

金型加工用立形マシニングセンタ DCV50の開発

Vertical Machining Center DCV50 for Die Mold Cutting

横本 俊雄*1
Toshio Yokomoto

本多 秀*2
Shigeru Honda

佐藤 欣且*2
Yoshikatsu Sato



立形マシニングセンタが主に利用される国内の金型加工業界においては、安価な中国製品の台頭に対して優位性を保つため、複雑で高精度な金型を短納期にて製作することで対応してきた。工作機械メーカー各社はその要求に応えるべく、様々な複雑な機能を搭載したマシニングセンタを投入してきたが、必ずしもユーザの満足を得るには到っていない。現在の金型加工における要求事項から機械コンセプトを再考した結果、シンプルな構造ながら安定した高精度加工が可能なマシニングセンタDCV50の開発に成功したので、その概要を紹介する。

1. はじめに

日本の金型産業や付加価値の高い部品加工業界では中国の台頭に対抗するため、より高精度で複雑な部品を短納期で製作することで生き残りをかけているが、その加工精度と短納期にどれだけ対応できるかの鍵は、マシニングセンタの能力に影響されるものが多い。当社においては“Σシリーズ”のシリーズ名を持つ立形マシニングセンタM-VΣを市場投入してきたが、高精度に必要と考えられる複雑な機能すべてを搭載しているため、価格面を含めるとハイエンドの要求に対して必ずしもユーザの満足を得ることができていない。そこで今回はユーザのニーズに応えるため今までの機能を見直し、シンプルな構造ながらVΣと同等の長時間安定した高精度加工が可能なマシニングセンタを開発した。本論文ではユーザニーズと、それに対する対応技術について述べる。

1.1 最近の金型加工への要求

日本における金型加工は全体的にワークは小型化している反面、要求精度、納期が厳しく、段取作業の集約や高速主軸による仕上レス加工、ワーク交換の自動化やIDチップによるワーク管理など様々な面で新しいツールを導入することで高精度、短納期に対応している。粗加工済の材料を海外から調達し、仕上加工だけを行い納期対応する金型メーカーも増えてきた。加工においては小径工具による微細加工が増えたため、1本の工具による加工時間が長くなる傾向にあり、長時

間連続運転における加工精度安定性能がより高精度で求められるようになってきている。最近の傾向として加工面品位や加工形状で金型ユーザの満足が得られていないのは、機械の安定した状態が要求精度に対して十分ではないことによる場合が多い。

1.2 最近の工作機械の動向

このような長時間加工精度安定性能というものに対して各メーカーは、当社Σシリーズでも採用した熱変位対策として補正という手段で対応してきた。ここで言う補正とは機械の熱変位の元となる発熱源近傍の温度をパラメータとし、一定の補正式により各軸移動量に補正をかける方式である。しかし、この補正は、工場環境の差によってばらつきがあり、実際には各ユーザの工場環境下での個別の調整が必要となり、また高精度が要求されるほど測定点が増え制御が複雑化しているのが現実である。

補正における制御にも限界がある。一般的に主軸、本体熱変位を含めた精度は $\pm 5 \mu\text{m}$ 程度が限界であり、実際のユーザ加工要求で増えてきている $\pm 2 \sim 3 \mu\text{m}$ 以下の要求精度と比較すると十分満足するものではなくなっている。この先さらに高精度の要求が生じた場合の対応も必要になってくる。

