

砥石の準備(その1):フランジへの取付けとバランス取り

小林 成 (マーポス株式会社)

1. はじめに

筆者は主に研削盤の加工精度の制御についての研究、開発に携わってきた。砥石でワークを加工する研削盤は、はめあい部品の加工に必須の設備であり、精度に対する要求は常に高まり続けている。要求される精度とは出来上がりワークの寸法および表面粗さや形状のことで、これらを向上させるためにさまざまな装置を開発し、送り出してきた。

2. ワークの寸法と形状、表面粗さの管理をする装置

ワークの寸法や精度に関わる今日の主な研削盤のオプション装置としては、

- ・直接加工中にワークを測定し砥石を制御するインプロセスゲージ、加工前後のワークを測定するポストプロセスゲージ等の測長器
- ・AE 波を検出しドレス時の砥石径の管理やサイクルタイムの短縮に効果を発揮するギャップイルミネータ
- ・各種センサーを使用して振動、温度、電磁波、圧力などを検出するモニタリングシステム類
- ・そして今回のテーマである砥石軸スピンドルの振動を抑える balanサーなどがある。

寸法管理は主に測定器の部門となる。定寸装置は寸法の管理が主目的であるが、偏心量 (T.I.R. : Total Indicator Reading) や楕円度などを加工中の測定に組み込んで形状の検出をする場合もある。また定寸装置を使うことにより加工動作がスムーズとなり機械にかかる負荷を軽減できることでサイクルタイムの短縮、部品品質の向上、および加工機の長寿命化にも貢献する。このように定寸装置は直接的な主目的である寸法精度の向上以外にも、長い目で見るとさまざまな観点から効果が得られる装置といえる。

3. バランサー搭載の効果

砥石のアンバランスの要因には砥石の形状、材質の不均等、装着の誤差など色々な要因が考えられる。アンバランスはチャタリングを呼び、ワークの形状や表面粗さを悪くする原因となるだけでなく砥石軸のベアリング寿命に悪影響を与える要因となる。生産されるワークの高い表面品質を確保するためには、加工中の形状エラーを排除し、スクラップ品の数を

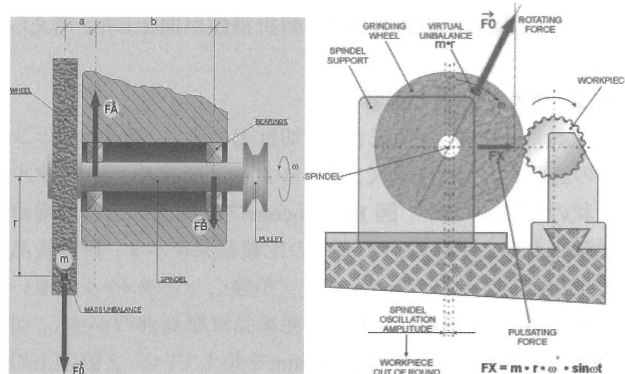


図1 アンバランスの方向とワークの振動

限りなく削減させなければならず、砥石のバランス取りは重要な作業工程である。問題になるのは砥石単体だけではなく砥石軸自体の振動も含まれる(図1)。砥石自体の静バランスと砥石軸合わせての動バランスが悪いと定寸装置により砥石の送りを制御しスパークアウトをいかに長く取っても表面粗さや形状への改善の効果が薄くなる。

そのために砥石交換時に静バランスを取るが、オペレータによる経験やスキルで作業に要する時間や作業の質が大きく変わる。当然砥石の粗密や出来にもよるが、いかに静バランスを取ったとしても動バランスの状態は取り付けて回転させないと正確にはわからない。そこで、動バランスを取るためのバランサーを搭載することで改善を図るケースが増えている。常時変動する砥石アンバランスを自動的に、短時間で矯正できる自動バランサーのシステムは、とくに高精度加工、高周速な研削盤になるほど装着効果大きい。砥石軸スピンドルの振動はワークの形状や表面粗さに大きな影響を与えるため、各ベアリングおよびスピンドルメーカーの努力により高回転に耐えられる高精度の装置に進化し続けているが、可動部なのでクリアランスによる振動を完全に無くすことはできない。

