



ナノメートルの世界を実現する

超微細研削盤

Ultra Fine Vertical Rotary Surface Grinder



キーワード

超微細研削盤, 超微粒砥石, 電解ツルーイング,
水冷式空気静圧スピンドル, 自動搬送,
電解インプロセスドレッシング研削



精機製造部
技術部
技術課
井上卓己

1. はじめに

近年、半導体や電子・光学部品の産業分野において、コンピュータやVTR、ハードディスクなどに使用するIC用基板や磁気ヘッドなどの情報記録装置の高速・大容量化が求められている。そのため、その高密度記録用部品の寸法精度、平面度、面粗さなどに対する高精度化の要求が強くなっている。また、これら部品の低価格化に対する生産性向上のため、加工工程の高能率化、省人化、および機械設備の省スペース化の要求も一段と高まっている。

従来、この分野において、その材料となるシリコン、超硬合金、セラミックスなどの硬脆性材料の鏡面仕上げには、遊離砥粒を用いたラップ・ポリッシュ加工が行われてきた。しかし、加工寸法精度の管理、生産能率、加工物の洗浄性などの観点より、ラップ・ポリッシュ工程の中に超微細ダイヤモンド砥粒の砥石を用い、電解インプロセスドレッシング技術を利用した鏡面研削工程を取り入れる試みが行われ、実用化されつつある。

この要求に応えるため開発を行った超微細研削盤RGD20N-Eは、電解インプロセスドレッシング研削による硬脆性材料の鏡面仕上げを可能にし、生産性の向上、自動搬送装置による省人化を目的とした機械である。本稿では、機械の特長、性能などについて紹介する。

2. 超微細研削盤の概要

今回紹介する機械の外観を図1に、主な仕様と配置図を表1、図2に示す。

本機は立形ロータリ平面研削盤であり、防振ゴムマウントに据え付けたベッド上にコラムを2軸搭載した構成であ

表1. 主な仕様

研削砥石外径	φ203mm
ワーク寸法	最大φ225×60mm
スピンドル回転数	
砥石	300~3600rpm
ワーク	300~1800rpm
分割テーブル	
テーブル外径	φ780mm
回転位置決め角度	120°分割
砥石軸切込み装置	
最大移動距離	100mm
移動速度	0.002~100mm/min
最小位置設定単位	0.0001mm
スピンドル供給エア	
供給エア圧力	0.65MPa以上
エア消費量	550NL/min以上

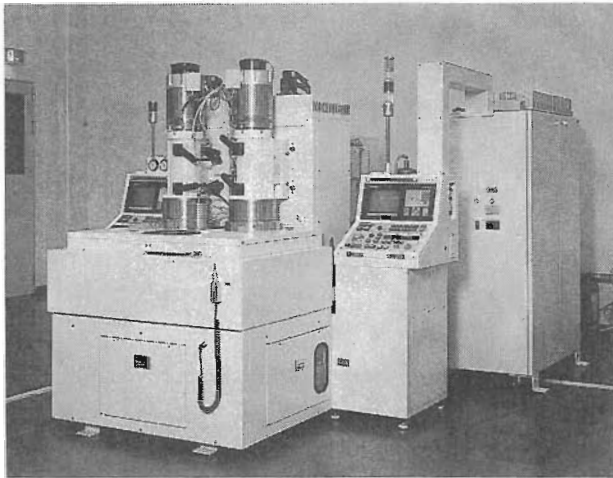


図1. 機械の外観 (RGD20N-E)

