

工作機械における 要素技術の最新動向

杉田直彦

Naohiko SUGITA

東京大学大学院 工学系研究科 教授 先端加工工学研究室



1. はじめに

昨年のJIMTOF2020はオンライン開催となった。それはそれで残念ではあったが、多くのものをじっくりと見ることができるオンライン展示の良さや、質疑応答など対面でない分からない部分が見えてきた展示会となった。その後、各社はプライベートショーなどでもオンライン展示に力を入れている。今年の10月に名古屋で開催されるMECT2021は、対面の開催を予定しているそうである。

世の中の状況としては、欧州の自動車メーカーがEVへ完全に舵を切っており、自動車のベクトルがどちらに向かうか、慎重にウォッチする必要がある。この中で使用される材料は、さらに強度が高く削ることが難しいものになっていく。また、金属積層造形の技術も進んでおり、部品のマルチマテリアル化やニアネットシェイプも進んでいる。工作機械から見ると重切削が減り、比較的軽い切削をいかに早く仕上げるかが重要となってくるであろう。

本稿は、これらの展示会やプライベートショーで発表された工作機械について、機械要素技術などトライボロジーの視点を含めてトレンドを解説する。

【著者問合せ先】

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1
Tel.03-5841-6336 Fax.03-5841-6336
E-mail sugi@mfg.t.u-tokyo.ac.jp

2. 自動化で実現する生産性向上 (オークマ)

自動化・無人稼働における生産性を向上させる手段として、工程集約が代表的なものの一つであるが、“工場を止めない”ことも重要なファクターとなる。そこで、工作機械の機械停止時間を“ゼロ”にし、“加工精度を安定化”することで生産性を向上させる技術がデジタルツインを軸として進んでいる。

2-1 シミュレーション技術の活用

工作機械の外でプログラムを作成し、シミュレーション技術を活用して加工パス・機内干渉を確認することで、加工機での作業をゼロにでき、機械停止時間を極限までなくすことにつなげることが期待される(オークマではADMAC、3Dバーチャモニター、図1)。シミュレーションで使用する工具種や工具補正は、実際に使用する加工機内にある工具データを用いることができるため、加工機上で行う確認作業とまったく同じ環境で行うことが可能となる。

2-2 無人・自動での段取替え

切削加工において、ワークを保持する「治具」や加工に使用する「工具」、ワークを支持する様々な「ユニット」は、その対象となるワーク形状、サイズ、加工工程に応じて変更する必要がある。「治具」では、外径の把握径φ130~590mmを無段取、かつ、握力の変更も自在にできる

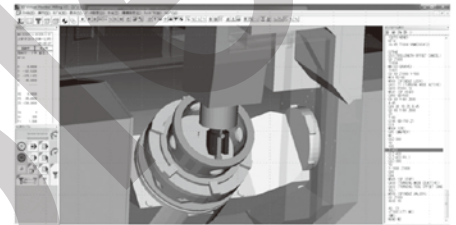


図1 3Dバーチャモニターによるシミュレーション技術活用

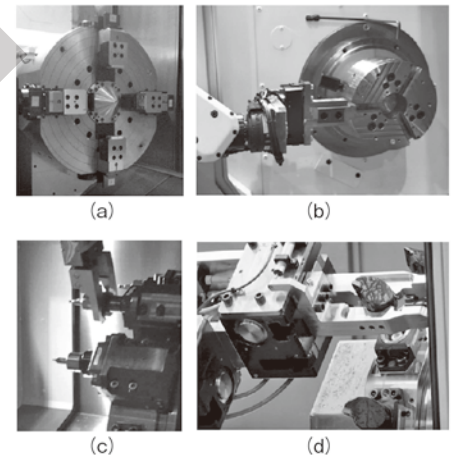


図2 ロボットによる段取り

(a) 把握径φ130~590mmチャック、
(b) 多関節ロボットによるチャック爪の自動交換、
(c) CNC旋盤でのロボットによる工具交換、
(d) CNC旋盤でのロボットによる工具交換

チャックを開発している(図2(a))。チャックの把握ストロークに制限がある場合は、ロボットで爪の自動交換を行うこともできる(図2(b))。「工具」は、工具にIDを付け、ロボットによる自動交換を可能とし、工具の寿命や所在位置の確認を可能とする(図2(c))。「ロボット」は、



図3 非接触機上計測システムによる計測の様子

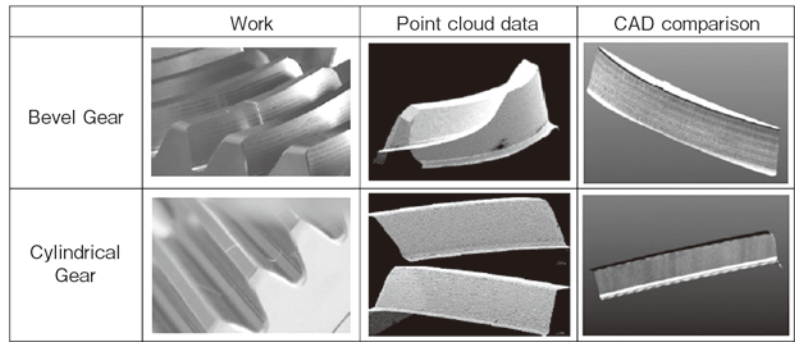
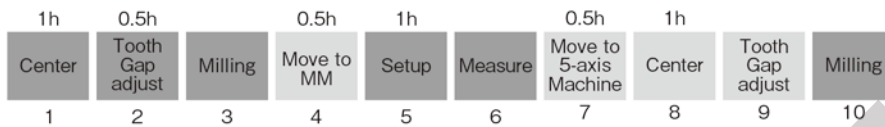