一般に円筒研削盤や平面研削盤にてバランサーを使用する主な目的とメリットは下記のとおりである。

- (1) 砥石交換時の作業の効率化
- (2) 加工製品形状や表面粗さの改善
- (3) MTBF (Mean Time Before Failures : 平均故障間隔)

の向上および機械の長寿命化

形状や表面粗さの不良についてはワーク自体や研削盤の駆動装置の強度による影響などさまざまな要因が影響する。

* マーポス株式会社: 〒143-0025 東京都大田区南馬込5-34-1
<https://www.marposs.com/jpn/>

ほとんど場合は時間をかけて加工すれば改善できるが、とくに量産現場では収益を考えればサイクルタイム短縮は必須である。一般にサイクルタイムと寸法や形状の精度と表面粗さは反比例するのでどこかで妥協しなくてはならない。精度のためには静バランスを取った砥石を取付け、摩耗やドレスによる偏心をバランスが補正することである。手動で静バランスを取る際には作業者のスキルにより作業時間や質が大きく変わるので、効率化を重視する場合は作業者による静バランス取りを省略し、自動バランスに補正させる場合も多い。

より良い形状精度を求める場合は、静バランスを取ったうえで自動バランスにて最小限の動バランスを取る必要がある。

4. バランサーの種類

動バランスを取るにはいくつかの方法があるが、いずれもバランサー装置自体はスピンドルか砥石フランジに取り付けてウェイトを制御する。別センサーで砥石の回転数と振動を監視し、制御部が計算しウェイトを制御するものである。各社制御部が独自のアルゴリズムをもって計算しウェイトを制御する。一般には図2のように目標値に対して何段階かのリミットを設け、振動量が収まるように制御を行う。

常時振動をモニタリングできるので、リミットを超えたら機械側の制御に出力し、バランスサイクルを再起動することもできる。バランサーは振動をセンサーで監視しながら補正を行うので、そのために振動の測定と同時にスピンドルの実際の回転数の監視も必要である。制御部は振動量を回転数に準じて計測したアルゴリズムによって動バランスの補正を行うものでなく実際の回転をリアルタイムに検出する必要があるため、スピンドル上の突起やマグネットを近接スイッチなどで検出しある。回転数はインバーターの回転数の設定データなどでは管制部に伝えている。

また、これらの装置は加工方向の振動を最小限に抑えるのが目的であるので振動の測定方向は図3のように加工方向とすることも重要である。

代表的な装置は以下の3方式である。

- (1) 手動バランサー
- (2) 液体式電子制御バランサー
- (3) 機械式電子制御バランサー

4.1 手動バランサー

手動バランサーは、スピンドルまたは砥石フランジに組み込む装置で、制御部が計算し作業者にウェイトの状態を、指示をする。制御は自動ではなく、制御部の役割は回転と振動を検出して計算を行うことである。

装置側は一般的に手動で静バランスを取る装置に起点および角度を表記したものが使用される。大別して方式は2種類(図4)で、2つのウェイトの角度を動かす「重量固定、角度可変」式の機構と、等間隔の角度にウェイトの取付け穴を設け指示どおりのウェイトを取り付ける、「角度固定、重量可変」の機構がある。

