122 マシニングセンタにおけるすべり案内の性能の変遷

A Performance Transition of Friction Guideway in Machining Centers

○正 井原 之敏 (大阪工大) 新家 秀規 (森精機)
杉本 好昭 (森精機)

Yukitoshi IHARA, Osaka Institute of Technology, Omiya 5-16-1, Asahi-ku, Osaka
Hidenori SARAIE, Mori Seiki Co., Ltd.
Yoshiaki SUGIMOTO, Mori Seiki Co., Ltd.

Friction (hydrodynamic) guideways have been used as a feed drive system of traditional NC machine tools, such as machining centers. It is known that the machine that has this type of guideways is good for heavy cutting. On the other hand, it has more friction, and so the driving system has larger lost motion, in consequence, positioning accuracy can be worse without linear encoder feedback. Recent friction guideway design has been dealing with the friction decrease. This paper describes the comparison of motion accuracy (mainly the amount of lost motion) of the machines built in these ten years by using circular test measurement.

Key words : Friction Guide, Machining Center, Lost Motion, Circular Test

1. はじめに

マシニングセンタ送り駆動系には従来からすべり (動圧) 案内が使われている。すべり案内は転がり案内の機械と比べて減衰が大きいため重切削に耐え得ることが知られている。一方、摩擦が大きく両方向位置決め誤差 (ロストモーション) が大きくなるため、セミクローズドループ制御時には位置決め精度が心配される。

本研究では、最近の設計によるすべり案内の摩擦の減少を確認するために、過去十年ほどにわたっての機械の運動精度をボールバーを用いて測定し、主にロストモーション量について比較した結果を報告する。

2. 送り駆動機構とロストモーション

2.1 ボールねじ送り駆動系

マシニングセンタの送り駆動系には従来回転型サーボモータとボールねじが使用されてきた。最新の技術によるリニアモータを用いた送り駆動系も最近では採用されるようになってきたが、主としてコスト面で不利であるためまだ採用例は少ない。

送り駆動系では両方向位置決め誤差 (ロストモーション) が問題となる。一般的にはバックラッシュという名前で知られているが、実際にはガタが存在することはほとんどなく弾性変形と摩擦により生じる。ロストモーションをなくすにはリニアエンコーダを取りつけてクローズドループ制御を行うのが最善であるが、コストの上昇を伴う。そのためNC装置にはごく初期のものから「バックラッシュ補正」という機能が存在して、運動方向を検知して位置を補正している。

ロストモーション(LM)は弾性変形と摩擦により生じるので、

(1) 送り速度の変化→摩擦力の変化→LM 量の変化

(2) 位置の変化→ボールねじ長さの変化

→ボールねじ剛性の変化→LM 量の変化

が生じる。(1)についてはかなり前から早送り(G0)と切削送り(G1)とで補正量を変えて対処している。(2)については位置が変化してもボールねじ剛性が変化しないようにボールねじの両端を固定 (ダブルアンカ) にすることで変化量が少なくなるが、ボールねじの熱膨張や軸受ブラケットの強度の関係もあり、一端固定他端支持 (シングルアンカ) も依然多

く使用されている。

2.2 案内

ボールねじによって送られる構造体を支える面は、すべり (動圧) 案内とボールやローラを用いたころがり案内の2種類が多く使用されている。ころがり案内についても使用するガイドの種類によってかなりの摩擦の大小がある。近年ではターカイトを摺動面に貼りつけることによってすべり案内の摩擦はかなり減少した。

2.3 サーキュラテスト

静止時のロストモーション量の測定は、ステップゲージとダイヤルメータや、レーザ干渉測長器によって測定される。ただしこれでは切削送り中の動的なロストモーション量が測定できない。

JIS B 6194 に規定されているサーキュラテストはNC工作機械の送り運動精度を測定できる。測定は機械に円弧補間送りを与え、測定器が真円からの偏差を測定する。偏差量を拡大して極座標表示すれば、一般的なセミクローズドループ制御の機械の測定結果では図1のような形状が得られるが、ここで縦軸・横軸と交わる時の軌跡の段差がロストモーション量の2倍となって現れる。