図4 非接触形状測定例

<従来の工程>



<機上計測の場合>

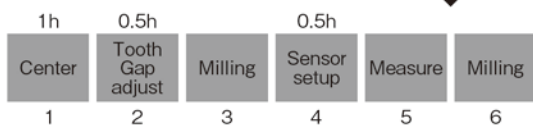


図5 複合化による工程集約

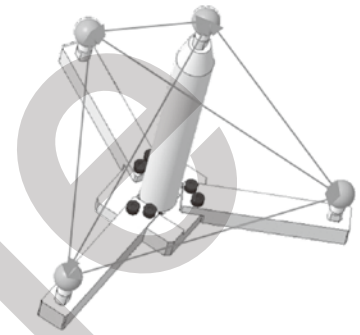


図6 測定誤差の検証

投入するワークの長さや重量に応じて、位置の変更を行うことができる。これらの多様な技術を活用することで、リアルの世界で段取替えを無人・自動で行う。

2-3 製品精度保証技術

機械本体については、環境温度変化が加工精度に影響を与える。オークマではこれまで、機械設計と制御技術を駆使して機械精度の安定化を図る「サーモフレンドリーコンセプト」や、機械の幾何学精度を自動でチューニングする「ファイブチューニング」などを開発してきた。

しかしながら、さらなる厳しい加工精度が要求される場合は、機内計測装置と計測マスターを設置し、機内計測装置をキャリブレーションすることで加工精度の確保を行っている。

3. 加工機と計測技術の融合：超高速・非接触機上計測システム (DMG森精機)

DMG森精機は、加工ワークの形状計測を自動化する「非接触機上計測システム」を発表している。製品を設計どおりに作り、品質を保証するためには、正しく計測を行うことが重要となる。加工現

場では、加工精度を保つために計測工程があり、例えば、加工ワークが公差内に収まっているか、寸法精度の計測がなされる。計測作業は、加工精度を維持するために重要な工程の一つだが、長時間の作業負担は大きく、正確に計測する技術が必要とされる。

3-1 非接触機上計測システム

このシステムは、最新のセンシング技術を用いて工作機械上でワークの自動計測を行うものであり、計測には、非接触タイプのレーザースキャナーが用いられる(図3)。レーザ計測技術においてニコンと連携しており、ニコンの計測技術とDMG森精機のセンシング技術を融合させたシステムとなっている。このシステムにより、機上で高速に、より高精度な計測を実現する。

3-2 非接触機上計測システムの特徴

このシステムの特徴を以下に示す。

1. レーザースキャニングプローブによる、非接触形状測定/評価の実現

レーザースキャナーを工作機械の主軸に取り付けるだけで、すぐに使用可能となる。レーザースキャナーは、1秒間に7万点および20万点の点群データを取得

する2種類があり、短時間での計測を実現する。図4に示すように、歯車形状も計測可能であり、レーザー照射により点群を μm 単位で計測する。計測結果を点群で表示したり、形状をデータ化しCAD図面と重ねて測定結果を確認することも可能である。

2. 複合化による工程集約とスループット向上

工作機械上で計測できるため、計測専用機への乗せ換えが不要となる。図5に示す工程では、工程集約により段取り時間を3h以上削減でき、55%のスループット向上が見込まれる。大型ギヤやタービンブレードなども測定可能であり、大型・複雑形状ワークでも短時間で計測ができる。

3. 高精度な計測

面で計測を行って測定時間を短縮するとともに、高精度な測定が可能となっている。測定精度を検証した結果、最大許容長さ測定誤差MPE E0(ISO 10360-2:2013、図6)は、 $2.0 + L/200 \mu\text{m}$ であり、三次元測定機と同等の測定精度を実現している。

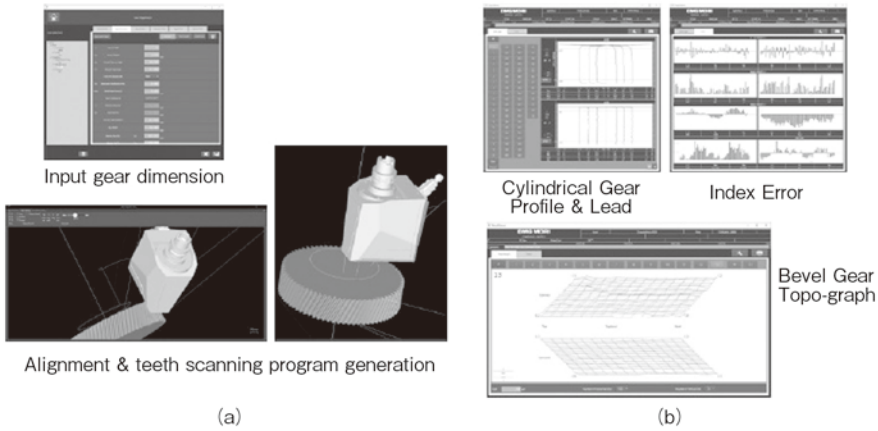


図7 計測ソフトウェア：(a)パス自動生成機能、(b)ギヤ評価ソフトウェア



図8 ロアタレットと小型工具主轴を搭載した複合加工機 (JX-250)