手順として最低2回は砥石の回転を止めなくてはならない

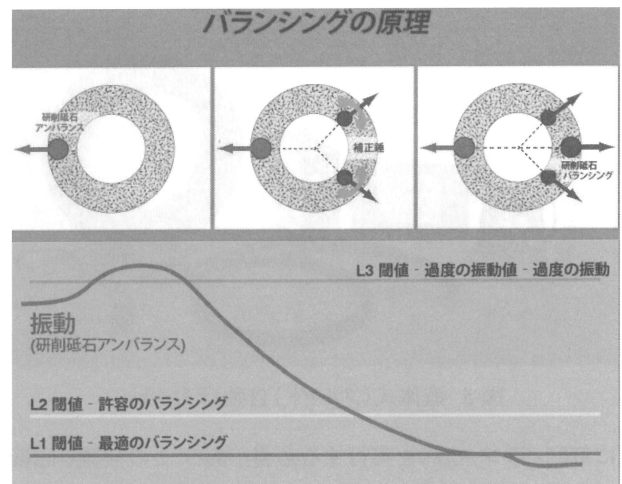


図2 バランシング制御の原理

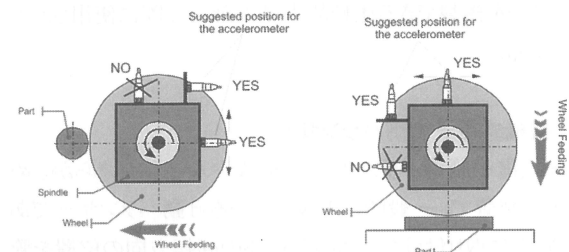


図3 振動センサの取付け方法

手動バランサー

Algorithm 1:
- 固定ウェイト / 可動角度
recommended for CBN wheels <math>\phi < 300 \text{ mm}</math>

これらを併用することにより最小限のウェイトのヘッドを選択できます。

Algorithm 2:
- 角度固定 / 変動ウェイト
recommended for CBN wheels <math>\phi < 100 \text{ mm}</math>

図4 手動バランサー

ので自動バランサーと比べると作業時の手間はかかるが、構造が単純なためバランサー自体に回転数制限やバックラッシュがなく補正容量が大きい物が可能なのが利点である。又、他の自動バランサーの容量不足を補うために併用することも可能である。

4.2 液体式電子制御バランサー

液体式電子制御バランサーは砥石フランジに設けたチャンバーにクーラントを溜めてバランスを取る自動バランサー装置(図5)である。

各チャンバーには径方向にオフセットした注入口があり、そこからソレノイドバルブで制御したジェットによりクーラントを注入する。注入されたクーラントは遠心力により砥石回転を止めるまではチャンバー内に留まる。砥石の回転を止めるとチャンバー内のクーラントがこぼれてしまうので、砥石の回転起動時

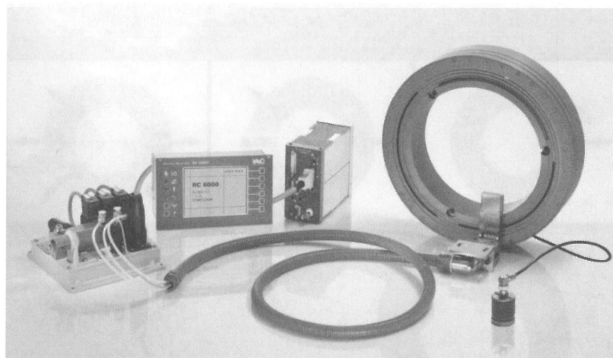


図5 液体式(フルイド)自動バランスー

に毎回バランス取りを実行する必要がある。この装置も回転側(スピンドル)に取り付ける部分の構造が単純なため、バランスー自体に回転数制限やバックラッシュがないのが利点で、チャンバーを搭載できる比較的大型の砥石の際に使用される方式である。

4.3 機械式電子制御バランスー

機械式電子制御バランスーはスピンドル自体にあらかじめ組み込む装置で、一般的に普及している自動バランスーである。装置内に取り付けた2個のウェイトの回転方向の位置を管制部で自動制御する。機械式のため内部構造が複雑となり、補正容量と回転数が反比例で制限される。言い換えると補正容量が大きいほど精度が粗く使用可能回転数が低くなるので、砥石に合わせて最小限の容量の装置を使用することでより高精度な制御が可能となる。最近の高回転要求の仕様には容量と対回転数を考慮して選定する必要がある。

実際にこれらスピンドルに装備されるバランスーで補正できるのは回転数およびその通倍の共振周波数だけである。当然ながら近隣設備からの影響など、砥石の回転数と関係のない周期の振動はこれらのバランスーでの補正はできないので原因を究明したうえで別の対策を講じる必要がある。砥石回転数に準じた振動に関してはバランスーで改善が可能である。

