

タービンブレード加工用ならい制御ベルト研削盤

A Copying Abrasive Belt Grinder for Manufacturing of Turbine Blades

植松 哲太郎・大島 康次郎*

Tetsutaro UEMATSU and Yasujiro OSHIMA

1. ま え が き

タービンブレードのプロフィール部の加工は、一般に、図1に示す工程で行なわれる。図1の、寸法精度を出

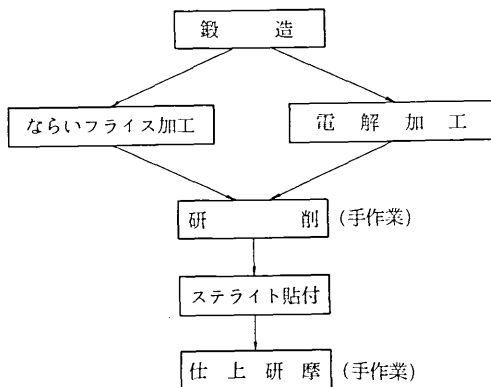


図1 タービンブレードプロフィール部の加工工程

すことを目的とした研削工程と最終段の仕上研磨工程は、ブレードが三次元的ねじれをもっているために、機械加工が困難である。従来は、作業者がブレードを手にかかえて、ベルトサンダの走行するベルトにブレードを当てることによって加工が行われてきた。しかしこの作業は、高度の熟練を要するのに加えて、研削粉が飛び散る、悪い環境での作業であるために、それに従事する作業員が近年減少しつつある。そのために、この作業の自動化に対する要望は非常に強い。

従来からも、たとえばPratt & Whitney社のカムを用いた純機械式ならいベルト研削盤などがあるが、これは相当の加工時間を要するうえに、加工対象が小型の航空機用タービンブレードに限られている。

筆者らは、船用および陸用の大型タービンブレードのプロフィール部を高速度、高精度で加工できる自動ベルト研削盤の開発を目的として、その制御方式を検討した。

対象とする加工物は、一例として図2および図3に示す形状をもっている。図2はタービンブレードの立面図であり、図3は図2の線R—R，H1—H1，

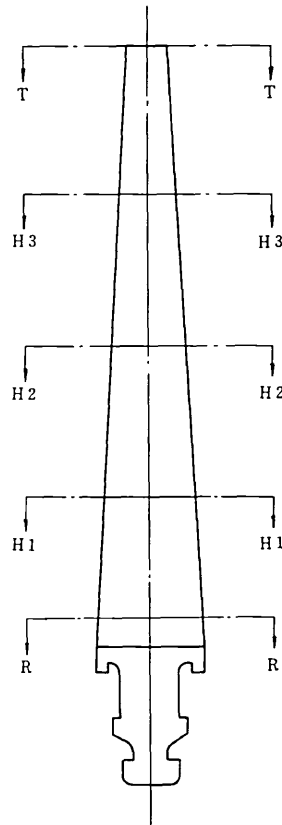


図2 タービンブレード立面図

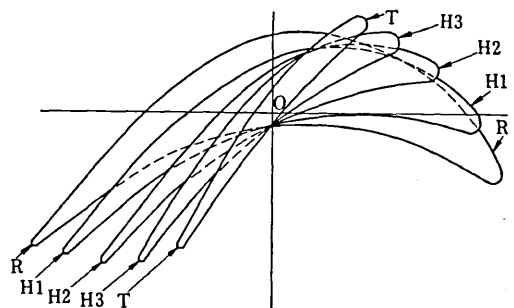


図3 タービンブレード横断面図

* 東京大学生産技術研究所 第2部

H2—H2, H3—H3, T—Tの方向に眺めた横断面図を重ねたものである。ブレードは、図3の断面図を高さ方向になめらかに接続した、三次元的ねじれをもつ。

このようなブレードの研削工程を効果的に自動化する方法として、数値制御方式または電氣的な制御方式が考えられる。しかし上述したブレードの三次元的ねじれのために、数値制御用の寸法情報を含む指令テープを作成することは、相当の労力を要する困難な作業である。一方、なりの制御方式の場合は、具体的な寸法情報を必要としないという利点はあるが、ベルト研削における工具と加工物の位置関係が図4に示すようになるので、従来のなりのフライス盤による輪郭加工とは別のなりの制御方式が必要になる。