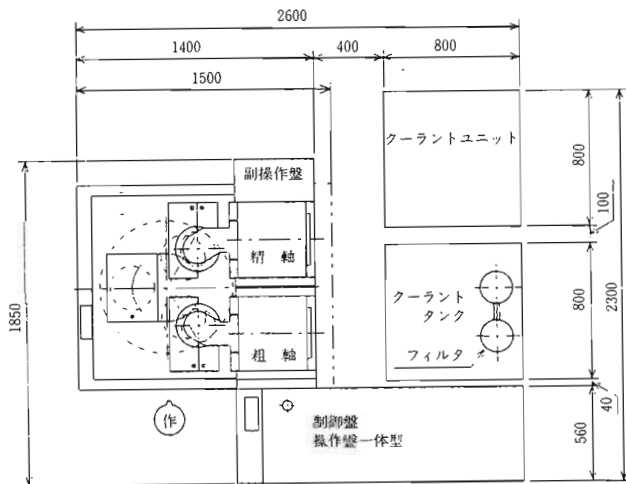


図2. 機械の配置

る。2軸のコラムは粗研削と鏡面仕上げ研削を同時に行うことが可能で、生産能率の向上に寄与する。

コラムにはそれぞれ粗加工用と電解ドレッシング装置を備えた鏡面仕上げ加工用の空気静圧式砥石スピンドルを配置している。砥石スピンドルは左右方向の傾き調整機能を持ち、コラムの前後方向の傾き調整機能と併用することでワークの加工面形状を高精度に、且つ簡単に維持管理できる構造となっている。

ベッド中央に空気静圧浮上式の分割テーブルを配置し、そのテーブル上には3軸の空気静圧式ワークスピンドルを搭載する。2軸はそれぞれ粗、鏡面仕上げの研削工程、残りの1軸は真空チャックの洗浄、ワークの搬送工程に分け、自動搬送化に対応している。

真空チャックは、ワークの最適な吸着状態を実現する形状であり、最近では直径200mmの大口径ワークの研削に対しても実績がある。また、耐熱変形・耐摩耗性に優れたセ

ラミックチャックも選択可能である。

砥石切込み軸は、角形すべりスライドを採用し、リニアスケールとNC装置によるフルクローズドループ制御で位置決め精度の高いインフィード研削を行う。

2.1 機体 (ベッド・コラム)

ベッドやコラムは強靱、且つ衝撃に強い鋳鉄を採用している。内部構造も剛性を確保し、振動に対する減衰性を考慮したものとなっている。

この鋳鉄は温度変化に対しても寸法変化が小さい利点がある。特にコラムには寸法変化を最小限に抑えるように熱変形対策を施している。

2.2 砥石スピンドル

砥石スピンドルは、振動や熱変形の少ない高剛性、高精度な空気静圧軸受を採用している。スピンドル用駆動モータは水冷式のビルトインモータを使用し、モータなどの発熱源によるスピンドルの熱変形の影響を最小限に抑えるように配慮している。

空気静圧軸受を使用したスピンドルは転がり軸受を使用したものに比べてさまざまな利点を持つ。まず、回転体である主軸は、それを受ける外筒との隙間に圧縮空気が介在して非接触の状態になるため、転がり軸受の場合のような金属接触摩擦による発熱・振動が非常に小さい。つまり、軸受面の温度上昇による主軸の伸びが小さく、摩擦や振動による軸受面の劣化がないため高い回転精度を維持する。したがって、ワークの平面度、面粗さ、および仕上げ厚みばらつきの低減が期待できる。また、後工程の最終鏡面ラップ加工を行う場合、クラックなどの加工面の加工変質層が問題になるが、空気静圧スピンドルで研削したワークの加工変質層は浅く、ワークの仕上げ厚み精度も高いため、後行程のラップ工程における加工代が少なく、加工時間の短縮に寄与する。さらに、転がり軸受の場合、グリースや油を使った軸受の潤滑が必要になり、グリースの補充・交換や潤滑油の給排油といった軸受のメンテナンス、寿命などの問題を含んでいる。その点、空気静圧軸受部へはクリーンエアをスピンドルへ供給するため、クリーンでメンテナンスフリーという特長を持っている。