図9 工具主轴とロアタレット

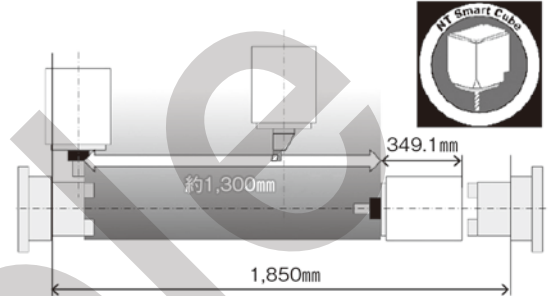


図10 主轴間距離と工具主轴長さ

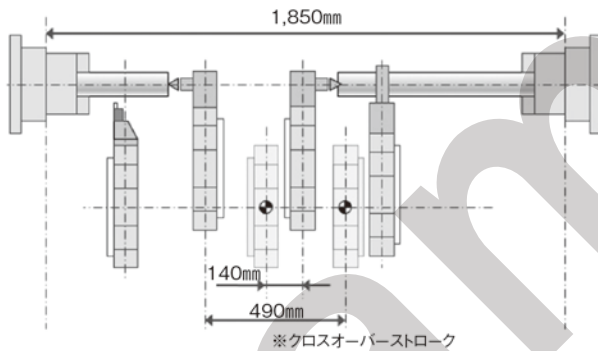


図11 クロスオーバーストローク

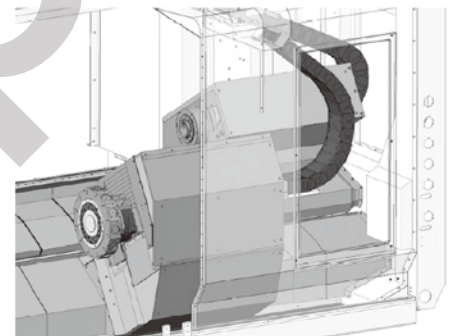


図12 ロアタレットカバー

4. 自動パス生成機能、ギヤ評価ソフトウェア

専用のワーク計測評価ソフトウェアにより、計測結果の評価を自動で実施することができる。図7(a)は、スキャンパスの自動生成機能および、自動干渉チェック機能のソフトウェアを示す。図7(b)は、平行軸ギヤおよびベベルギヤの評価ソフトウェアであり、歯車形状の解析や、誤差解析が可能となっている。

4. ロアタレットと小型工具主轴を搭載した複合加工機 (中村留精密工業)

中村留精密工業から、ロアタレットと

小型の工具主轴機を搭載した複合加工機が発表された(図8)。この機械は、同クラスでは小型の工具主轴を搭載し、後に説明するクロスオーバー機構を備えた二つのロアタレットを有する。長い芯間を確保しながらもコンパクトな機械幅を実現している(図9)。

工具主轴が小さいため、長手方向の干渉が少なく、より広い加工エリアを確保しているのが特徴である。X-Y平面で主轴中心から250mmのストロークがあり、工具軸回転角度は $240^{\circ} (\pm 120^{\circ})$ となっている。ATC工具搭載本数は標準40本で、対向2スピンドルのL/R同時加工で時間短縮できる。同社ならではの幅広、

低重心設計の高剛性水平ベッドで、垂直コラム構造採用している。

4-1 ロアタレットと工具主轴

ロアタレットは、右(R)側が標準(X2、Y2、Z2)で、オプションで左(L)側にも付く(X3、Y3、Z3)。最大で工具主轴+LRタレットを装備でき、多くの工具が搭載可能である。小型の工具主轴をベースに、フロント部分の部品を一体化し、省スペース化を図るとともに、リヤ部クランプユニット周辺が改善されている。その結果、工具主轴の全長は349.1mmとすることができ、従来機よりも100mm短い(図10)。工具主轴が短いため、加工室内を広く使うことが可能である。



図13 硬脆材料を対象としたマシニングセンター (e Grinder BG500)



図14 高速主軸+スルースピンドルクーラント

4-2 クロスオーバーストローク

下部(ロア)に二つのタレットを搭載している(標準は1タレット)。二つのタレット間のプロテクターの多段化や、Z軸リニアガイド・ボールねじの長尺化により、二つのタレットが原点を越えて左右に移動できる構造となっており、これをクロスオーバーストロークと呼んでいる。これにより、タレットのZ軸移動量(誌面左右方向)が拡大し、センターサポートを使った加工や振止めを使った加工などが可能となる。短いワークから長いワークまで対応する(図11)。

4-3 ロアタレットカバー

この機械は、長い芯間1850mmを有する。従来の設計では機械幅が長くなってしまふところを、タレットカバーの工夫により、コンパクトな機械とした。右(R)主軸ユニットカバーおよびロアユニットカバーの後方を塞ぐフルカバー構造とすることにより、ユニットカバー周りのワイパーをなくすことができている(図12)。その結果、カバー長さを必要最小限に抑え、長いストロークを実現しながらも、機械をコンパクト化することに成功

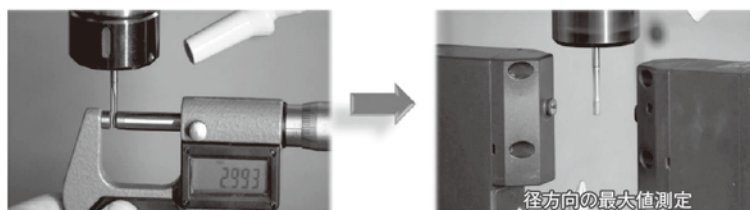


図15 マニュアル作業の見える化



図16 電着砥石測定システムによるデジタル技術での標準化

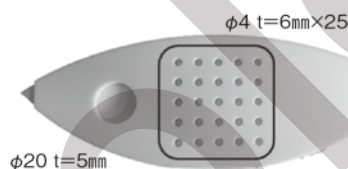


図17 高精度要求への対応

した。

5. 硬脆材料を対象としたマシニングセンター (牧野フライス製作所)