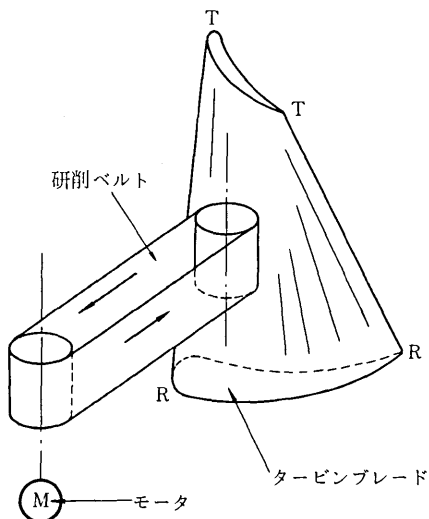


図4 ベルト研削の工具と加工物

そこで、加工物を回転運動させ、工具を一次元的に直線運動させることによって、加工物輪郭を一定周速度で加工するための新しいなりの制御方式を導き出すとともに、加工物の三次元ねじれに適応して工具の運動を制御するように検出器および工具部分の機構を工夫することによって、満足のいく加工速度および精度をもつ自動ベルト研削盤の開発に成功した。この装置を、その制御方式を中心にして、以下に説明する。

2. 制御方式

2.1 従来の輪郭なりの制御方式

従来のなりのフライス盤による輪郭加工における制御方式を、図5を参照しながら簡単に説明する。制御目標は、モデル（加工物）の輪郭に沿ったスタイラス（工具）の接触点の移動速度（周速度）が一定になるようにスタイラス（工具）の運動を制御することであ

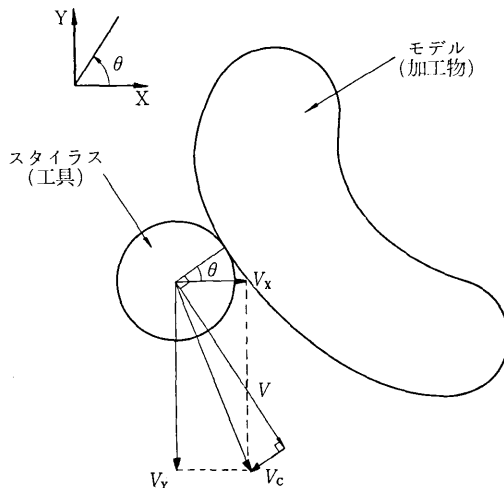


図5 なりフライス盤による二次元輪郭なりの

る。図5で、スタイラス中心からモデルとの接触点に向う半径（接触点における輪郭の法線）とX軸の正方向とのなす角度を θ 、輪郭の接線方向に向かうスタイラス中心の速度を V （＝一定）、モデルとの接触によって生じるスタイラス中心の法線方向偏位 ε を規準値 ε_0 に一致させるための位置補正ベクトルを V_c として、スタイラスと工具をX軸およびY軸方向にそれぞれ

$$V_x = V \sin \theta - V_c \cos \theta \quad (1)$$

$$V_y = -V \cos \theta - V_c \sin \theta \quad (2)$$

$$\text{ただし, } V_c = K(\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (K: \text{定数}) \quad (3)$$

なる速度で運動させる。(1), (2)式の右辺第1項は周速度を一定にするための速度制御項, 第2項は、スタイラスを常にモデルに接触させておくための位置制御項と言える。(実際には、モデルと加工物をのせたテーブルに対してスタイラスと工具が相対的に(1), (2)式の速度を生じるように、テーブルをX軸およびY軸方向に同時駆動する形式が多い。)