砥石スピンドルに砥石フランジを取り付けた状態での回転精度 (T.I.R) は、砥石フランジ端面の振れで1.5 μ m、

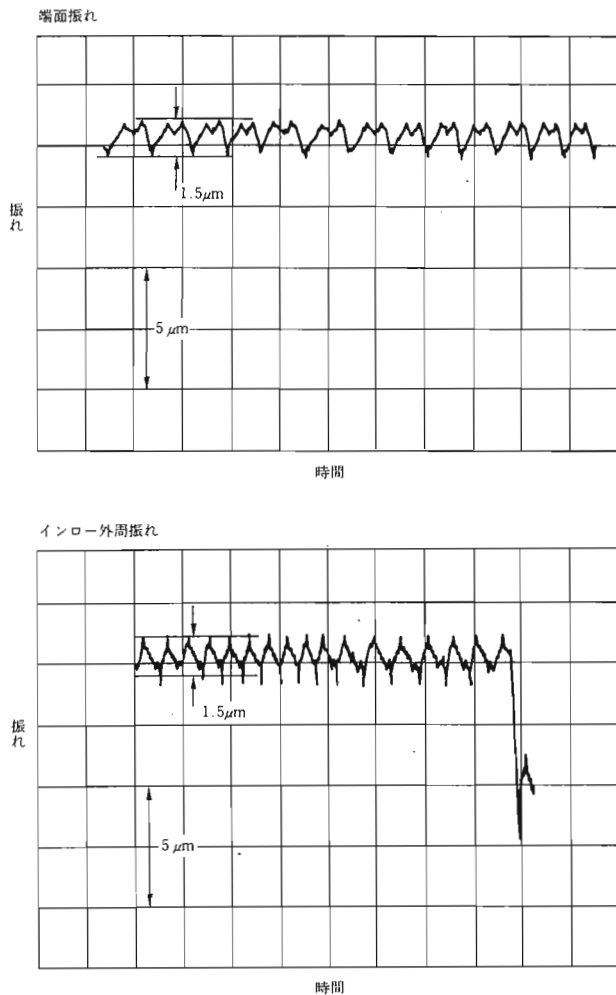


図3. 砥石スピンドル回転精度

砥石フランジインロー外周の振れで $1.5\mu\text{m}$ の値を得ている。また、本スピンドルの静剛性はスラスト方向で $180\text{N}/\mu\text{m}$ 、軸先端のラジアル方向で $50\text{N}/\mu\text{m}$ を実現している。図3に砥石スピンドルの回転精度の測定例を示す。

空気静圧スピンドルは、停電などによって空気静圧軸受用エアが供給停止した場合、主軸と外筒が焼付きを起こす問題があるが、本機は焼付き防止のスピンドル保護装置として停電時スピンドルブレーキ機能を備えている。

2.3 ワークスピンドル

ワークスピンドルも砥石スピンドルと同様、空気静圧軸受を採用している。ビルトインタイプの駆動モータは、温度制御した冷却水をモータ外周に循環し、スピンドルとモータの温度の安定化を図っている。また、ワークスピンドルも停電時スピンドルブレーキ機能を備えている。

ワークスピンドルの回転精度(T.I.R)は、真空チャック取付フランジの端面振れで $0.4\mu\text{m}$ を実現している。静剛性はスラスト方向で $300\text{N}/\mu\text{m}$ 、ラジアル方向で $100\text{N}/\mu\text{m}$ を

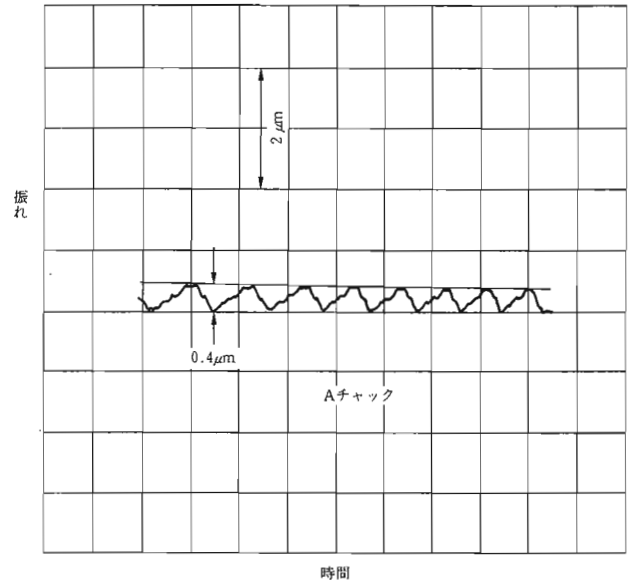


図4. ワークスピンドル回転精度(端面振れ)

