

## ポリゴンミラー加工機について\*

薄木 雅雄

(株)不二越 〒930 富山市石金 20

(1983年8月8日受理)

### Ultra-Precision Diamond Cutting Machine for Manufacturing Polygon Mirrors

Masao USUKI

Fujikoshi Co., Ltd., 20, Ishigane, Toyama 930

Polygonal mirrors for laser beam scanning have been usually made of glassy material and finished by lapping process, which has made them very expensive, and meanwhile, unavoidably inferior in sharpness of mirror surface at the surroundings. Keeping step with the recent development of laser applications, there arised strong market needs for the development of technology to produce high precision mirrors that were less expensive and suitable for mass-production, and also for the improvement of material strength thereof so as to endure high speed rotation. According to such needs the process technology for super-precision finish by cutting such materials as Cu or Al with diamond bits has been actually put into practical use already. We would like to introduce hereafter such a type of super finish cutting machine for polygonal mirrors we have developed by making effective use of precision mechanical elements equipped with air and oil hydrostatic bearings.

#### 1. はじめに

レーザの応用が拡大され用途が多岐にわたるに従い、反射ミラーの需要が増加している。回転反射ミラーの高速化に伴う強度向上の面で従来のガラスからアルミニウムや銅等の軟質金属への移行が考えられ加工方法も軟質金属に対するダイヤモンドバイトで高能率に仕上げる超精密加工技術が取り上げられつつある。

走査用のポリゴンミラーはコンピュータ出力アウトの高速印刷用レーザプリンター、圧延鋼板等の表面欠陥検査機、部品識別用販売商品のバーコードリーダー、情報伝達のレーザ録画装置あるいはレーザテレシネ装置さらにはファクシミリ等に広く利用されておりその需要も増加している。静圧空気スピンドルと静圧油スライドを効果的に組み合わせ、さらに送り駆動には他に例を見ない静圧油ねじを用いた非常にユニークな超精密ポリゴンミラー加工機を製作したのでここに紹介する。

#### 2. ポリゴンミラーの仕様

走査用ポリゴンミラーの代表例としてレーザプリンタ

ーがある。コンピュータの普及と処理能力の大幅な向上に相俟って記録用プリンタも鮮明度向上と高速化が求められ、とくに漢字印刷での高速化対応にはレーザプリンタが最良とまでいわれている。漢字印刷用に開発されたレーザプリンターは、ドット密度を大幅に上げ字体の鮮明度を良好にしているが感光ドラム上の走査線は直線でもなおかつ平行で等間隔でなければならない。そのためには回転するポリゴンミラーのわずかな振動、面振れ、ミラー面の角度精度等が大きな問題となり、ミラー面の各精度がしだいに厳しくなっている。ポリゴンミラーの一般的な精度を Fig. 1 に示す。

#### 3. ポリゴンミラー加工機

##### 3.1 概要

精密機械としてはできるだけシンプルな構造でしかも主要部分に精密機素を効果的に用い、振動あるいは熱変位に対して十分考慮を払う必要がある。新しく開発したポリゴンミラー加工機はカット主軸に摩擦損失が小さく発熱の少ないエアスピンドルを用い、ワーク切削送りテーブルにスティックスリップがなく優れた直進精度が得られる静圧油スライドを用いるとともに送り駆動には他に例を見ない独特の静圧油ねじを用い優れた送り精度

\* 第8回光学シンポジウム (1983年6月20日, 東京) において講演

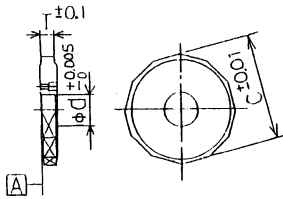


Fig. 1 Accuracy of the polygonal mirrors.

