

複合加工機における円錐台精度検査の検証

大阪工業大学 ○辻 和孝, ◎井原 之敏

要 旨

近年、部品の複雑形状化が進み、工程集約のため複合加工機の需要が増加している。一方で複合加工機の精度検査試験については未だ規格化されておらず、ISO10791のマシニングセンタの精度検査規格またはISO13041のターニングセンタの精度検査規格を適用することができる。本研究では、ISO10791-6:2014に記述された円錐台精度検査を行い作業上の問題点及び運動精度の評価方法について報告する。

1. 緒 言

近年の工作機械は技術の発展にともない高速かつ高精度な加工が要求されている。また製品の複雑形状化に伴い、部品を製造する工作機械においても複雑形状の部品を1チャックで加工できる工作機械が求められている。その中で複雑形状の加工、工程集約に対応できる複合加工機が注目され、需要が増加している。しかし、複合加工機の精度検査試験については未だ規格化されておらず、機械の構造上ISO10791 (JISB6336) のマシニングセンタの精度検査規格、またはISO13041 (JISB6331) のターニングセンタの精度検査規格を適用することができる。

そこで本研究では、ISO10791-6:2014¹⁾を複合加工機で行い、作業上の問題点及び運動精度の評価方法の検討を行うことを目的とする。

2. 円錐台精度検査

2.1 補間運動精度検査

NAS979の円錐台加工検査は、円錐台形状をエンドミルで加工し、その加工物を測定して精度評価する検査である。しかし、現在の様々な構造の5軸マシニングセンタに適用することが困難である。そこでNAS979を改良した検査方法がISO10791-6の補間運動精度検査とISO10791-7の工作精度検査に規定された。

ISO10791-6の補間運動精度検査には5軸マシニングセンタの構造別に附属書が用意されている。本研究で使用した測定対象機である複合加工機の機械構造は、工作主軸に加え、工具主軸側に旋回軸を持っていることから混合形と見ることができる。そこで本研究では、ISO10791-6 CK3のボールバーを用いた円錐台精度検査を適用する。設置条件には、円錐の頂角 30° (半頂角 15°) のとき傾き角 10° 、頂角 90° (半頂角 45°) のとき傾き角 15° と定められている。設置条件をFig. 1, Fig. 2に示す。またテーブル中心から円錐台底面中心までのオフセット値はテーブル直径の10%、周速は $1000\text{mm}/\text{min}$ 、測定方向は時計回り、反時計回りと定められている。

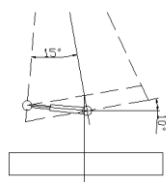


Fig. 1 Apex angle 30°

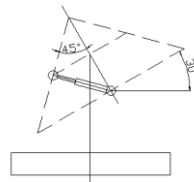


Fig. 2 Apex angle 90°

2.2 工作精度検査

円錐台加工試験であるISO10791-7 M3の設置条件をFig. 3に示す。円錐台の半頂角を θ 、厚さを t 、底面の直径を D 、傾きを β 、テーブル中心から円錐台底面中心までのオフセット値を d とする。検査条件と

して(1) $\theta=15^\circ, t=20\text{mm}, \beta=10^\circ$, (2) $\theta=45^\circ, t=15\text{mm}, \beta=30^\circ$ の2種類があり、共通する条件として $D=80\text{mm}$, d =(テーブル直径の25%)となっている。

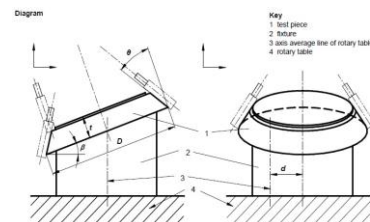


Fig. 3 Diagrams of workpiece of cone frustum cutting

3. 測定装置

本研究では測定装置としてRENISHAW製のQC20-Wボールバーシステム(以下ボールバー)を用いた。ボールバーとは、2つの球とそれらの距離を測定する変位計を内蔵した棒からなる測定装置のことである。チャック側と工具主軸側に球を取り付け、2つの球の距離を一定に保ちながら円弧運動をさせる。その時の工具主軸とチャックの相対位置を測定し、誤差軌跡形状を取得することができる。