5. 機械式電子制御バランスーの取付け方

一般的な一枚砥石の研削盤にてバランスーの取付けは砥石と同じ長手位置に補正のウェイトを置くスピンドル内蔵型が理想であるがスピンドルの構造上難しい場合も多い。

そのため、砥石側端面に取付けるフランジ取付け型が一般的に普及している。

また、モーターでウェイトを動かす構造であるため管制部から直接回転スピンドル内に配線ができないため、バランスー製造メーカーそれぞれに独自の通信方法でモーター制御やニュートラル位置、AEセンサーの信号を通信制御している。

スピンドル内蔵型(図6)は専用設計でスピンドルおよび回転中心にバランスーヘッドのはめあい公差の取付け穴を用意し端面にフランジで取り付ける、または、ヘッド本体の径を膨張させ取り付けるタイプなどがある(図7)。比較的、低容量、

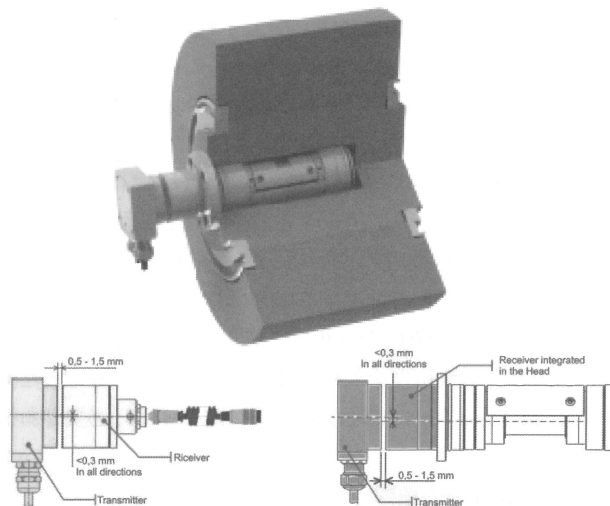


図6 スピンドル内蔵型および通信装置

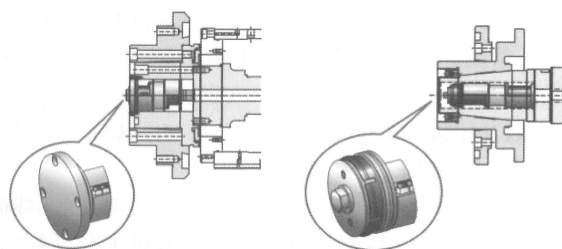


図7 スピンドル内蔵タイプの固定方法例

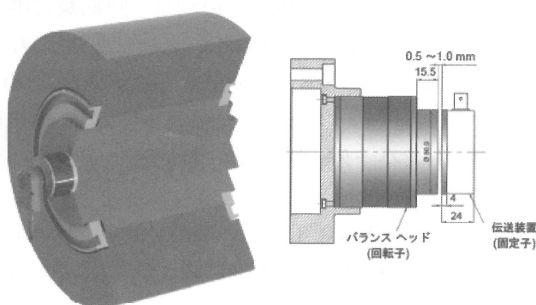


図8 フランジ取付け型および通信装置

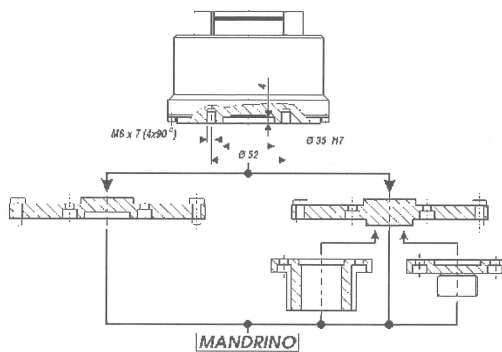


図9 フランジ取付け型の取付け方法

高精度、高回転の需要に対応する装置である。

フランジ取付け型(図8)はスピンドル端面に図9で使用するようなフランジ取付け穴があれば専用フランジを追加することでレトロフィットも可能な装置である。

balancerヘッド本体のボス穴に対してはめあい公差の突起をもつフランジを用意する、もしくは突起がスピンドルの回転中心に復元できる機構にすることで着脱時につど心合わせを行う必要はなくなる。