Fig. 1 Example of circular test trace

ただし、一般に使用している状態では上述のようにバックラッシュ補正を行っているため、実際の機械のロストモーション量はバックラッシュ補正量を加えたものである。

測定時の運動は円弧補間送りであるため、実際に機械の軸の運動方向が反転するときには指令送り速度よりもかなり低速である。また当然円弧半径にも依存し、半径が小さければ反転速度（加速度）は大きくなる。測定可能な半径・送り速度は測定装置に依存する。

3. エア・オイル半浮上摺動システム

半浮上摺動システムは、摺動面にオイルエアを供給することにより摺動抵抗を軽減するものである（図2）。潤滑油／エア供給量、及び油溝形状の最適設計により、切削能力を犠牲にすることなく、摺動抵抗の低減と摺動面に負荷する面圧荷重の均一化を図ることができる。これにより、ロストモーション量が低減しスティックスリップを防ぐと共に摺動面の偏摩耗を抑制し、微細送りと高精度位置決めを長期間に渡り、初期の状態のまま維持することが可能となった。

送り速度は従来機より高くすることができ、重切削能力もそなえている。現在、多くのメーカーで本手法の類似技術が採用されている。

Fig. 2 Slide way floating system

4. 測定装置と方法

4.1 被測定機械

一般的なすべり案内の機械として、中型のマシニングセンタを立て形(V1~V3)、横形(H1~H3)とも各3台ずつ測定した。各機械の製造年月、軸移動量を表1に示す。一部の機械はリニアエンコーダが取り付けられていたが比較のためセミクロースドループ運転を行って測定した。

Table 1 Specifications of measured machines

Name	Produced date	Stroke [mm]		
		X	Y	Z
V1	Sep. 1986	1270	650	650
V2	July 1996	1524	650	650
V3	Oct. 1998	1530	660	650
H1	Mar. 1990	1000	850	750
H2	Nov. 1993	1000	850	920
H3	Nov. 1998	1000	850	920

4.2 測定装置と測定条件

ボールバー測定装置はHeidenhain製DBB 110を使用した。球中心間距離 R は200mm、送り速度 F は基本的に500mm/min、2500mm/minの2種類とし、状況に応じてそれより速い送りも使用した。測定位置はワーキングエリアのほぼ中心とし、測定器のセットアップが一回で済むようにXY平面については360°、YZ、ZX平面については180°の測定を行った。

5. 測定結果と考察

横形の機械について、サーキュラテストで得られた軌跡の段差とNCのバックラッシュ補正から得られたロストモーション量を表2に示す。

これらの機械はコラム移動であり、Y軸の移動重量がかなり大きい。古い設計の機械(H1)では、Y軸のロストモーションが大きいのみならず、Y軸位置が異なればロストモーション量がかなり違うことを示している（図3）。これは上述のように剛性に関与するボールねじ長さが異なるためである。新しい機械では半浮上摺動システムのおかげでロストモーション量が小さくなっている。また、機械H2はH3と同型機で、5年ほど長く使用されているにもかかわらず、両者のロストモーション量はほとんど差がない。これは本案内システムの長期間に渡る安定性を示している。

立て形の機械についても同様の傾向を示した。

Table 2 Amount of lost motion on horizontal machines unit: μm (blank: not measured)

Name	Feedrate [mm/min]	Axis			
		X	+Y	-Y	Z
H1	500	4	15	23	8
	2500	3	12	15	7
	4000	2	9	11	
H2	500	2.5	1.5	0	7
	2500	2	1	0	5
	5000				3
H3	500	4	3	1	7
	2500	2.5	2.5	0	9

Fig. 3 Measurement result on machine H1 (Backlash compensation is not optimized)

6. まとめ

本研究では、過去約10年間にわたって製造されたすべり案内のマシニングセンタについて、サーキュラテストを行うことによりロストモーション量の測定を行った。その結果、最近の「エア・オイル半浮上摺動システム」の採用により、すべり案内ではあるがかなりのロストモーション量の減少が確認できた。