得ている。図4にワークスピンドルの回転精度の測定例を示す。

2.4 砥石軸切込み装置

切込み装置は極低速においてもスティック・スリップのない安定した連続切込みを行うことが必要である。そこで、摩擦係数の低減と摺動部の仕上げ面粗さ向上のためにスライドテーブルの案内面はフッ素樹脂を接着し、研削・きさげによって精密加工を施した油潤滑式角形すべりスライドを採用している。また、その対向面となるコラムの角形ガイドレールは、経年変化を抑えた焼入鋼を使用してラップ仕上げを施してあり、 $1\mu\text{m}/\text{min}$ の低速送りでも高精度な真直度の確保と維持を実現している。図5にスライドテーブルの精度データを示す。

この切込み軸は、分解能 $0.1\mu\text{m}$ のリニアスケールとNC装置でフルクローズドループ制御し、高精度な位置決めを行う。砥石の摩耗などによるワーク相互間の厚みばらつきの変化を抑えるため、砥石摩耗量などの補正值を切込み軸の座標にフィードバックし、ワークの仕上げ厚み管理を行う。

さらに、オプションとして砥石接触検出装置を組み込むことにより、砥石とワークの刃合わせ作業の自動化、切込み軸座標の自動設定を行うことができる。この砥石接触検出装置とは、砥石とワークが接触した時の砥石スピンドルにかかる微小な負荷電流をとらえて砥石とワークの接触した位置を認識する装置である。

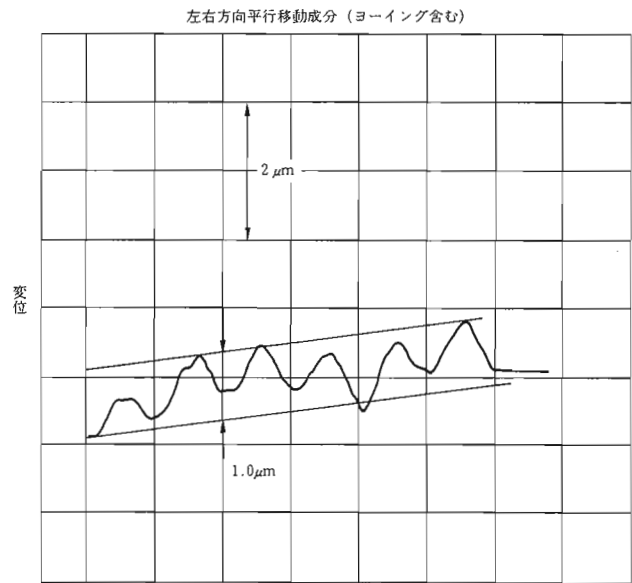
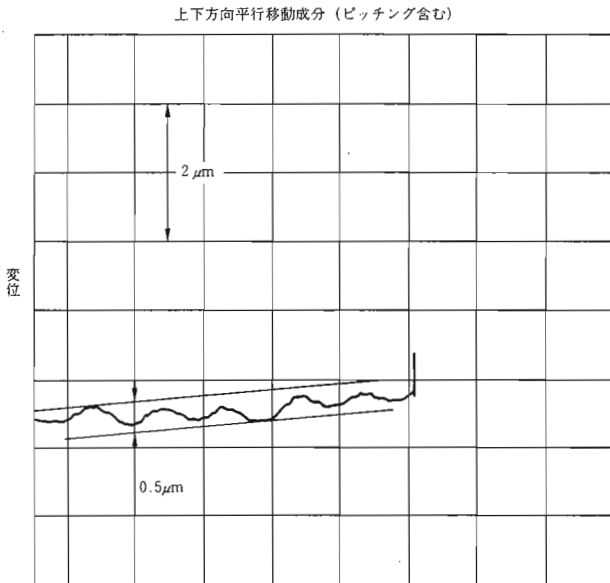