図5からも明かなように、従来の(1), (2)式に従った速度制御では、あくまでもスタイラス中心の接線方向速度が一定になるのであって、モデルの輪郭に沿ったスタイラス接触点の移動速度は厳密には一定にならない。

2.2 厳密な接点周速度一定のなりの制御方式

いま半径 r のスタイラスが図6のⅠの位置（実線で示す位置、中心 O_s ）にあって、モデル上のA点でモデルに接しているとする。微小時間 Δt の間に、スタイラスがモデルに接しながらⅡの位置（破線で示す位置、中心 O'_s ）まで移動して、モデル上のA'点でモデルに接するとする。輪郭 $\widehat{AA'}$ は微小であるから、これを近似点に円弧と考え、その中心をMとすれば、スタイラス中心の移動軌跡 $\widehat{O_s O'_s}$ もM点を中心とする円弧になる。 $\widehat{AA'} = \Delta \theta$, $\widehat{O_s O'_s} = \Delta \ell$ とし、点A, A'における法

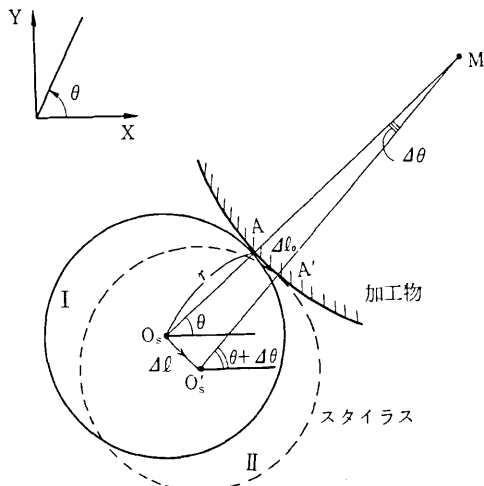


図6 スタイラス中心速度と接点速度

線 O_sA , O_sA' のX軸正方向に対する角度をそれぞれ θ , $\theta + \Delta\theta$ とすれば, $\angle O_sMO_s' = \Delta\theta$ となることから

$$\Delta l - \Delta l_0 = r \Delta\theta$$

両辺を時間 Δt で割って

$$\frac{\Delta l}{\Delta t} - \frac{\Delta l_0}{\Delta t} = r \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (4)$$

スタイラス中心の速度を V , モデル上の接点の移動速度を V_0 とすれば

$$V = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t}, \quad V_0 = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l_0}{\Delta t}$$

であるから, (4)式で $\Delta t \rightarrow 0$ の極限をとって

$$V - V_0 = r \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

となる。

(5)式の右辺は, モデル輪郭の法線方向が変化することによるスタイラス上の接点の移動速度を表している。(5)式の各項は, A点における接線方向に向かう速度である。

したがって, 従来の方式のように, スタイラス中心速度 V が一定値になるように制御した場合は, モデル上の接点の移動速度 $V_0 (= V - r(d\theta/dt))$ は一定にならない。逆に, V_0 を一定値として,

$$V = V_0 + r \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

なる速度でスタイラスと工具の中心を駆動しなければならない。

モデルの輪郭が直線の場合は, 法線方向が変化しないので $d\theta/dt = 0$, したがって $V = V_0$ となるので, 従来の制御式(1), (2)で問題はないが, 一般に曲線の場合は $r(d\theta/dt)$ の項の影響が現れ, スタイラス(工具)の半径 r が大きい場合, あるいは輪郭の曲率の変化が大きい場合にはこれを無視できない。

