TOPICS

5 軸制御立形マシニングセンタの開発

1．はじめに

部品加工だけでなく金型加工でも 5 軸加工機を使用することが増えている．回転 2 軸を割り出して（固定して）直線 3 軸で加工する場合，回転 1 軸のみ割り出して直線 3 軸と回転 1 軸で加工する場合，回転 2 軸と直線 3 軸を同時に動作させ加工する場合などがあり，高精度と動作の俊敏さが要求される．いずれの加工にも対応するように開発した 5 軸立形マシニングセンタ D500 の主要技術である回転軸ユニットの開発コンセプトと性能を紹介する．

2．5軸加工機D500の仕様(図1)

直径 650mm，高さ 500mm，350kg のワークを加工できるテーブル旋回タイプの機械である．表 1 に 5 軸制御立形マシニングセンタ D500 の仕様を示す．

3．回転軸の開発コンセプト

従来の 5 軸加工機では精度は直線軸よりも回転軸のほうが劣っていた．回転割出し角度誤差は 1 000 分の数度が一般的で，とくに割り出して加工する場合には加工段差の原因となるのでこれを減少させる必要がある．直線軸は 1μm の精度を出すためには直線方向に 1μm に制御すればよいが，回転軸の角度誤差で生じる位置誤差は回転中心からの距離に比例するので，加工位置が回転軸から遠くなるほど精度は劣化する．たとえば回転割り出し角度誤差が 0.0015 度だとすると，回転中心からの距離が 100mm の位置で 2.6μm の位置誤差となる．200mm の位置だと 5.2μm となり，300mm では 7.8μm となる（図 2）．

次に，直線軸や回転軸がともに高速送りが可能で，かつ微小送り時の高い追従性が必要である．とくに同時 5 軸加工では直線軸の動きは微小でも回転軸が大きく動く指令や，その逆の動作指令がある．送り速度は同時に動いている軸の中で限界速度に達している軸で制限を受ける．一般的に回転軸の速度が不足して指令した送り速度が出ないことが多い．従来機の送り速度は直線軸が 50m/min，回転軸が 12rpm が最大で，回転中心から 300mm の位置では直線軸が 23m/min の制限を受けていた．また，高速に動いても指令位置に追従できる制御（スーパーGI 制御）や微小な指令でも忠実に動く機械特性も必要である．

さらに，回転軸の加速度が直線軸の加速度と同等に俊敏である必要がある．同時 5 軸加工の場合は微小移動指令の連続になり，短い時間で動作方向を変える指令や加工点はほとんど移動しないが工具の姿勢方向が大きく変わる指令が多い．回転軸の加速度も中心からの距離に比例して増減するが，一般的に加速度は直線軸に比べ回転軸のほうが上がらず，多くの加工においては回転軸の加速度不足が加工速度の上がらない主因だった．

また，回転軸が傾斜した場合の積載するワーク質量による構造物の変形誤差，加工力がワークにかかるときの変形誤差に対して十分な剛性を持つこと，加工振動を受けたときの耐びびり性能が 3 軸機と同等であることが望まれる．

D500 のトラニオンタイプ（テーブルの両側で傾斜軸を支える方式）の回転軸ユニット構造は，大きなワークを積載しても変形しにくい構造である．これは同じ断面剛性を持つ構造なら片持ちよりも両端固定で支持するほうが曲げ変形は 1/8 になり，ねじりによる変形も 1/2 になるためである．両側の傾斜支持軸および旋回軸に備えた大型の DD モータは大きなトルクを持つので，常用する加工領域内で直線軸と回転軸の速度や加速度のバランスが取れて実加工速度を大幅に向上できた．それぞれの DD モータに直結した精密な回転角度検出器は，ワークがアンバランスな場合や加工力が回転軸に対して偏荷重になる場合でも必要十分なトルクを DD モータに指令するので，余分なトルクで構造物をねじらず変形誤差が小さい．

4．性能検証

D500 は，図 3 に示すように従来機と比較して速度や加速度が飛躍的にアップした．また，ワークを積載したときと無負荷時での割り出し角度誤差は＋/－0.001 度以内であった．直線軸では 1μm の微小指令に対して遅れることなく追従し，最大でも 0.3μm 程度の誤差しか生じない．また，回転軸は 0.0001 度の微小指令に対し，ため送りすることなく移動することを確認した．同時 5 軸加工であるアルミのϕ250mm コーン加工で 2.9μm の高精度な真円度を達成した．これまでの DD モータ付 5 軸加工機ではできなかった重切削がブレーキなしで可能になった．一例として 300kg の S55C のワークを積載し，テーブル面から 450mm の位置において F=140mm/min の送り速度でϕ40mm スローアウェイドリル加工が可能である．

5．おわりに

さまざまな加工分野で使用できる 5 軸制御立形マシニングセンタ D500 の回転軸について紹介した．さらに重いワークでの高精度を実現，さらに軽いワークでの高速化，回転軸の旋削機能など多岐にわたる要望がある．高精度化，高速化，多機能化のバランスを取りながら，ユーザの満足を得るべく新たな仕様の開発をすすめる．

（原稿受付　2008 年 9 月 26 日）

〔小池伸二（株）牧野フライス製作所〕

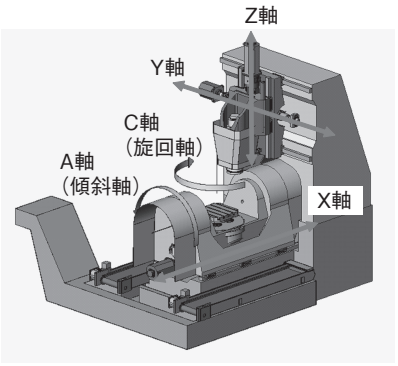


図 1　機械本体の軸構成

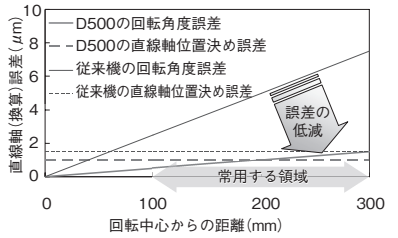
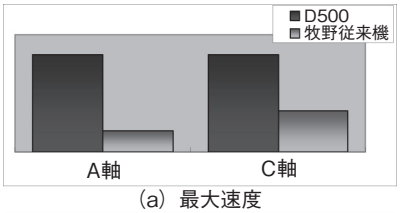
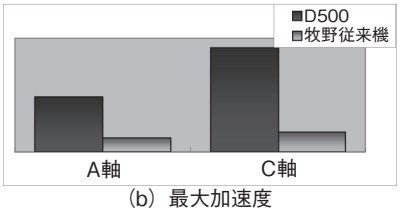


図 2　直線軸と回転軸の誤差の関係



（a）最大速度



（b）最大加速度

図 3　回転軸の最大速度と最大加速度の比較

表 1　D500 の機械仕様

機械ストローク	直線軸（X,Y,Z）	550x1 000x500mm
	回転軸（A,C）	A ＋30°～－120°，C 360°
早送り速度	直線軸（X,Y,Z）	48/50/50 m/min
	回転軸（A,C）	18 000dpm（50min－1）
ワーク	最大サイズ	ϕ650mmx500mm（制限有）
	積載質量	350kg

●文　献
（1）小池伸二・ほか，5 軸制御立形マシニングセンタ D500，型技術，**23**-14（2008），52-53.