測定の際に使用するNCプログラムは表計算ソフトウェアを用いて微小線分分割で作成した。

4. 測定対象機

本研究で使用した測定対象機は、X, Y, Z軸の直進軸3つに加え、Y軸周りに工具主軸を回転させるB軸、工作物をZ軸周りに回転させるC軸を持つ複合加工機である。直進軸の最大動作範囲は、 $X=380\text{mm}$, $Y=\pm 105\text{mm}$, $Z=460\text{mm}$ となる。その軸構成をFig. 4に示す。

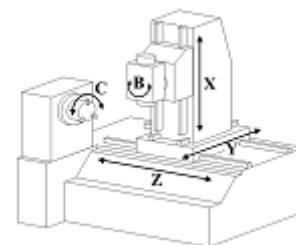


Fig. 4 Axis configuration of multi-tasking machine tool

5. 複合加工機に適用する上での問題点

2.1節で述べたようにテーブル中心から円錐台底面中心までのオフセット値はテーブル直径の10%と定められている。しかし、本研究で使用した複合加工機はテーブルではなくチャックが取り付けられているので、オフセット値はチャックサイズの10%である 17mm とした。

次に設置条件は、半頂角 $\theta=15^\circ$ 、傾き角が $\beta=\pm 10^\circ$ と半頂角 $\theta=45^\circ$ 、傾き角が $\beta=\pm 30^\circ$ の計 4 種類あると考えられた。これらの各条件を適用する前に、NC プログラムを作成するときに用いる微小線分割プログラムから測定時に工具先端に取り付ける球中心の位置を計算し、直進軸と旋回軸の位置を求めた。結果を Fig. 5~Fig. 8 に示す。X 軸の移動限界である C 軸中心から +330mm と -50mm を黒線、B 軸の移動限界である $\pm 120^\circ$ を赤線で表している。

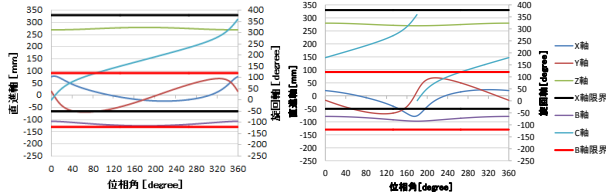
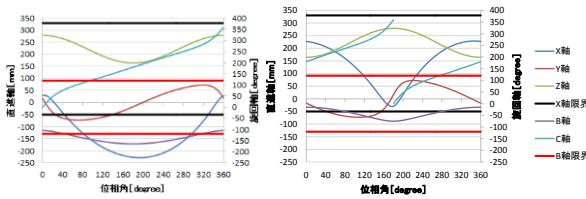
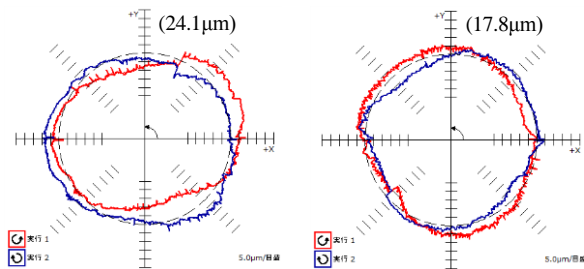
Fig. 5 $\theta=15^\circ$, $\beta=10^\circ$ Fig. 6 $\theta=15^\circ$, $\beta=-10^\circ$ Fig. 7 $\theta=45^\circ$, $\beta=30^\circ$ Fig. 8 $\theta=45^\circ$, $\beta=-30^\circ$

Fig. 6 において位相角 140° 付近から 200° 付近の範囲で X 軸の移動限界 -50mm を超えていることが分かる。Fig. 7 では位相角 45° 付近から 320° 付近の範囲で B 軸の移動限界 -120° を超えており、位相角 45° 付近から 330° 付近の範囲で X 軸の移動限界 -50mm を超えていることが分かる。Fig. 5, Fig. 8 ではすべての軸で移動限界を超えていない。このことから、半頂角 15° 、傾き角 10° 、半頂角 45° 、傾き角 -30° の 2 条件を測定対象機に適用できることを確認した。