牧野フライス製作所は従来、フライス加工、穴あけ加工、タップ加工などの切削加工にプラスして、研削加工を可能とするマシニングセンターを開発しているが、今回、硬脆材料を対象とした機械を発表している(図13)。

5-1 機械の概要

第5世代移动通信システム(5G)の普及など、情報ネットワーク産業の拡大による半導体やセンサーの需要の増加、先進国での高齢化に伴う医療関連産業の拡大により、セラミックスや石英ガラスを主とした硬脆材の利用領域が拡大している。硬脆材の機械加工はこれまでも行われてきたが、近年、高集積化や緻密化が進み、「より高精度・微細」かつ「安定的に大量生産」が求められている。特に、急速な需要増加が想定される5G関連、自動車の自動運転、電動化などに使用される半導体などにおいて、要求が高まってい

る。市場の要求は、「生産性の向上」と「ランニングコストの追求」に集約される。そこで、「加工速度3倍×工具寿命3倍」(Three×Three Concept)を謳い、「見える化、標準化を経て、自動化を可能とする電着砥石測定システム」を提案している。

5-2 機械の特徴

この機械の特徴を以下に示す。

1. 加工速度3倍×工具寿命3倍

制御技術(GI-Grinding)を利用した新たな加工方法を確立し、従来比3倍以上の工具寿命を実現している。高速主軸+スルースピンドルクーラント(図14)を用い、従来比で3倍以上の加工速度を実現する。高圧スルースピンドルクーラントは、3MPa仕様であり、加工スラッジの排出性を向上させる。また、全軸リニアモーター駆動であり、高速・高応答および高精度位置決めを実現する。30000min⁻¹の主軸を搭載し、従来比2~3倍の回転速度により、微小穴(φ0.3)の高速加工にも対応する。

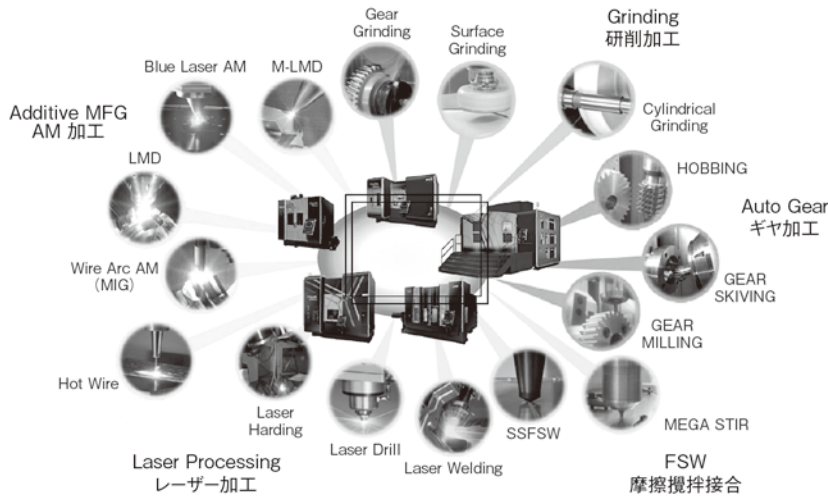


図18 ハイブリッド複合加工機の展開

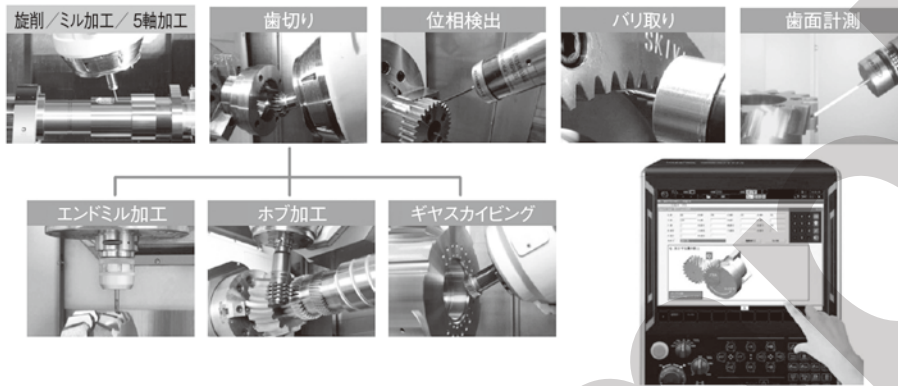


図19 歯車加工の工程集約



図20 歯車加工の工程集約例

し、実績のある機械構造を用いることで、市場要求以上の幾何公差を実現している。具体的には、ピッチ精度で $\pm 0.002\text{mm}$ 以上、真円度で 0.002mm 以上を実現した(図17)。

6. ハイブリッド複合加工機による次世代モノづくり (ヤマザキマザック)

ヤマザキマザックは、スマートファクトリーに注力しており、次世代ものづくりを提案している。その一つである、ハイブリッド複合加工機による工程集約(図18)は、製造プロセス全体のリードタイム短縮や設備投資(台数)の抑制、省人化などへの期待が高まる。さらに、調達を含めたサプライチェーンの変革によって、物流によるCO₂排出や、特定管理廃棄物の排出削減などの環境負荷軽減に貢献する。環境負荷低減やCO₂排出の削減などのグリーン化は、今後の工場に大きな影響を及ぼすと考えられる。

6-1 ギヤ加工の工程集約

例として、図19にギヤ加工の工程集約を示す。従来、歯切り加工はホブ盤などの専用機で行われてきた。歯切り機能を複合加工機に融合させることで、1台の工作機械で複数の工程を行うことができる。また、歯切り加工はパラメーターが複雑で、専門の職人が行う場合が多いが、同社では、対話式の歯切りプログラミング機能を開発することにより、専門知識がなくても簡単に歯切り加工を可能とした。