ITEMS	SPECIFICATIONS	CUTTING RESULTS
DIVIDING ANGLE	SECONDS OF ARC $\pm 10$	$\pm 5''$
ANGULAR DIFFERENCE BETWEEN ANY TWO SURFACES	SECONDS OF ARC 4	4''
TILT OF SURFACE TO DATUM PLANE	SECONDS OF ARC $\pm 5$	$\pm 4''$
SURFACE FLATNESS	$\frac{\lambda}{6}$ $\lambda=632$ nm	$\frac{\lambda}{8}$
SURFACE ROUGHNESS	0.05 $\mu$ m R max	0.02
REFLECTING RATE	85% $\lambda=632$ nm	90%

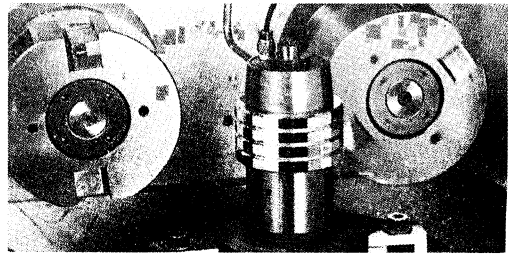


Fig. 3 Main cutting part.

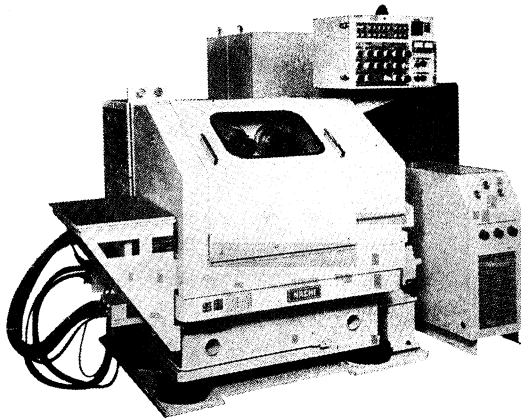


Fig. 2 General view of machine.

と、極低速送りをスムーズに安定した状態で得ることが可能である。本機の全体概観を Fig. 2 に示す。

本機の特長をまとめて列記する。

- (1) 優れた回転精度で発熱が極端に低い高剛性なエアスピンドルをカッタ主軸に採用。
- (2) 2本のエアスピンドルを用い、粗切削と仕上げ切削を独立させ、作業性をよくしている。
- (3) 減衰性に優れ高度な直進性で安定した微速送りが可能な静圧油ねじ、静圧油スライドを送りテーブルに採用、温度変位を防止するため静圧作動油ユニットに油温制御装置を併設し  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  に管理している。
- (4) 特殊コンクリートを充填した箱型ベットのエアマウントで床浮上させ、回転および送り駆動用モータを本体とは別置として外乱振動の伝播を防止している。
- (5) ワーククランプ治具は軟質金属ワークにクラン

プ歪を発生させないため特殊な空圧クランプ治具 (Fig. 3) を用いている。

- (6) バイト形状は特殊形状を用い、バイトのセットを容易にするためバイトセット角度微調整装置付きのカッタヘッドを用いている。
- (7) 切削戻り工程では特殊な機構をもたせカッタヘッドおよびワークテーブルいずれもリリーフせずに、切削送りの運動線上を直線的に戻るため振動要因が少なく、バイト先端とワーク分割中心寸法が変わらない利点がある。
- (8) 切削液吐出および切屑排除にも独特な工夫が施され切削熱除去、切屑干渉によるスクラッチ防止に有利である。

### 3.2 カッタスピンドル系

機械本体とは別置された DC モータと機械本体上に設置されたカッタスピンドルは平ベルトで接続されており軸間距離の変動はテンションプーリーで吸収している。本体上のカッタスピンドル系はプーリー支持用中間スピンドルとカッタスピンドルをフレキシブルカップリングで接続し振動伝播を防止している。