2.3 ベルト研削盤における輪郭ならい制御方式

ならいフライス盤による輪郭加工では, 図5からも明らかなように, 加工物の周囲全体を加工した場合に, 工具の全周が加工物に少なくとも一度は接触する。

ベルト研削盤では, 図7に示すように, フライス盤の工具に相当するコンタクトホイールとベルト駆動モータのプーリとの間に研削ベルトがかけられているために, 加工物に接触して加工能力を有する工具周上の範囲は, 図7のX軸を中心とする約 $\pm 60^\circ$ の範囲に限られる。したがって加工物の一断面の全周を研削加工するためには, モータ, プーリ, コンタクトホイールおよび研削ベルトから成る研削ヘッド全体を, 図7に示すように加工物のまわりに回転させるか, あるいは加工物を回転させねばならない。研削ヘッドは相当の大きさと重量をもっていて, 前者の方法は好ましくないで, ここでは後者の方法を採用する。すなわち図7で, 研削ヘッド全体をコンタクトホイールの中心を通るX軸方向に速度 V_x で移動させ, 加工物を, X軸上にある, その横断面内の一点を中心として, 角速度 ω で回転させる。このとき, 加工物輪郭上の, コンタクトホイールとの接触点が, 加工物輪郭に沿って一定速度で移動するように速度 V_x と ω を制御すればよい。

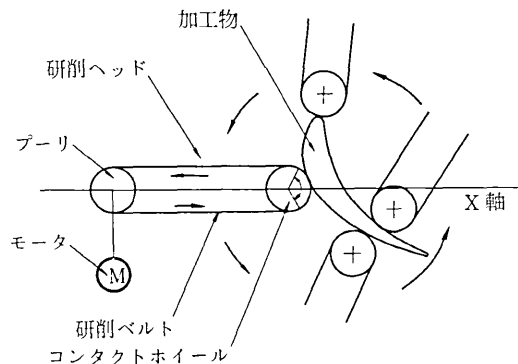


図7 研削ヘッドと加工物

図8は, スタイラス(コンタクトホイール)とモデル(加工物)の接触状態を示す断面図である。モデルはX軸上の, 断面に垂直な固定軸 O_m のまわりに, つねに時計方向に角速度 ω で回転する。スタイラスは半径 r の円筒で, その中心 O_s はX軸上で, 図の右向きを正として, X軸に沿って速度 V_x で左右に直線運動する。いまモデルとスタイラスが図8に示すように接しているとき, モデル輪郭上の接触点をA, スタイラス周上の接触点をSとする。(すなわち点Aと点Sが点接触している。)半径 O_sS (接点における法線)がX軸正方向に対してなす角度を反時計まわりに θ とし, 線分 O_mA がX軸負方向に対してなす角度を時計まわりに α とする。A点における接線方向の速度制御だけを考えると, モデル上の接触点が一定速度 V_0 で移動するためには, 前述し