図20は、ギヤ加工を集約した例を示す。これまでは、歯切りを外注していたため、旋削加工を行った後に外注先に輸送し、歯切り加工の後、また輸送して戻して組み立てる工程としていた。これを複合加工機1台で行うことで、製品2個当たり21日かかっていたものを2日に短縮できている。しかも1台の工作機械で加工を行えるため、加工を高精度化できる。このケースでは、輸送にかかるCO₂を6.2t以上削減でき、環境負荷低減につながる。

2. マニュアル作業の見える化およびデジタル技術での標準化

従来の炭化けい素(SiC)、ガラスなどの硬脆材加工においては、砥石工具の測定や摩耗管理といった工程を職人の手作業に頼らざるを得ないことが大きな課題であった。そこで、図15に示すように、従来マニュアルで作業していたものを見える化するるとともに、図16に示すよう

に、これらの工程を自動化して加工効率を高め、砥石工具の寿命や精度の向上を実現する電着砥石測定システムを構築した。

3. 高精度要求への対応

最適送り制御技術を搭載することで、研削加工における高速・高精度加工と工具寿命の向上を実現している。硬脆材の微細化/複雑化など高まる要求精度に対

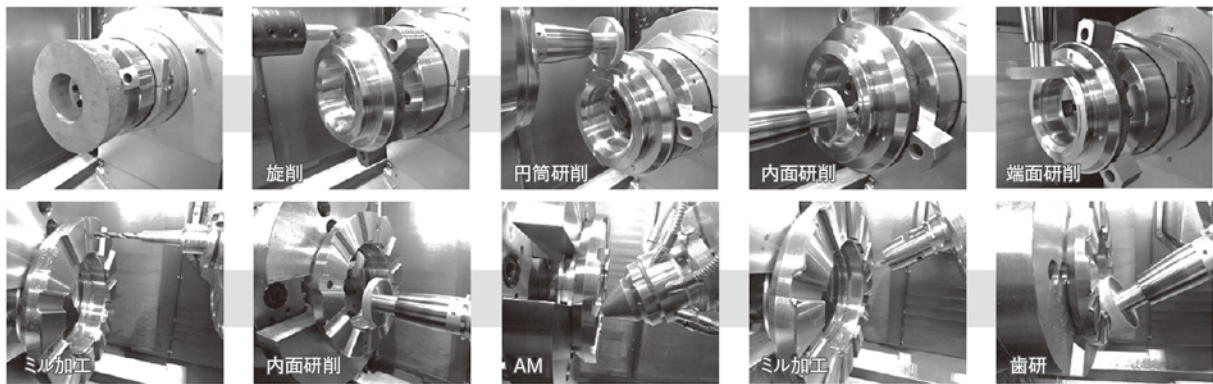


図21 AM加工と研削加工の工程集約

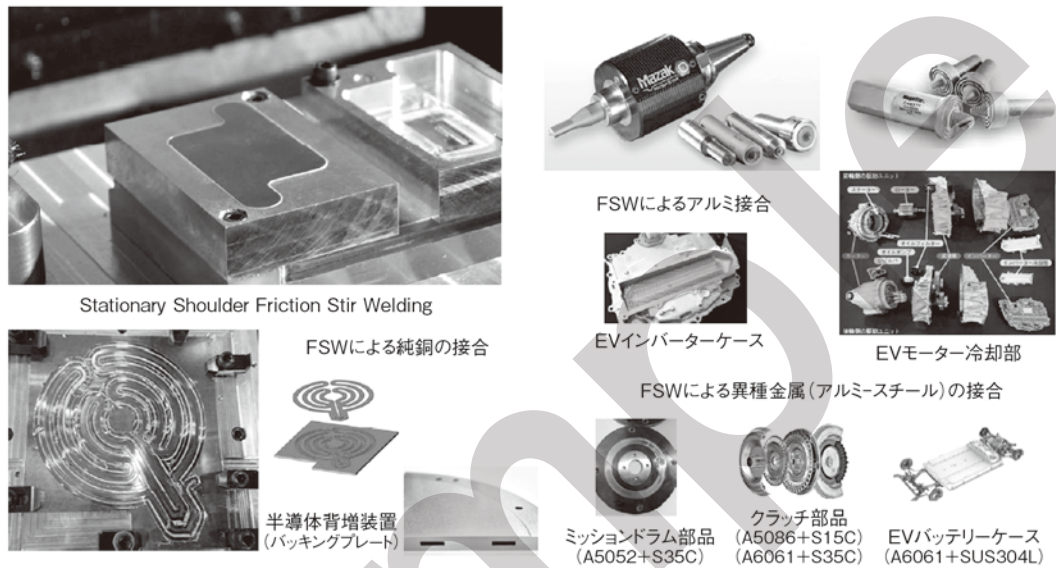


図22 摩擦攪拌接合 (FSW)

6-2 積層造形加工と研削加工の工程集約

図21に積層造形 (AM) 加工と研削加工を工程集約した例を示す。旋盤タレットのカップリング部品の工程であるが、1台の工作機械で、旋削加工、ミリング加工、研削加工を行い、さらにAM機能を用いて高硬度材料の積層を行う。最後に研削によって仕上げ加工を行い、部品が完成する。工程集約により研削代を小さくできるため、研削時間を55%短縮した。この工程集約により、総電力消費量を半減している。

6-3 摩擦攪拌接合の取組み

同社は、切削型複合加工機に摩擦攪拌接合 (FSW) 技術を融合したハイブリッド加工機を発表している。素材から完成品までの全加工を1台の工作機械で完結できる。図22のように、FSWは工具先端