ベルト駆動のためのプーリーを支持する中間軸を本体上に置く構造を疑問視する向きもあるが、対策としてのモータ直結による場合の振動防止、発熱防止の問題、あるいは、中間軸、カップリングをモータ軸側に移しカッタスピンドル後端にプーリーを直結しての駆動の場合のベルト厚さ不同、重量バランス、経時的厚さ変化の発生等の問題がありメンテナンス面で非常に不利となる。

本機の構造での回転精度は  $0.05 \mu\text{m}$  以下に入っており実際のポリゴン鏡面仕上げ加工では平面度は  $\lambda/8 \sim \lambda/10$  ( $\lambda=632$  nm) が得られていることから、本機の目的としては十分満足のいくところであると判断している。

### 3.3 ワークスライド系 (Fig. 4)

本体と別置の送り駆動用 DC モータと、本体上の送りねじ軸とはベルトで接続され軸間距離の変動はテンションプーリーで吸収しているのはスピンドル系と同じであ

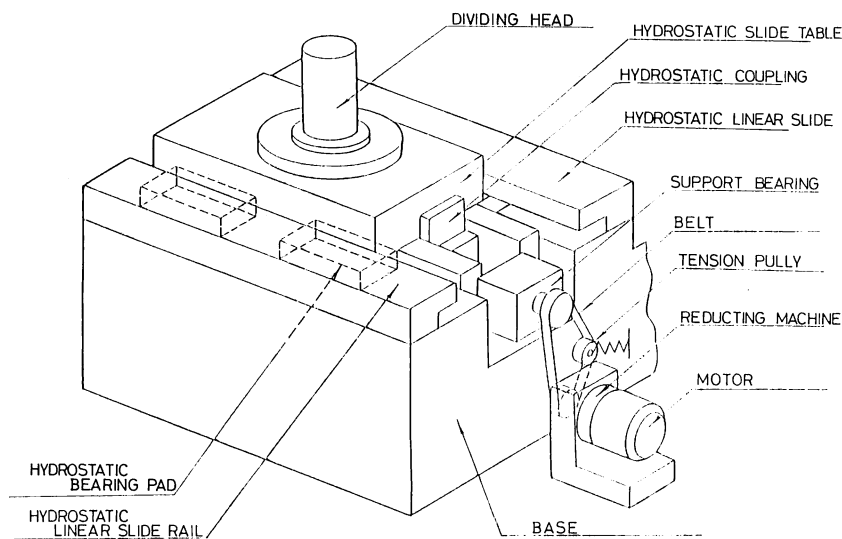


Fig. 4 Hydrostatic linear slide.

る。

本機の最大の特徴は、ワーク送りテーブルに油を用いた静圧構造を用いたことである。とくに送りねじには他に例を見ない静圧(油)ねじを用い、送りテーブルとしてはスティックスリップがなく、切削あるいは外乱振動に対して優れた減衰性を発揮し、厚い油膜による平均化効果によって優れた送り精度が得られている。

ダイヤモンドによる超精密平面加工の場合、テーブルの直進精度がより必要であるが、さらに微小で安定した送り量が得られなければならない。かかる点から静圧油ねじが送り駆動ねじとしては最良と考えられる。

テーブルスライドは駆動ねじ軸を中心に上下および左右対称に静圧軸受を配置され、駆動に伴うモーメントが発生しないよう配慮されている。テーブルの摺動ストロークは加工に必要なストローク以上に大きくとり、加工サイクル完了後機上測定が可能となるために取り付けした測定ステージにできるだけ加工物が近づけるようにしてある。これは仕上げ加工における切込み量が微小かつ均一でなければならない、いったん取付け治具から加工物を取りはずしてしまうと再加工に当たっては多大な工数を必要とするため機上では主として簡易レーザー発振器(低出力)での反射スポットの散乱状態あるいはオートコリメータによる角度相互差の測定が行なえるように測定ステージをベッド端にとりつけてある。