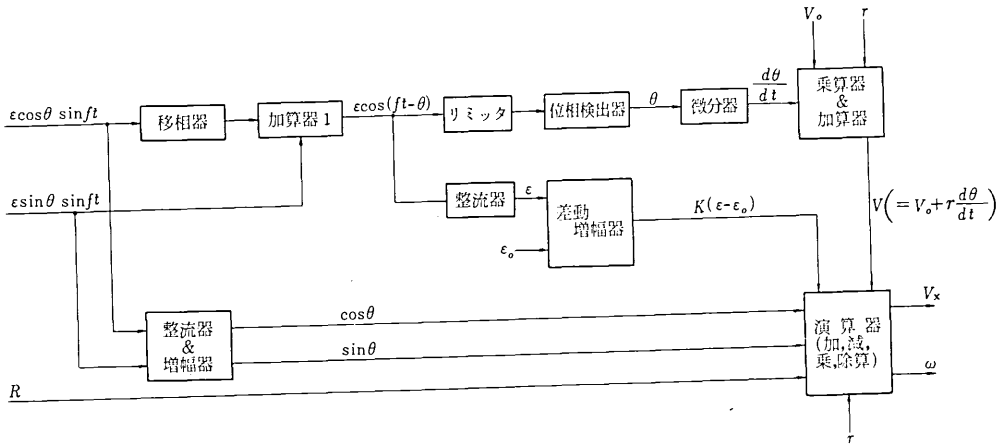


図10 制御回路 I のブロック線図

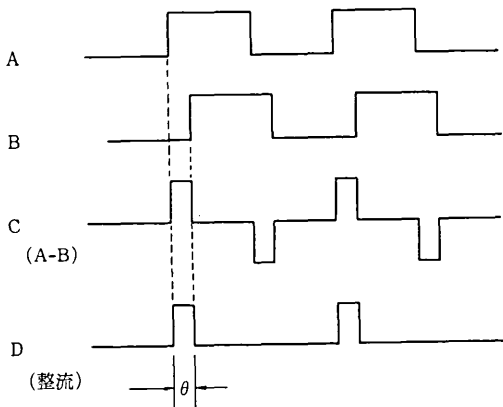


図11 位相検出器内の信号

と Y 軸方向偏位 $\epsilon \sin \theta$ が検出され、直動型差動トランスを用いて X 軸方向距離 $O_s O_M$ を測定することによって r が検出される。

制御回路 I の内部の信号処理要素のブロック線図を図10に示す。偏位信号 $\epsilon \cos \theta$ 、 $\epsilon \sin \theta$ は、トレーサヘッド内の差動トランスの搬送波 $\sin ft$ によって、それぞれ $\epsilon \cos \theta \sin ft$ 、 $\epsilon \sin \theta \sin ft$ なる交流信号の形で制御回路 I の中に入る。前者を移相器に通して位相を 90° ずらせて $\epsilon \cos \theta \cos ft$ とし、加算器 1 で後者に加えることによって信号 $\epsilon \cos (ft - \theta)$ が得られる。この信号をリミッタに通して振幅を調整した後に、位相検出器に通す。位相検出器は、基準信号 $\cos ft$ とリミッタ出力 $\cos (ft - \theta)$ を入力として受けて、それぞれを図11の A および B に示す一定振幅の方形波に変換する。つぎに方形波 A と B の差をとり、さらに整流すれば、図11の D に示すような、位相差 θ の幅をもつ方形波が得られるので、これから θ に対応する出力が得られる。

信号 θ を RC 型微分器に通して信号 $d\theta/dt$ が得られ

る。微分器は、別の形として、2 個のサンプルホールド回路を用いて、微小時間 Δt 離れた時刻における θ の値を検出し、その差 $\Delta \theta$ を求め、 $d\theta/dt$ の近似値として $\Delta \theta / \Delta t$ を得ることもできる。微分器出力 $d\theta/dt$ と、定数である接点周速度 V_0 、スタイラス半径 r を乗算および加算器に通すことによって、(6) 式の数値信号 $V = V_0 + r (d\theta/dt)$ が得られる。

加算器 1 の出力信号 $\epsilon \cos (ft - \theta)$ を整流器に通すことによって ϵ に対応する直流電圧が得られるので、定数 ϵ_0 とともに差動増幅器に通すことによって、信号 $K(\epsilon - \epsilon_0)$ が得られる。

スタイラス偏位 ϵ はサーボ系によって規準値 ϵ_0 の近傍に保持されるから、トレーサヘッドから来る信号 $\epsilon \cos \theta \sin ft$ 、 $\epsilon \sin \theta \sin ft$ は、振幅がそれぞれ $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$ に比例して変化する交流電圧信号とみなせる。したがってこれらの信号を整流、増幅することによって、 $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$ に対応する直流電圧信号が得られる。

以上の信号 V 、 $K(\epsilon - \epsilon_0)$ 、 $\cos \theta$ 、 $\sin \theta$ と入力信号 R および定数信号 r を演算器に入力して、(14)、(15) 式に従った加減乗除の計算をすることによって速度 V_x と ω が得られる。