を回転させながら材料に挿入することで摩擦熱を発生させ、軟化した材料を攪拌し接合を行う。接合後、仕上げ加工を行うことで高い精度の加工面を得ることができる。自動車分野では、EV化に伴い、異種材料を組み合わせるケースが多くなっている。このような場合には、FSWのような接合方法が活躍すると考えられる。

7. おわりに

本稿では、工作機械技術の最新動向を概説した。Industry4.0が提唱されてからしばらく経ち、工場や生産ラインのスマート化が進みつつある。その中で、工作機械はさらなる複合化がなされ、自動化や計測技術の融合も進んでいる。自動車などの対象分野で技術革新が進むと、用いられる材料も変化し、より加工の難

しいものになる傾向にある。工作機械はその変化を捉え、進化していかなければならない。日本の製造業が世界に冠たるためには、工作機械の進化が必須であり、切磋琢磨しながらも日本が一丸となって生産加工や工作機械技術をリードしていきたい。

工作機械主軸の高速回転や 重切削に対応可能な軸受技術

竹ヶ鼻 仁
Jin TAKEGAHANA

NTN(株) 産業機械事業本部 製品設計部



1. はじめに

近年、工作機械は各種産業の多様なニーズに応えるため、さらなる性能向上が要求されている。代表的なトレンドは以下のとおりである。

- ①チタンなどの難削材加工や超硬切削の増加とそれに対応するための主軸のさらなる高剛性化
- ②加工物を高効率に加工するための加工工程の集約、複合化
- ③複雑な形状を高精度に加工するための5軸化
- ④加工物のサイズに合わせた工作機械の小型化

これに応えるべく、主軸の中低速回転域での重切削から高速回転域での仕上げ切削までを、1台の工作機械が担うワンチャック全加工が求められている。

その結果、工作機械主軸用軸受は、トレードオフの関係にある高速性と高剛性をより高いレベルで両立する必要がある(図1)¹⁾。

本稿では、この要求に応えるべく開発した高速・重切削工作機械主軸用アンギュラ玉軸受(以下、高速・重切削用軸受)の特徴と評価結果を紹介する。

2. 開発背景

従来の高速用軸受(当社における工作機械主軸用高速アンギュラ玉軸受HSEタイプ)は、高速から超高速領域まで幅広く使用でき、長年にわたり工作機械主軸用として採用されている。工作機械は、今後もさらに生産性を高めるため、主軸回転速度の一層の高速化が進むことが予想される。このような中、高速用軸受は今後も採用が拡大すると考えられる。

生産性向上に向けたもう一つのアプローチとして、加工工程の集約や複合化、重切削を積極的に取り入れる工作機械が近年増加傾向にある。この場合、主軸用軸受にはdmn値120万前後の高速性と剛性が求められる(dm値:軸受の転動体の中心径(mm)と軸受の最高回転速度(min^{-1})の積)。

図2の主軸高速性と剛性の関係を表すグラフにおいて、今後求められる高速・重切削用軸受の領域を斜線部に示す。

また、工作機械の主軸および主軸用軸受は、停止中の工具交換時のアンクランプ荷重や、主軸先端に取り付けた工具と加工物との予期せぬ衝突により、衝撃荷重(大きなアキシャル荷重)が作用する場

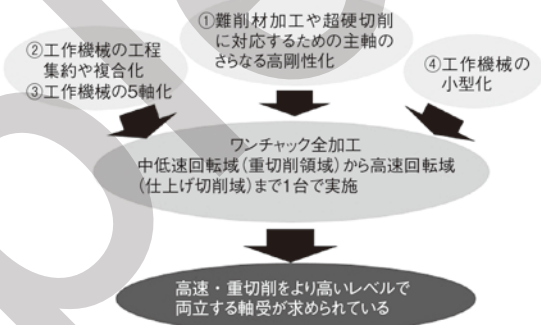


図1 工作機械、および主軸用軸受の技術動向

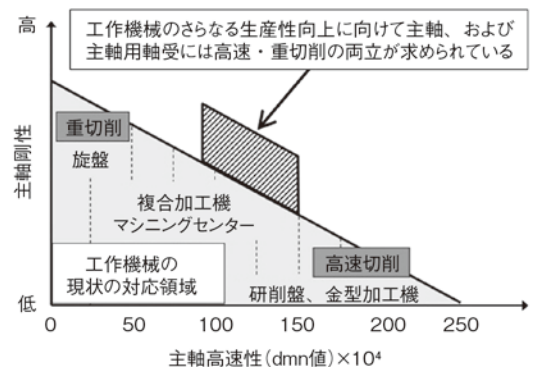


図2 工作機械の主軸と主軸用軸受に対する新たなニーズ

合がある(図3)。

衝撃荷重がその軸受の許容限度を超えると、軌道面に圧こんが生じ、主軸の円滑、かつ高精度な回転が阻害されるなどの不具合が発生する。この限界のアキシャル荷重を許容アキシャル荷重(静止時)といい、当社では以下の項目のいずれかに至る荷重で定義している。

- 転動体と軌道面との間に形成される接触楕円の端部が内輪、外輪いずれかの

【著者問合せ先】

〒511-8678 三重県桑名市大字東方字尾弓田3066
Tel.0594-24-1926 Fax.0594-21-9903
E-mail jin_takegahana@ntn.co.jp