2. 長時間安定精度を得るための技術

2.1 高精度加工のポイント

制御装置、ボールネジ駆動系の高精度化に伴い、各社とも送り機構の位置決め精度に関しては大差がなく

*1 工作機械事業部技術部マシニングセンタ・専用機設計課長

*2 工作機械事業部技術部マシニングセンタ・専用機設計課

なりつつある。現在において他社との差別化技術は長時間高精度を維持するための発熱抑制技術と考えられる。この技術は一般的に工場環境温度の変化や主軸回転に伴う発熱等による機械姿勢変化を各送り軸方向に補正するものと、主軸回転に伴う発熱による主軸自身の伸びを補正する2種類の補正を合わせて熱変位補正として採用するケースが多いが、ユーザの加工要求精度が厳しくなるのに対し各メーカの熱変位補正後の数値が保証されていない、または熱変位補正後の許容値が要求に対して大きいなど、確立した技術に至っていない。そこで、ユーザにおいては高精度加工を行う際にはこの補正を無効にし、長時間暖機運転することで機械を熱平衡状態とした上で高精度加工を実施している例も少なくない。金型の短納期化という要求から考えればこの暖機運転という方法は生産における無駄時間であり、相反する行為である。しかし、金型の長時間加工を考えた場合、仕上げ工程での精度不良による再製作により納期に大きな影響を与えることを考慮すると、現在の各メーカにおける熱変位補正の実力に対して、ユーザの選択としてはやむを得ない選択であり、この点の改善が要求されている。

そこで本来要求されている長時間加工における加工精度の安定性を得るために、原点に戻って発熱を中心に対策を再考してみた。

2.2 新機能の狙い

2.2.1 主軸冷却回路の見直しによる発熱抑制

長時間同じ主軸回転速度で加工を続ける金型加工において、主軸の長時間運転における発熱に対する安定性は極めて重要である。また最近の要求精度を満足するためには補正では限界があるため、補正を抜きにして熱平衡までの時間をいかに短くすることが出来るかがポイントである。このことから立形Σシリーズでは、標準化されている主軸内部冷却の回路の見直しを行った。加工精度に一番大きな影響を与えるZ軸即ち主軸の発熱による伸びの抑制に注目したΣシリーズでは、機体温度に同調した一定温度冷却油を主軸内外部に循環させ、主軸発熱に伴う伸びを抑制していた。しかし、冷却ユニット内部一定温度コントロール制御のため主軸発熱に対して追従が鈍感であり、追従遅れを生じた。今回考案した回路は主軸の発熱分だけ冷却する制御方式による発熱抑制を試みたものである。事前に30000 min⁻¹仕様の主軸にて検証した結果、この回路は主軸内部冷却回路から吐出される冷却油を本体温度に同調させる制御を行うことにより、発熱に伴う伸びを一定以下に抑制する効果が期待できることが判明した。また温度に対する追従性をあげるために温度コントローラをその時の主軸発熱のボリュームから冷

却能力を予測、追従することができるインバータ制御方式のものに変更した。その主軸冷却回路図を図1に示す。

DCV50は、20000 min⁻¹主軸を標準装備としている。実機で確認検証した結果、冷態時から主軸最高速度の20000 min⁻¹を起動した場合、主軸発熱によるZ軸方向の伸びは現行の65 μmから20 μmと約1/3に減少した。更に、現行の制御方式が熱平衡状態まで60分以上の時間が掛かっていたのに対し今回の制御方式では20分と、従来の1/3の時間で熱平衡状態に到達した。これは、従来の1/3の暖機運転時間で高精度な加工結果が得られることを示唆している(図2)。

また従来の油冷却装置では平衡状態後も冷却装置のバルブ開閉式制御方式の影響で±2 μm程度の幅で波打ち状態が発生しており、これがそのまま主軸の伸び/収縮となるため加工面にそのまま波打ち現象が転写される悪影響が出ていたが、今回のインバータ方式は±1 μm以下までその幅を抑制でき、加工面での品位向上につながった。