制御モータ M_x は、制御回路 I から速度指令を受けて、研削ヘッドおよびスタイラスを速度 V_x で駆動する。制御モータ M_ω は、制御回路 I から速度指令を受けて、加工物およびモデルを速度 ω で駆動する。モータ M_x および M_ω はともにミナーシャモータで、出力はそれぞれ 0.75 kW、3.08 kW である。

ここで、おもな定数、変数の数値をあげると、定数は、 $r = 20 \sim 30 \text{ mm}$ 、 $\epsilon_0 = 0.6 \sim 0.8 \text{ mm}$ 、 $V_0 = 100 \sim 1,000 \text{ mm/min}$ の範囲の適当な値が選択される。変数は、 $R = 20 \sim 120 \text{ mm}$ 、 $\theta = 0^\circ \sim \pm 60^\circ$ 、 $V_x = 0 \sim \pm 1,500 \text{ mm/min}$ 、 $\omega = 0 \sim 60 \text{ rpm}$ の範囲で変動する。 ω の値は、(15) 式に従えば、微小時間の範囲で極端に大きくなることがあ

るが、モータ M_ω の最高速度および追従性の観点から、その場合にも 60 rpm までしか出せないように速度指令の上限を制限している。

ブレードの輪郭の曲率半径は、100mm 以上（背、腹部）から 1mm（エッジ部）まで変動し、それに対してスタイラス半径 r が相当大きいことと、 $d\theta/dt$ の値が大きい（ θ が最大 $\pm 60^\circ$ の範囲で変動し、モデルの一回転中にその符号が 4 回変わる）ことを考慮すると、本装置の場合、(6) 式の右辺第 2 項 $r(d\theta/dt)$ は明らかに無視できない。

ねじれに対する制御部分では、ねじれを検出するためにスタイラスが図 12 に示す構造になっている。円筒形スタイラスは、X 軸とモデルの回転軸を含む面（図 12 の紙面）内で、支点 O_p を中心にして矢印 $S-S'$ の方向に自由に揺動できるようにトレーサヘッドの腕の先端に取り付けられている。スタイラスは一定の接触圧（約 1,500g）でモデルに押し付けられているので、モデルの三次元ねじれによって傾斜したモデル表面に、スタイラスがつねに最大接触するように揺動する。スタイラスの $S-S'$ 方向の揺動角度 θ_1 は、トレーサヘッドの腕に固定された差動トランスの鉄心に、リンクを介して直線方向運動として伝えられ、差動トランスの出力電圧の形で検出される。 θ_1 の範囲は $\pm 15^\circ$ 以内である。

$S-S'$ 方向の揺動に加えて、スタイラスが X 軸に垂直な平面内でも自由に旋回できる機構についても検討したが、かえってスタイラスの姿勢の安定性が悪くなるという結果を生じた。そこでこの方向には、ねじれの強さによって $\pm 10^\circ$ の範囲で旋回量を手動設定して、加工中は固定した状態に保つ機構を採用した。現在までに加工の対象となったブレードについては、この旋回量設定値を 0° にした状態でも、スタイラスは十分にモデル表面に接触している。

スタイラスの揺動信号 θ_1 によって、図 9 にみるように、制御回路 II を介して制御モータ M_p が、スタイラスの揺動支点 O_p に対応するコンタクトホイール内の一点を中心にして、スタイラスの揺動と同じ平面内で、研削ヘッド全体を揺動させる。研削ヘッドの揺動角度

θ_2 は、スタイラスの場合と同様にリンク機構と差動トランスを介して検出され、入力信号 θ_1 にフィードバックされて、閉ループの位置制御系を構成する。制御回路 II は、 θ_1 と θ_2 の加算点も含めて、サーボ増幅器にすぎない。制御モータ M_p は、出力 0.75kW のミナーシャモータである。