送り摺動テーブルと直交してクロススライドを設け、切込み調整や異寸法ミラーの加工のための段取にのみ使用し加工サイクル中および同一寸法ミラー加工の場合に

はクランプされている。

### 3.4 切削サイクル

本機は粗切削と仕上げ切削に独立性をもたせ2本のカッタスピンドルを設けている。粗切削には焼結ダイヤモンドのRバイトを用いる。仕上げ切削には単結晶ダイヤモンドで特殊形状のバイトを用いている。とくに仕上げ切削用のバイト形状は高品位な鏡面を得るため、剛性のあるシャンク形状でかつ切削性、刃先稜線のシャープ性に優れるとともにパニシング効果を付与する刃先形状が必要である。この刃先形状とバイトのセット角度調整により最終ミラー面の精度が決定されるのである。バイト形状を決めダイヤモンドバイトメカからバイトを購入してもバイトそれぞれに加工誤差があり同一ロットで購入したバイトでも微妙な形状差がありバイトのセットを変えて確認テストを行なう必要がある。そのためバイトのセットを調整しやすい構造にしておく必要がある。また軟質金属切削の場合切削面で弾性回復現象が発生し、この弾性回復面をいかに均一で引き目が消えるようにパニシングを行なうかがポイントとなる。

加工面性状で平面度と反射率だけで見る限り、R形状のバイトでも対応できる。10 mmRのバイトでの切削例では平面度は $\lambda/8$  ( $\lambda=632$  nm)、反射率は90% ( $\lambda=632$  nm) が得られているが、2 mWのHe-Neレーザー照射による反射スポットでは、ある送り速度での切削面は散乱がなく良好な面が得られているが、良好な切削面が得られる送り速度範囲が小さく、他の送り速度範囲ではほとんどが散乱現象を示している。したがって反射ミラ

一面を得るには、Rバイトの形状差 (購入バイトのばらつき)、許容送り速度範囲の選択ほかの面から実用性は認められない。

加工サイクルとしては精密分割盤上のワーク取付け治具にクランプされたワークが、粗切削用カッタスピンドルの前で往復、分割を繰り返してN面の加工を行ない、次に仕上げスピンドルの前へテーブルが移動してきて同様にN面のミラー仕上げが行なわれる。ここで本機の特徴は、カッタスピンドルおよびワークテーブルいずれもリーフセずに分割しながらテーブルを戻す構造をとっていることである。粗切削、仕上げ切削ともに、1面がテーブル移動して切削されるとそのつどカッタスピンドルが定位置停止しカッタヘッドのバイト突出し懐を利用してテーブルを後退させている。これは往復テーブル以外は強固にクランプしたままで切削が可能となり断続切削荷重に対する負荷能力を向上させるとともに振動系のシンプル化およびバイト刃先点とワーク分割中心の寸法の変化に大きな利点となっている。

#### 4. ポリゴンミラー用素材

ポリゴンミラーの材料選定に当たっては、高速回転に耐える強度をもち、単結晶ダイヤモンドバイトにより高品位ミラー面が容易に得られることに留意しなければならない。この条件を満たし最適なポリゴンミラーの材

料としてアルミニウム合金がある。しかし反射ミラー面の要求品質から市販のアルミニウム合金では採用できない。当初市販のアルミニウム合金では安定したミラー面が得られないため、Al材料メカの協力を得て、改良材種を試作してもらいトライアルカットを続けた結果、高品位なミラー面が安定して得られる材料の提供を受けうる状態となった。この材料は特殊精錬の高純度アルミニウム地金をベースとしMgのほか微量の二、三の元素を添加した合金で、添加元素はほぼ完全にアルミニウム中に固容する範囲でいれられ、結晶粒内および粒界にも金属間化合物の晶出、析出がほとんどないので、加工性が非常に優れ安定した高品質なミラー面が容易に得られるとともにダイヤモンドバイトの寿命にも有利である。