2.2.2 本体の熱変位対策の見直しによる熱変位抑制

主軸内部に循環される冷却油は主軸外筒部にも同時に循環させており、この効果が機械本体熱変位の安定

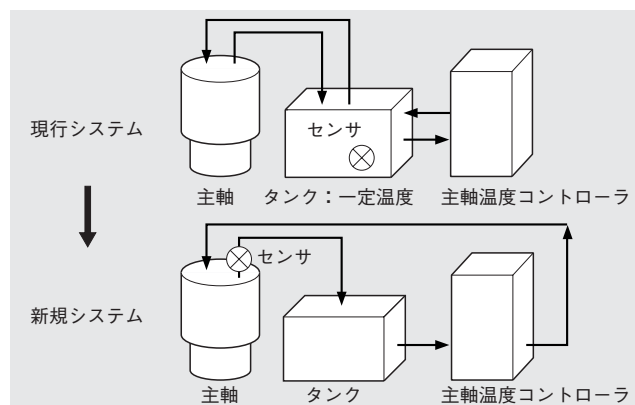


図1 主軸冷却回路図

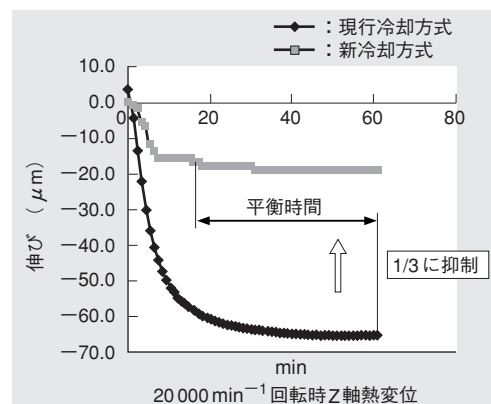


図2 主軸Z軸方向熱変位量

性につながっている。

熱による機械本体の姿勢変化という現象のなかで、主軸回転に伴う軸受、主軸モータ等の発熱が機械本体に伝わることによるものは、高速回転主軸であればあるほど、その影響度合いが大きい。そのためΣシリーズの補正は主軸から伝達する熱についても、主要ポイントの温度測定を行い、随時補正を掛けていた。しかし、熱伝達遅れや、主軸の熱平衡状態補正が影響している時間も長く、高精度な熱平衡状態を得るには1～2時間を要した。今回の制御方式では主軸の伸びを抑制するだけでなく、主軸からの発熱を抑えることにも成功した。

また本体熱変位は工場環境の変化、機械自身の発熱、加工熱等により姿勢変化を起こす。そのため姿勢変化を起こさないためには、熱の影響を極力減らすことが重要である。本体の発熱に関しては機械背面にある機械制御盤の影響を受けないように断熱板にて遮蔽し、工場環境に関しては全体をガードで覆いその影響を少なくした。

この結果本体熱変位補正も簡素化されたので紹介する。これまでは本体に6点の温度センサを取り付け、この温度をパラメータとした補正式により補正をかけていた。今回は主軸自体の発熱を抑えた結果、従来の6点測定と同等な結果を2点の温度測定による補正によって得ることができた。その結果を図3に示す。本グラフは工場環境を24時間で幅8℃上下させた時のテーブルに対する主軸端の各方向の変化量を測定したものである。従来方式では幅で4℃の工場環境を想定

していたが、今回の8℃の変化は一般的な工場環境と同等であり、一般的な工場においても高精度加工が実現でき、熱変位に対するロバスト性が向上したことを証明している。また、高価な恒温室を作らなくても一般的な工場で十分な高精度加工ができるということはエンドユーザにとっては大変有益なことである。

また補正を掛ける側から見ても6点による制御よりも2点での補正で同じ精度を得られる方が誤差要因が少なく済む。以上のことから、発熱を抑制することによる長時間高精度の維持というエンドユーザの要求に対して対応することができた。