4. ベルト研削盤全体の構成

これまで説明してきた制御機能を備えたベルト研削盤の正面概観図を図 13 に示す。

装置のベース上には 2 個の回転テーブルが設けられており、モデルと加工物が、その長さ方向軸を鉛直方向 Z 軸に平行にして、それぞれ回転テーブル上に油圧チャックによって固定されている。モデルと加工物の上端はテイルストックによって支持されている。モデルの材質は加工物と同じ合金鋼であるが、スタイラスの接触圧による弾性変形が少ないものであれば、他の材質も使用できる。2 個の回転テーブルは、ベース内部で制御モータ M_ω に共通に連結されて、角速度 ω で同期回転駆動される。

Z 軸送り台は、駆動モータ（図示されていない）によって、装置の支柱上で Z 軸方向に一定速度で往復動する。この Z 軸方向送り速度は、約 10~120 mm/min の範囲で手動設定できる。

X 軸送り台は、Z 軸送り台上に揺動可能なように取り付けられている。モデルと加工物の回転軸を通る水平方向直線を X 軸として、X 軸送り台は、Z 軸送り台上で、Z 軸送り台に対して X 軸方向に揺動する。この揺動速度 V_x は制御モータ M_x によって与えられる。

X 軸送り台上には、通常の電気式二次元なない制御用トレーサヘッドが固定されている。トレーサヘッドの L 字形腕の先端には、図 12 に示したようにスタイラスが取り付けられている。

スタイラスは、モデルに接触する側と反対側の一部を長さ方向に切り取られた半円筒形である。本装置では傾斜式トレーサヘッドを使用しているため、スタイラスおよびトレーサヘッド腕が中立点規準量 ε_0 だけ偏位した状態でスタイラス側面が Z 軸に平行になるよう

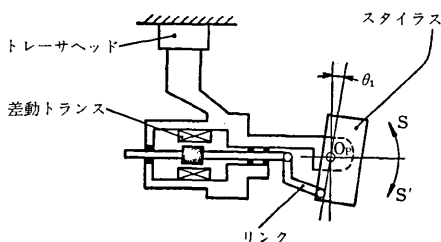


図12 スタイラスの揺動機構

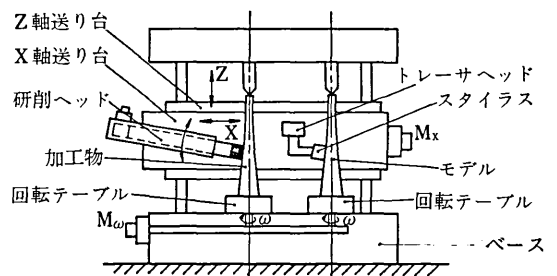


図13 装置の概観

に、スタイラス側面には、上方に向かうにつれて径の小さくなる、わずかのテーパがつけられている。スタイラスの直径は、コンタクトホイールの直径に、ベルト厚みによる補正とスタイラス中立点位置補正とを加えて、コンタクトホイールの直径より少し大きくなっている。またモデルとの摩擦係数を小さくするために、モデルに潤滑油を塗布するとともに、スタイラス表面がテフロンコーティングされている。

X軸送り台上には、研削ヘッドも取り付けられている。研削ヘッドは、スタイラスに対応して加工物に接触するコンタクトホイール、コンタクトホイールにかけられたベルト、ベルトを一定速度で走行させる駆動モータなどから成る。研削ヘッド全体がX軸送り台上で、前述したようにスタイラスの揺動に追従して揺動する。研削ヘッドは相当激しい運動を行なうので、むしろダイナミックバランスをとってはいるが、その重量はなるべく小さいことが好ましい。研削ヘッド上のベルト駆動モータは、約3.7kWの出力を必要とするので、軽量化の観点から電動機は好ましくなく、油圧モータを採用している。

スタイラスの円筒中心とコンタクトホイールの中心の間の距離 l_1 は、本来は、モデルの回転中心と加工物の回転中心の間の距離 l_2 に等しくなければならぬ。しかしベルト研削では、一般に最大切込みが約0.2mmであるために、加工物の取りしろがこれより大きい場合は、 $l_1 > l_2$ の状態から数度に分けて研削しなければならぬ。そのためにトレーサヘッドの位置をX軸送り台上でX軸方向に調整するための小型モータが設けられており、指示計を見ながら押ボタンを押すことによって、 l_1 を手動調整できるようになっている。

