成

図1は開発した完全非接触 XY 平面位置決めテーブルである。従来の XY テーブルのように機構を重ねる構造ではなく一つの正方形アルミセラミックスが可動テーブルであり、底面に5個の真空吸引形多孔質空気軸受、テーブル各辺に2個ずつ計8個のボイスコイルモータを有することで、完全非接触で支持および駆動を行っている。また XY 両方向とも完全軸対称構造となっており重心駆動と安定構造を両立している。したがって本テーブルシステムは従来機構と比較して誤差要因を大幅に排除しており、制御モデルの構築およびパラメータ同定も容易である。その結果、位置決め制御は PID 制御および加速度フィードフォワード制御のみのシンプルな構成で行っている。さらに加工力外乱に対しては、外乱オブザーバを用いて推定した加工力をフィードバックすることでその補償を行う。本機構は誤差要因が皆無で非常にシンプルな系であることから、外乱オブザーバの設計も容易である。

3. 駆動特性評価結果

図2は非加工状態で各駆動軸に順次微小ステップの指令値を与えた際の応答結果である。各軸とも明確にナノメートルオーダーの指令値に追従するとともに、駆動軸間の干渉が存在しないことが確認できる。

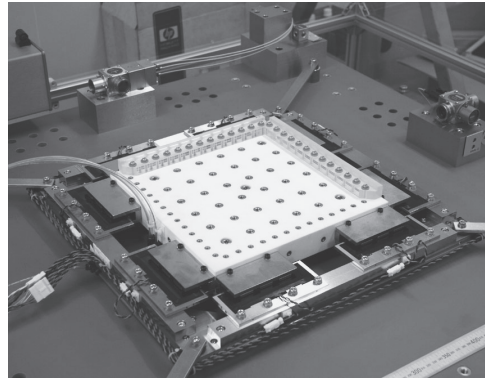


図1 完全非接触 XY 平面位置決めテーブル

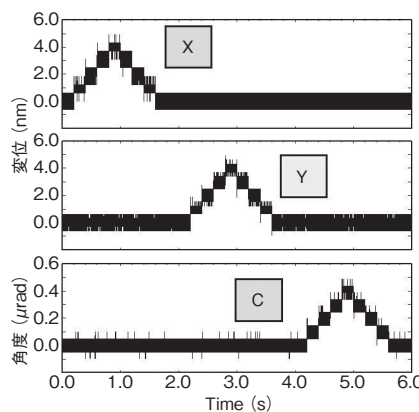


図2 微小ステップ駆動応答

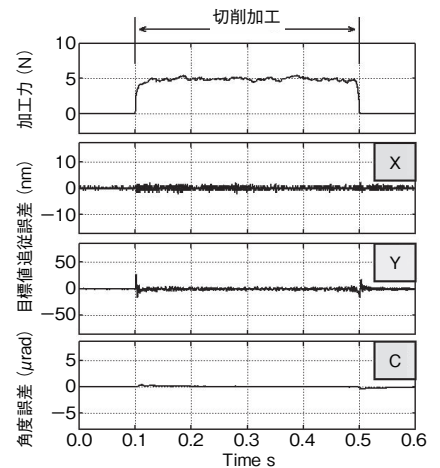


図3 加工力と目標値追従誤差

さらに切削力作用下でのテーブル駆動特性および加工特性を評価するため、実際に微細加工試験を行った。図3はテーブルに無酸素銅を固定し、ダイヤモンド工具 (R0.8) により Y 方向に引き切り加工を行った際の切削力と目標値追従誤差である。図より切削方向である Y 軸方向においても加工中の目標値追従誤差が効果的に抑制され、加工中においてもナノメートルオーダーの駆動が実現している。加工面を SPM で観察した結果、表面粗さは Ra3.2nm であった。さらに硬ぜい性材料である WC の切削試験を行ったところ、流れ形の延性モード切りくずを確認したことから、開発したテーブルは非接触構造ながら十分な剛性を有していることを確認した。

4. おわりに

完全非接触位置決めシステムにおいては外乱応答特性に留意する必要があるが、非接触であれば位置決めシステム自体に内包される誤差要因は少なく正確なモデル化が容易に行えるため、制御系により微細加工時に位置決め特性を向上することが可能である。今後は運動特性と加工面性状の関連性について詳細に検討する予定である。

(原稿受付 2007年11月2日)

[吉岡勇人 東京工業大学]

●文献

- (1) Shinno, H. ほか, A Newly Developed Linear Motor-Driven Aerostatic X-Y Planar Motion Table System for Nano-Machining, *Annals of the CIRP*, 56-1 (2007), 369-372.
- (2) Shinno, H. ほか, X-Y-θ Nano-Positioning Table System for a Mother Machine, *Annals of the CIRP*, 53-1 (2004), 337-340.