図5. スライドテーブル真直度

3. 電解インプロセスドレッシング研削加工の原理

図6に電解インプロセスドレッシング研削加工の概念を示す。

電解インプロセスドレッシング研削とは硬脆性材料の平面研削を行いながら同時に砥石研削面の電解ドレッシングを行う加工方法である。砥石とドレッシング電極の隙間に電解加工液を流し、電解電源装置で砥石に正、電極に負の電位を与える。砥石と電極の間では電気分解が起こり、陽

極側の砥石結合剤は陽イオンとして電解加工液中に溶出する。結合剤が溶出した砥石表面はダイヤモンド砥粒が突出した状態になり、研削加工中においても常に砥石のドレッシング効果を持続する。

本機はラップ加工の代替、および平面度、面粗さの向上を目的としているため、砥石は鏡面仕上げ用の砥石で#4000~#10000(粒径4~1μm)の超微細ダイヤモンド砥粒を鉄や青銅などの結合剤を用いたカップ形砥石を使用している。通常、レジンボンドやビトリファイドボンドの砥石に比べて、このような超微細砥粒を用いた鉄系ボンド砥石による研削の場合、砥石の目詰まりによって、研削抵抗の増加や研削焼けが発生し、研削不可能となる場合が多い。しかし、本機は電解インプロセスドレッシング研削を行うことにより連続安定した硬脆性材料の鏡面研削を可能としている。

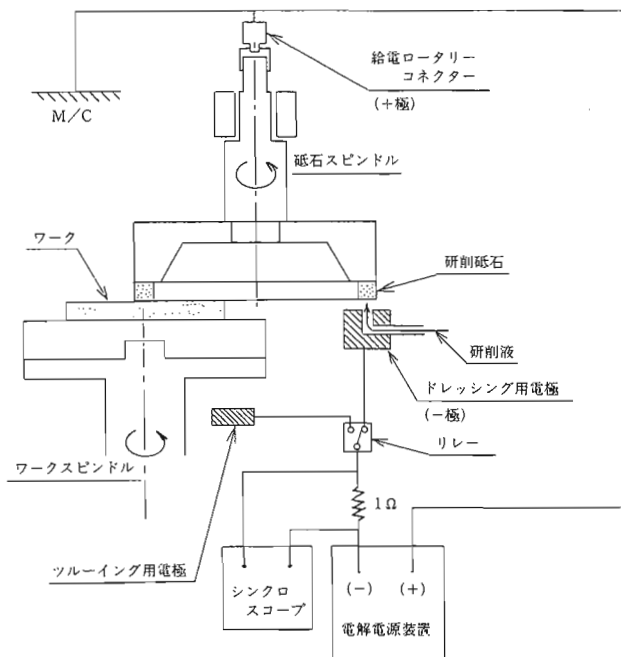


図6. 電解インプロセスドレッシング研削概念図

3.1 電解ドレッシング装置

本装置は、ドレッシング電極と電極スライド装置で構成し、電解電源装置より電力を供給する。電極は砥石のドレッシングを最適な状態で行う形状、材質としている。また、電解加工液を砥石表面に効果的に供給する構造とし、理想的な電解作用の実現に配慮している。

電極スライド装置は砥石と電極の隙間調整を行う電極リ

フト機構を備えている。ハンドル操作だけで隙間の調整、設定が可能であり、電極の着脱、隙間調整作業を容易に行うことができる。

3.2 電解ツルーイング装置

新品の砥石を使用する場合、砥石の振れ取り（ツルーイング）を行う必要がある。本機はこのツルーイングを機上で行う。研削砥石を砥石スピンドルに取り付け、真空チャック上に固定したツルーイング砥石の目詰まりを電解ツルーイング装置で防止しながら研削砥石の振れ取りを行う。つまり、ツルーイング砥石面の電解ドレッシングを行いながら同時に研削砥石の振れ取り研削を行う。