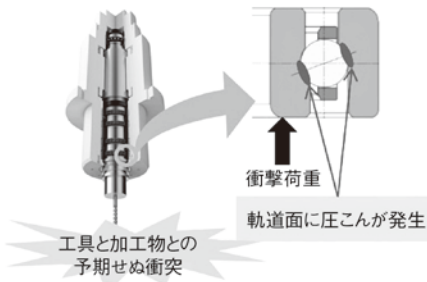


図3 主軸先端に取り付けた工具と加工物との予期せぬ衝突、およびそれに伴う軸受軌道面の圧こん発生イメージ

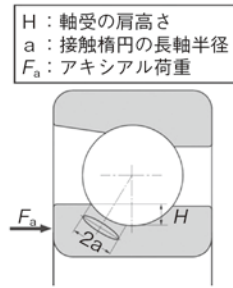


図4 接触楕円が肩に達するイメージ

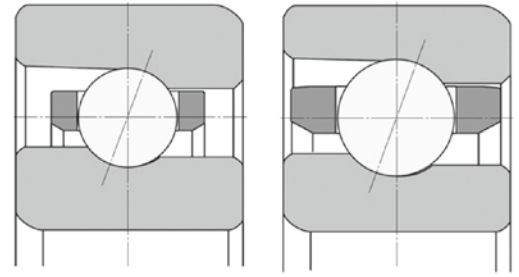


図5 高速用軸受と高速・重切削用軸受

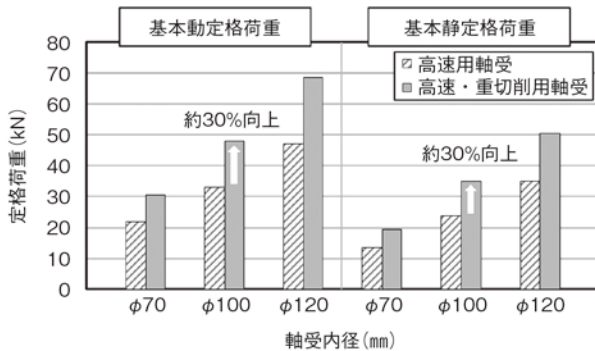


図6 高速用軸受と高速・重切削用軸受の定格荷重 (セラミックボール、接触角20°)

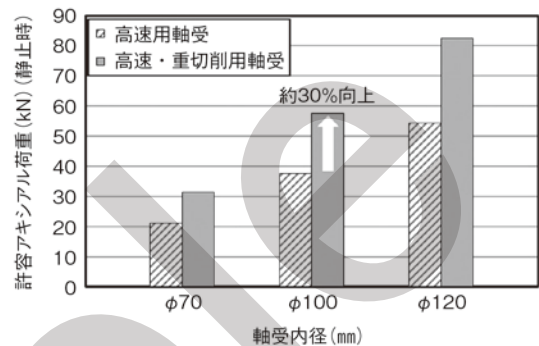


図8 静止時の許容アキシャル荷重 (セラミックボール、接触角20°)

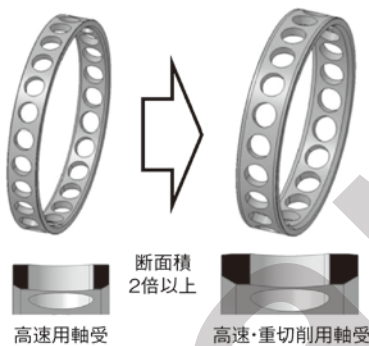


図7 保持器の断面の比較

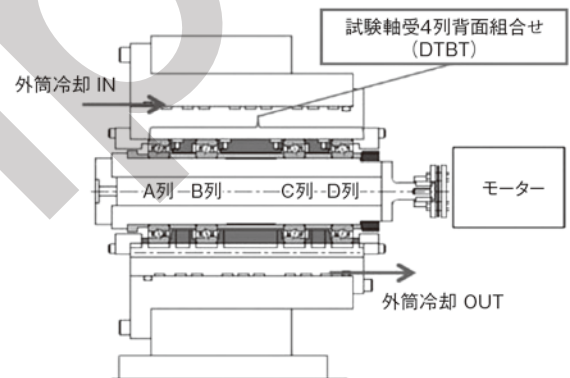


図9 試験機構造

軌道面からはみ出し、肩に達する (図4)。

- 軌道面の接触応力が内輪、外輪のいずれかで3650MPaに達する。なお、接触応力3650MPaは、転動体径の0.00002~0.00005倍の永久変形量を生ずる値である。

圧こんの発生を防止・軽減するためには、許容アキシャル荷重 (静止時) を高め、衝突に対する耐性を強化する必要がある。

3. 高速・重切削用軸受の特徴

3-1 重切削への対応 (負荷容量の向上)

高速・重切削用軸受は、前章に記載し

た高速用軸受の持つ高速性を維持しつつ、重切削にも対応するため、転動体径を大きくするなど、内部設計の最適化を図った (図5)。これにより、高速用軸受と比べて、定格荷重を約30%高め、負荷容量を向上させた (図6)。

3-2 重切削への対応 (保持器強度の向上)

転がり軸受の転動体は、その軸受の持つ形状精度、軸やハウジングへの取付け精度、外部荷重などにより、微小な速度相互差、いわゆる「進み遅れ」を生じながら公転する。このうち、公転速度が相対的に速い転動体は、保持器ポケットの前

面 (進行方向側) に寄る。また、公転速度が相対的に遅い転動体は、保持器ポケットの後方面 (進行方向と逆側) に寄る。その結果、転動体は保持器ポケットと接触し、保持器に荷重が作用する。

この荷重は、転動体の「進み遅れ」の大きさや転動体に作用する荷重 (以下、転動体荷重) の大きさによって変化する。今回の高速・重切削用軸受は、前述のとおり、高速用軸受より大径の転動体を使用しており、転動体荷重が大きくなりやすい。また、重切削の際は、比較的大きな加工荷重が作用するため、保持器にも大きな荷重が作用する可能性がある。