#### 5. 加工データおよび評価

##### 5.1 ミラー面性状簡易評価法

2mW前後の低出力He-Neレーザを切削ミラー面に照射し、その反射スポットの状態を判断して評価する。切削面にバイトの引き目あるいは切削方向のスクラッチが生じている場合はそれに直角方向に光が散乱し切削後の洗浄不良でミラー面が曇っている場合も散乱を示す。

ポリゴンミラー加工後の評価に用いる場合は加工機上

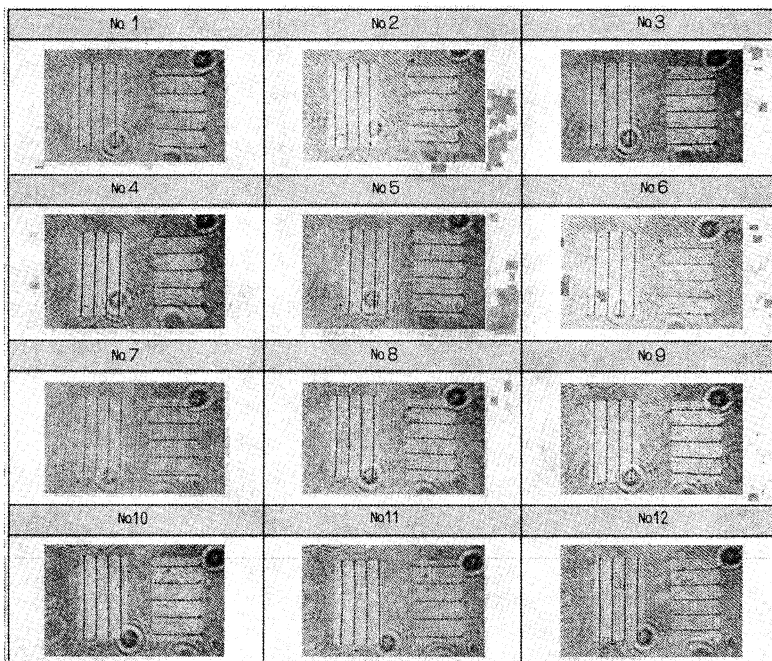


Fig. 5 Surface flatness.

で本方法を用いて評価し不良であれば再切削を行なう手段に便利である。

5.2 平面度

レーザ干渉計を用い干渉縞の直線性、平行状態によりミラー面の平面度および周囲のダレの状態を評価する。

切削面の平面度測定結果を Fig. 5 に示す。それぞれの平面度パターンに縦と横の干渉縞があるが、縦の干渉縞はミラー面にレーザが走査する方向の平面度を表わし、横の干渉縞はそれに直角な方向の平面度を表わす。

切削条件は仕上げ切削で、カッタスピンドル回転数 1,800 rpm, 切削速度 700 m/min, 切込み速度 10 μm/rev, 切込み量 5 μm で白灯油ミストを連続に吐出している。

5.3 表面粗さ

表面粗さは現状触針式表面粗さ計にたよるざるをえないため、製品であるミラー面の直接測定はできない。したがってダミーワークでの測定で評価となる。触針式のものゝ測定圧で表面に傷がつくと同時に実際の表面の真の面粗さを正確に表わしているとはいえず、難点があるため、非接触でしかも低価格の面粗さ測定器が望まれている。現状触圧の小さいタリーステップでダミーワークを測定して評価されるのが一般である。

5.4 角度測定

角度測定としては分割角度、基準面に対する各ミラー面のタオレ相互差 (P-V 値, 隣接) がある。現在この測定システムが市販ではないので、精密分割盤の上に被測定物をのせ、分割しながらオートコリメータで測定されるが、信頼性に問題がある。