6. 円錐台精度検査の結果及び考察

6.1 各軸の運動方向の切り換わりによる測定結果の影響

半頂角 15° の測定結果を Fig. 9, 半頂角 45° の測定結果を Fig. 10 に示す。括弧内には真円度を示す。

Fig. 9 Half apex angle 15° Fig. 10 Half apex angle 45°

得られた誤差軌跡から CCW, CW の両方向位置決めが悪く、また多くの突起が発生していることが分かる。そこで大きな突起の原因を 5 章で述べた各軸の位置 Fig. 5, Fig. 8 を用いて考察する。Fig. 9 の位相角 0° 付近と 180° 付近で発生している突起は、Fig. 5 より B 軸・Z 軸の運動方向が切り換わる位置と一致している。また位相角 65° 付近で発生している段差は Y 軸の運動方向が切り換わる位置と一致している。Fig. 10 の位相角 0° 付近で発生している突起は、Fig. 8 より B 軸・Z 軸の運動方向が切り換わる位置と一致しており、位相角 220° 付近の段差は Y 軸の運動方向が切り換わる位置と一致している。このことから、各軸の運動方向の切り換わりが突起・段差に影響していると考えられる。

6.2 ボールバーの方向に関する考察

測定時におけるボールバーの方向は刻々と変化するため、ボールバーの方向が Fig. 9, Fig. 10 に発生している突起や段差の大きさに影響していると考えたので考察を行う。半頂角 45° の条件での YZ, ZX, XY 平面において工具主軸側とチャック側の球の軌道と、位相角 90° ごとのボールバーの方向を Fig. 11 に示す。

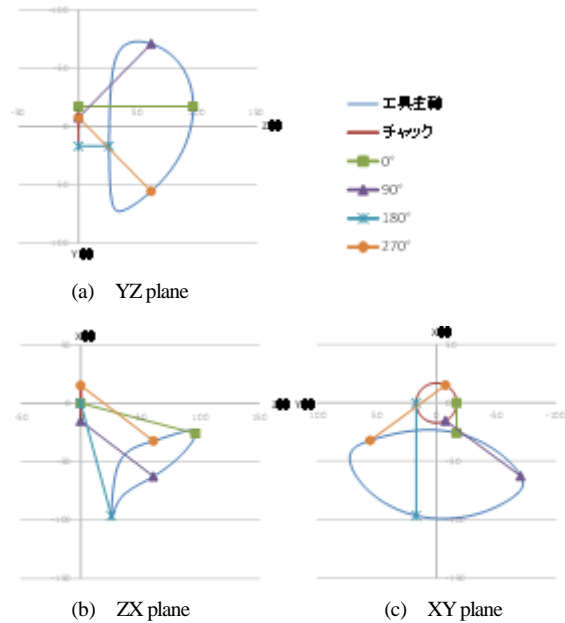


Fig. 11 Direction of the ball bar in each plane

Fig. 10 において位相角 0° , 180° 付近の突起は、B 軸・Z 軸の運動方向が切り換わる位置で発生している。Fig. 11 から位相角 0° のときのボールバーは Z 軸にほぼ平行なのでボールバーの感度が Z 軸方向に良いことが分かる。また位相角 180° のときのボールバーは X 軸にほぼ平行なのでボールバーの感度が Z 軸方向には悪いことが分かる。B 軸の反転位置決め誤差は、Fig. 11 からボールバーが Y 軸にほぼ平行となる状態が見られないので、ある程度の影響が現れることが分かる。これらのことから、位相角 0° 付近では Z 軸及び B 軸の運動方向の切り換わりによる影響が現れ、位相角 180° 付近では B 軸の運動方向の切り換わりによる影響が大きいと考えられる。半頂角 15° の条件での図は省略したがボールバーが位相角 0° , 180° で X 軸方向にほぼ平行となるので、B 軸の反転位置決め誤差がある程度現れる。

7. 結 言

- 1) 中型の複合加工機に ISO10791-6 に規定されたボールバーを用いた円錐台精度検査が適用できた。
- 2) 工具先端に取り付ける球の測定時の位置をあらかじめ求めることで適用できる測定条件を確認した。
- 3) 誤差軌跡に現れる突起、段差は、各軸の運動方向の切り換わり、ボールバーの方向が影響していることを確認した。

参考文献

- 1) ISO10791-6:2014, Test conditions for machining centers- Part6: Accuracy of speeds and interpolations.
- 2) ISO10791-7:2014, Test conditions for machining centers- Part7: Accuracy of finished test piece.