フランジ取付け型を砥石と反対側の端面に取付ける場合もあるが、砥石からの距離が離れるために選定する補正容量の計算が難しく balancer 自体の効果が薄れる場合もあるため、基本的にはあまり推奨はしていないが、実際に装着して効果を得ている事例も多数ある。

複数砥石、幅の広い砥石などの場合には、砥石と補正ウェイトの重心をできるだけ合わせるために長い balancerヘッドを用意したり、2 台の balancerヘッドをスピンドルの両端に装着して使用する特殊仕様を推奨することもある。とくに 1 つのスピンドルに 2 台の balancer を取り付ける場合 (図 10) は 2 軸同時制御 (デュアルプレーン) の専用ソフトウェアで対応している。

balancerヘッドをスピンドルに内蔵させる場合はあらかじめスピンドル内蔵型 balancerヘッドを装着することを想定したスピンドルの設計が必要である。

昨今ではグラインディングセンタや複合機などで着脱可能な砥石用スピンドルでの要求も多く、それに対応できる小型の装置も開発されている。

スピンドル毎に砥石に合わせた balancer を搭載し、制御部は砥石毎にプログラムを切り替えて制御する。

砥石のバランスからは離れるが、4.1 節で述べた手動 balancer の機能を応用することでバランスの悪い大型のワークの回転振動を取り除く製品装置もある。(図 11) 回転テーブルの円周上にウェイトを取付ける穴を開け回転と振動のセンサーを追加するだけで図のような偏心ワークの回転を安定させることが可能なアプリケーションである。

砥石軸に自動 balancer を搭載したグラインディングセンタに追加機能としてワークもバランス取りさせる場合の需要に対応できる装置である。

各種 balancer には AE センサーを搭載でき、冒頭に書いたギャップイルミネータ機能やクラッシュ検知機能をもたせることも可能である。これによりさらなるサイクルタイムの節約、高精度、高寿命、危険回避などの砥石の制御の補助が期待できる。

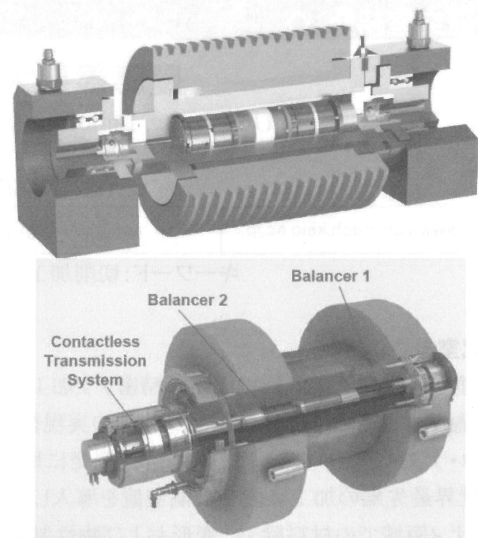


図 10 特殊デュアルプレーン balancer 取付け例

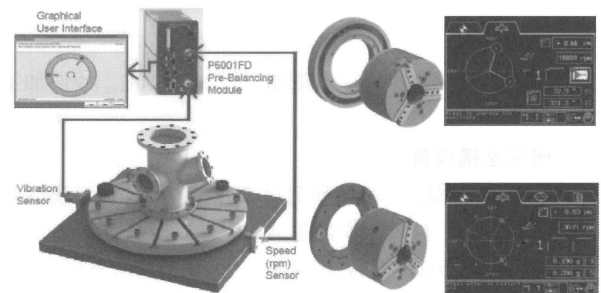


図 11 ワークテーブル用手動 balancer 構成例

CBN 研削砥石の使用増加、高回転対応、マシニングセンタ、ターニングセンタ、グラインディングセンタ、および複合機等での研削工程の統合化など、従来の研削工程とは異なる最新の要求仕様を満たすよう設計された新しいソリューションで要求されている高精度研削のための新しい仕様に対応を続けている。

6. 参考資料

- (1) Dittel/Marposs バランサ, AE センサ 製品カタログ(英文):
https://www.dittel.com/phocadownload/DITTEL_BrochureEN.pdf