2. 2. 3 送り軸の改善

DCV50における送り軸においてテーブル前後の動作を行うY軸送り案内方式を改善した。M-VΣシリーズにおいてはY軸案内方式は加工ワーク重量変化に伴う送り軸特性の影響を少なくするため油静圧摺動方式を採用した。それに対しDCV50はオーソドックスな面摺動タイプに変更した。これは最大ワーク重量が700 kgf（等分布）でありワーク重量変化における移動軸特性の影響は誤差範囲であることから、シンプルな機構である面摺動タイプを採用した。また従来面摺動タイプにて問題になっていた送り時に摺動面油にて発生するテーブルの持ち上がり現象（フロントアップ現象）の対策としては、ギブの採用と摺動面油供給用の油溝の幅を半減し、油溝のピッチを細かくすることで油の圧力を開放することができ、結果持ち上がりの量は最大送り速度=24 m/min時において従来の1/5に押え込むことができた。

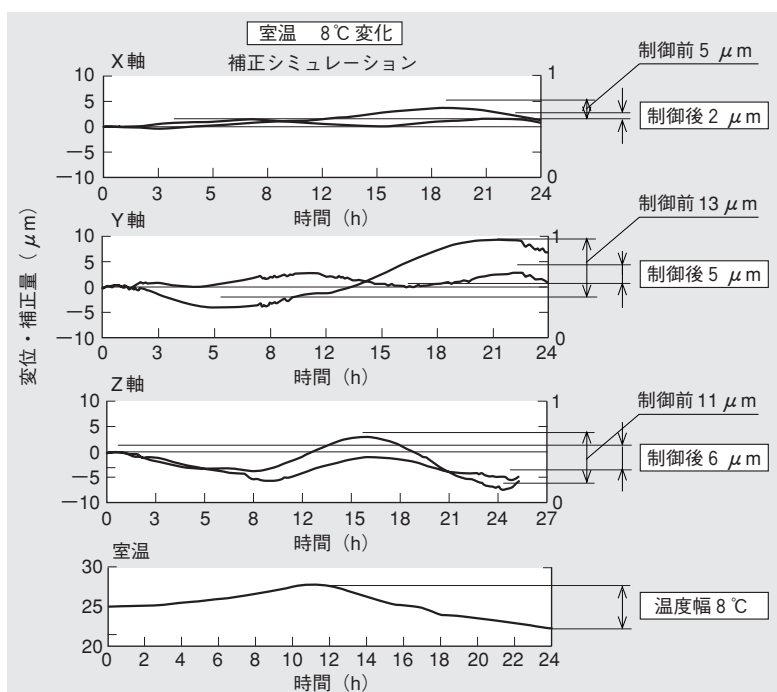


図3 2点温度センサにおける本体熱変位補正

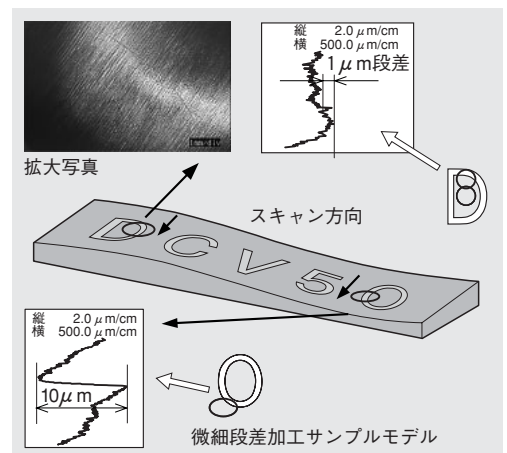


図4 微細加工段差サンプル加工

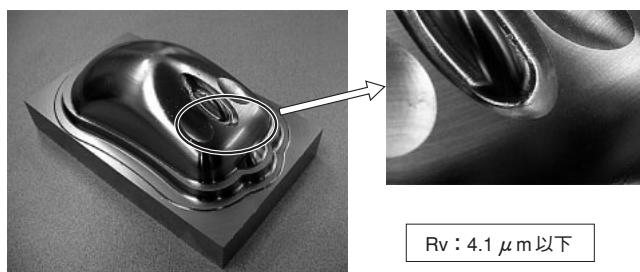


図5 金型“マウス”サンプル
加工面粗さ: $Ry = 4.1 \mu\text{m}$ 以下.