そこで、高速・重切削用軸受は、保持器の強度面の信頼性を高めるため、高速

表 試験条件

試験軸受	φ70×φ110×20×4列 (DTBT) 5S-2LA-HSE014相当品 (セラミックボール、接触角20°)
保持器仕様	フェノール樹脂保持器
予圧方式	定位置予圧 (組込み後予圧1400N)
回転速度	0~18000min ⁻¹ (dmn値162万)
潤滑方法	エアオイル潤滑
給油量	0.03mL/8min
エア量	35NL/min
潤滑油	ISO VG32
外筒冷却	あり
軸姿勢	横軸

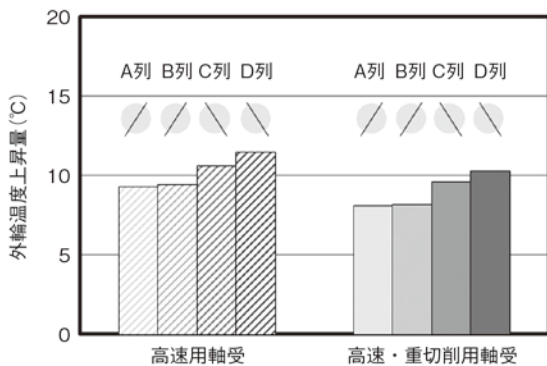


図11 15000min⁻¹時の軸受外輪の温度上昇

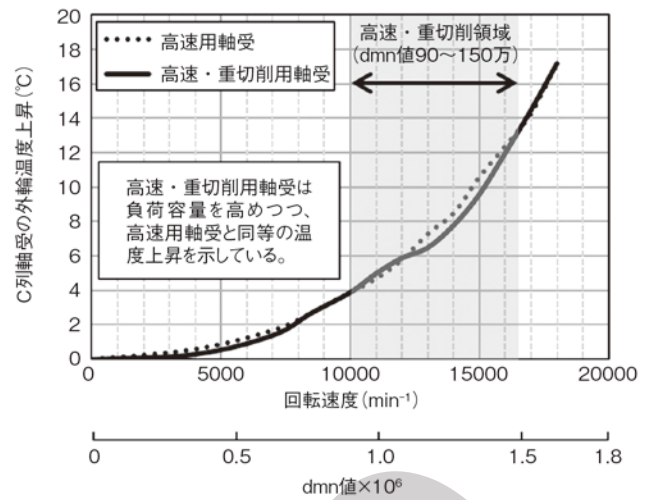


図10 高速運転試験結果 (C列軸受)

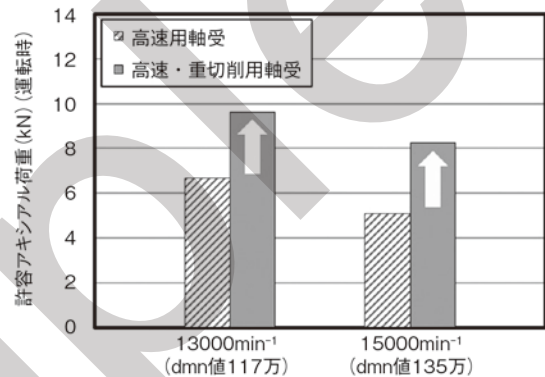


図12 運転時の許容アキシャル荷重

用軸受よりも断面積が大きい強化型保持器とした(図7)。

3-3 許容アキシャル荷重 (静止時) の向上

高速・重切削用軸受は内部設計の最適化により、許容アキシャル荷重(静止時)を約30%高めている(図8)。これにより、衝撃荷重が作用した際、軸受軌道面への圧こんの発生を防止、軽減できる。

4. 評価試験

4-1 試験条件

高速・重切削用軸受の高速運転試験を実施した。試験機の構造を図9、試験条件を表に示す。

本試験は、マシニングセンターの主軸で多く採用される内輪内径φ70の軸受を用いた。重切削など、高剛性が求められる主軸を想定しており、4列背面組合せ(DTBT)の定位置予圧とし、軸受の主軸組込み後の予圧は、高速用軸受の中予

圧を上回る1400Nに設定した。

また、高速・重切削用軸受の保持器は図7の強化型とし、材質はフェノール樹脂を用いた。

4-2 試験結果

試験結果を図10、図11に示す。高速・重切削用軸受は高速用軸受と同等の温度上昇を示しており、図2で示したdmn値120万前後の領域を超え、dmn値162万(18000min⁻¹)まで運転可能であることを確認した(図10)。また、C列以外の軸受も安定した温度上昇を示すことを確認した(図11)。

4-3 許容アキシャル荷重(運転時)

前述の試験で得られた温度データをもとに、dmn値120万前後の領域でそれぞれの軸受の許容アキシャル荷重(運転時)Faを計算した。

その結果、dmn値117万(13000min⁻¹)で、高速用軸受がFa=6.8kNであるのに対し、高速・重切削用軸受はFa=9.8kN

であり、主軸に負荷できる外部荷重が約30%高まることを確認した。また、dmn値135万(15000min⁻¹)でも同様の結果であった(図12)。

5. まとめ

工作機械の加工工程のさらなる集約や複合化など、新たなトレンドに応えるため、工作機械主軸の高速回転と重切削に対応可能な軸受を開発した。高速・重切削用軸受は、従来の高速用軸受をベースに内部設計を最適化することで、高速性を維持しつつ、負荷容量と許容アキシャル荷重を約30%高めた。

工作機械のさらなる高機能化を支えるため、今後も軸受の性能向上に取り組む。

参考文献

- 1) 松森直樹、植田 敬一：工作機械用精密軸受の技術動向、NTN TECHNICAL REVIEW、No.84、(2016)40。