電解ツルーイング装置の概略を図7に示す。ツルーイング砥石とツルーイング電極の間に電気分解作用が起こる。陽極側のツルーイング砥石の結合剤が電解溶出し、ツルーイング砥石の砥粒が突出した状態になる。ツルーイング砥石は常にドレッシング効果を持続するため、目詰まりすることなく研削砥石の振れ取りを行う。

本装置は電解ドレッシング装置と同様にツルーイング砥石と電極との隙間の調整を行う電極リフト機構を持ち、ハンドル操作で隙間の調整、設定を行う。

4. 周辺装置

本機は機械本体以外に電気制御盤、研削液とスピンドル冷却水の温度調節を行うクーラントユニット、研削液濾過装置と真空ポンプを備えた研削液タンクで構成する。

クーラントユニットは研削液を±0.5℃に、スピンドル冷却水を±0.25℃の精度で温度管理している。

研削液濾過装置はワークの加工精度に及ぼす切りくずの影響を最小限に抑える。本装置はカートリッジフィルタ方式を採用し、メンテナンス性の向上に配慮している。

その他に、3軸制御の小型クリーンロボットを用いたワーク自動搬送装置、加工後のワークを収納する水中収納装置、真空チャック上面を常に清浄に保つチャック洗浄装置、そして自動搬送装置に対応したワーク厚み測定装置などをオプションとして選択することもできる。

5. おわりに

今回紹介した超微細研削盤RGD20N-Eは、従来のラップ・ポリッシュ加工による鏡面仕上げの分野において、機

械精度・剛性・熱変形などの機械的性能の向上に加え、電解インプロセスドレッシング技術を導入することにより、超微粒砥石を用いた鏡面研削の有効性を示した。(図8に加工例を示す。)さらに生産性向上、自動搬送装置による省人化に対しても方向性を見出した。

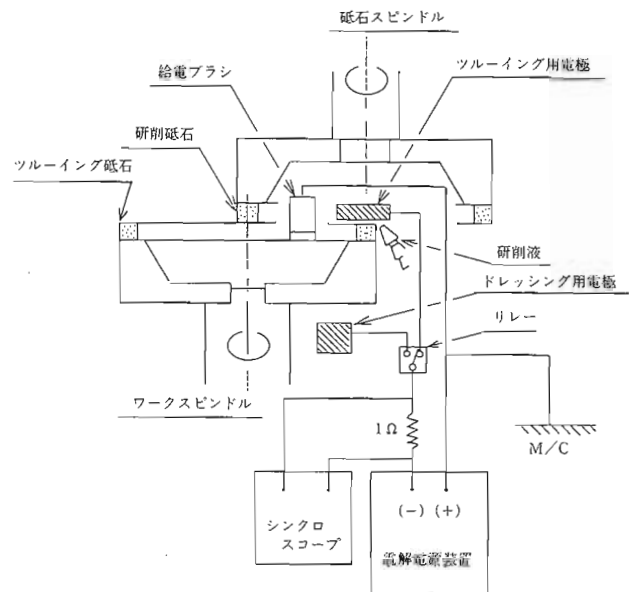


図7. 電解ツルーイング装置



- シリコンウェハ(砥石：SD8000)
- ・面粗度(Talysurf 6)：Rmax=0.044μm
- ・TTV(ADE)：0.34μm

(TTV: Total Thickness Variation)

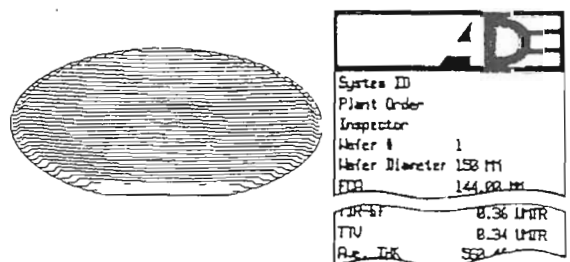


図8. 加工例