われわれは平面度 λ/10 のオプティカルフラット上に、

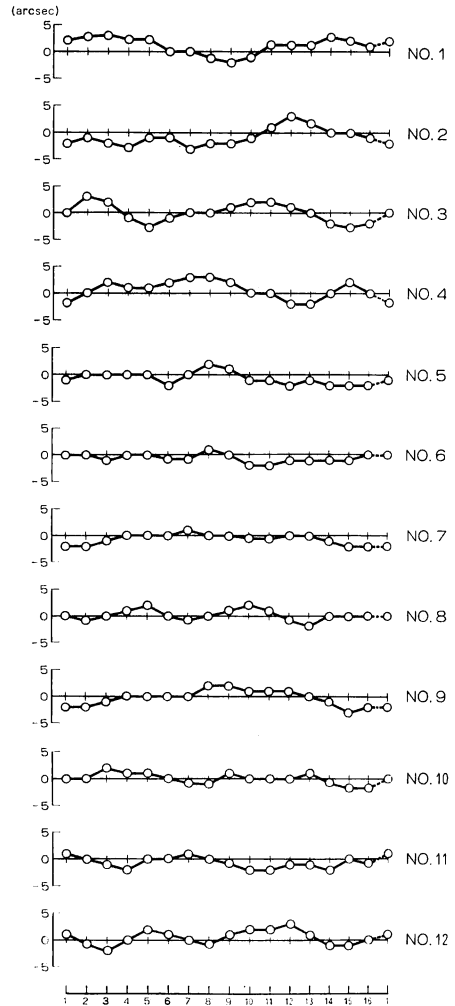


Fig. 6 Angle deviation ref. datum plane.

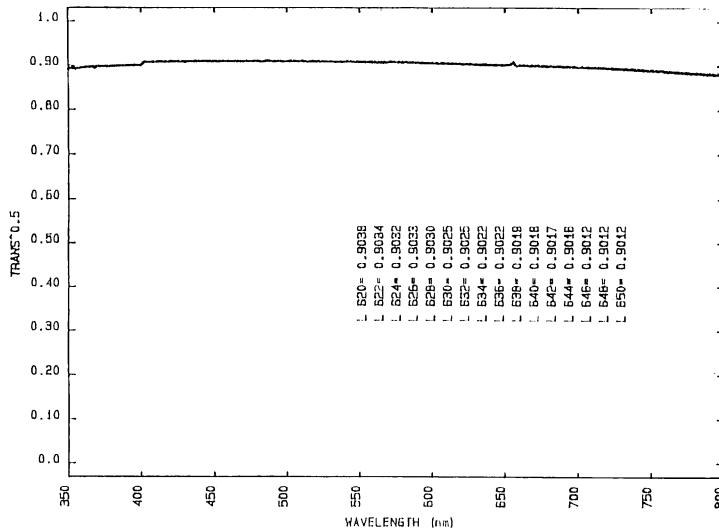


Fig. 7 Reflectivity after diamond turning.

真球度相互差を極端に抑えた鋼球3個をのせ、その上に被測定物をのせて測定している。

基準面に対するミラー面のタオレ相互差の測定結果を Fig. 6 に示す。P-V 値で 6" 以下、隣接で 3" 以下に入っている。

### 5.5 反 射 率

一般には市販の分光光度計で測定が可能である。切削後の反射率で 90% をクリアすることも可能であるが (Fig. 7) 保護被膜を coating すると 2~3% 反射率が低下することが確認されている。

## 6. ま と め

従来のラップ仕上げによる反射ミラーと同等以上の品

質をダイヤモンドバイトで高能率に加工することを可能とした加工機械の強度・振動・熱変位、精度の問題もさることながら、ワークの材料・工具および加工条件の因子による影響も大きく、さらに前加工技術、評価するための測定技術の研究も重要性を占めている。

超精密加工の場合は、とくに周辺技術を含めた関連技術の確立が必要であり、超精密加工に限界はあると考えてはいるが極限に向かって検討をさらに進めたいと考えている。

最後に本機の開発の端緒を与えられ技術的ご指導を賜ったシャープ技術研究所内藤所長に深く謝意を表わす次第である。