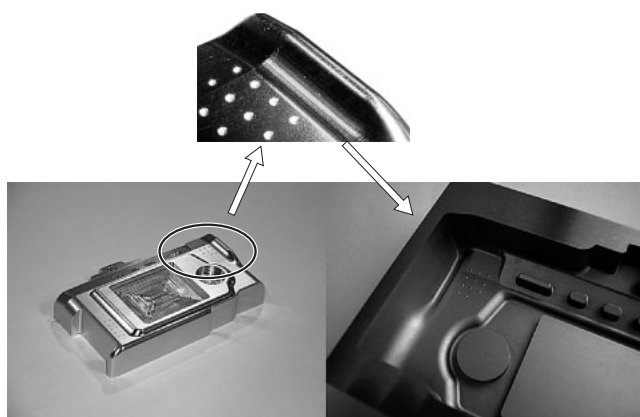


図6 デジタルカメラ銅電極と放電加工後加工面
滑らか連続形状がきれいに放電加工により転写されている.

2. 2. 4 新機能によるワークでの評価

次に長時間安定加工を実際にワークを加工し確認をした。

図4のワークは“微細段差加工サンプル”と称し、波形状のサンプルを加工した後に微細深さ加工による機械名称の文字加工を実施した。この機械名称“DCV50”の文字加工はDから順番に $1 \mu\text{m}$, $2 \mu\text{m}$, $3 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$ と文字の部分だけ表面から深く加工する文字加工とした。加工時間は文字の仕上加工時間9時間30分の長時間加工であり、その間に上記段差を得るという難易度の高い加工である。結果は $1 \mu\text{m}$ の段差加工でも追従しており、最後の $10 \mu\text{m}$ 段差まできちんと機械が追従した。これは送り軸が確実に $1 \mu\text{m}$ の送り動作を行っていることと、主軸連続運転時の主軸の伸び量が安定していること、本体の姿勢変化が安定していることを証明している。

次に実際の精密金型加工を実施し評価を行った。図5の加工サンプルは当社において一般的な金型加工の評価として各機種にて加工されているマウス形状サンプルである。本ワークは仕上加工に 20000 min^{-1} にて2時間以上連続加工を行うため長時間安定加工を評価することができる。加工後における面粗さ測定を実施したところ $Ry = 4.1 \mu\text{m}$ 以下であることが確認された。



図7 携帯電話銅電極と放電加工後加工面

図6はデジタルカメラのモデルで銅電極の加工をDCV50にて行い放電加工を施したものである。放電加工においては電極の加工精度が転写されることから、放電加工後の金型表面面粗度 $Ry = 4 \mu\text{m}$ 以下となっており電極が均一にできていることが確認された。図7の携帯電話の銅電極加工も同様である。

以上の4点のサンプルワーク加工から今回の新機種DCV50が長時間安定した機械精度を維持できる機械であることが証明された。要求精度も現在における要求条件を十分満足する結果が得られた。

3. これからの機械の進む方向性

今回の機械性能は最大で20分の暖機運転をするだけでハイエンドの要求精度に応えることができた。これからはますます高精度、短納期にて加工を行う要求が出てくる。さらに主軸高速化も進むことから、さらに主軸の発熱の抑制や制御方法などの工夫が要求される。単純な追従式制御方式から今後は回転数から予測した先行冷却制御方式や現在では冷却しきれていない主軸テーパ近傍の発熱抑制方法などが課題となる。

また重要なのは市場要求を現在の延長だけではなく、新しい提案を行うことによって解消することも大切である。実際のユーザの使い方から従来想定していなかったユーザのムダ時間を短くし、さらに安定した精度を得るということでユーザの満足を得ることができると確信している。さらに今後ますます難しくなる要求に対して本質を見抜いた対応を行いたいと考えている。

4. ま と め

以上述べてきた技術を今後の新機種に採用し顧客の生産に寄与していきたい。



横本俊雄



本多秀



佐藤欣且