本装置の操作方法は次のようになる。最初に切込みが0.2mm以内になるように目安をつけて l_1 を設定する。Z軸送り台をZ軸の正方向に一定速度で駆動しながら、加工物の下端から上端までならい研削する。加工物の取りしろは不揃いのことが多く、この最初の研削は空研削部分が多いので、加工時間の短縮のためにZ軸方向送り速度を相当大きく設定する。次に l_1 を0.2mm以内の範囲で l_2 に近づけて、Z軸の負方向に同様にならい研削する。以後も同様にして、 l_1 を最大0.2mmの範囲で l_2 に近づけながら、Z軸の正または負方向の送りを繰り返し、最終的に $l_1 = l_2$ の状態まで研削を完了する。ベルトが摩耗してくると、 $l_1 < l_2$ の状態まで研削を続ける必要も生じる。Z軸方向送り速度は、空研削のなくなった行程で小さくし、最終工程では製品の仕上面を考慮してなるべく小さくする。

装置の操作は、研削状況を見ながら、操作盤上の数個の押ボタンとスイッチを押すだけで済むので、初心者でも1～2時間で操作方法を習得できる。また正面の戸を閉めることによって閉じたケース内で研削が行

われ、しかも研削油を使用できるので、研削粉が作業者にふりかかることはない。

写真1は装置の正面であり、図13に対応する。

写真2は、モデルに接触したスタイラスが傾斜している様子を示す。

写真3は、研削加工中の研削ヘッド全体が写真2のスタイラスの傾斜に追従して傾斜した様子を示す。

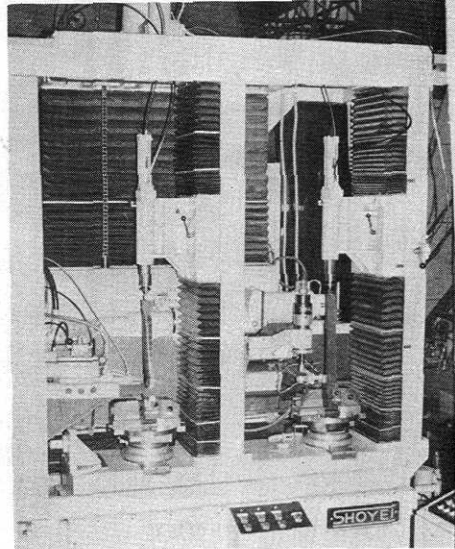


写真1 装置の正面

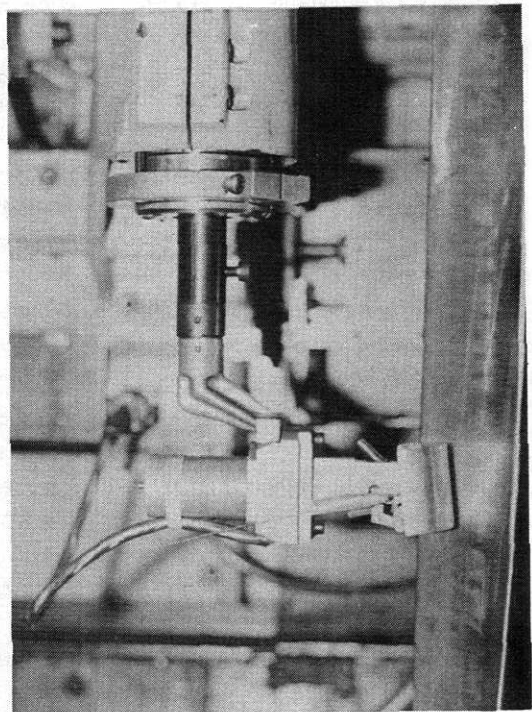


写真2 スタイラスの傾斜

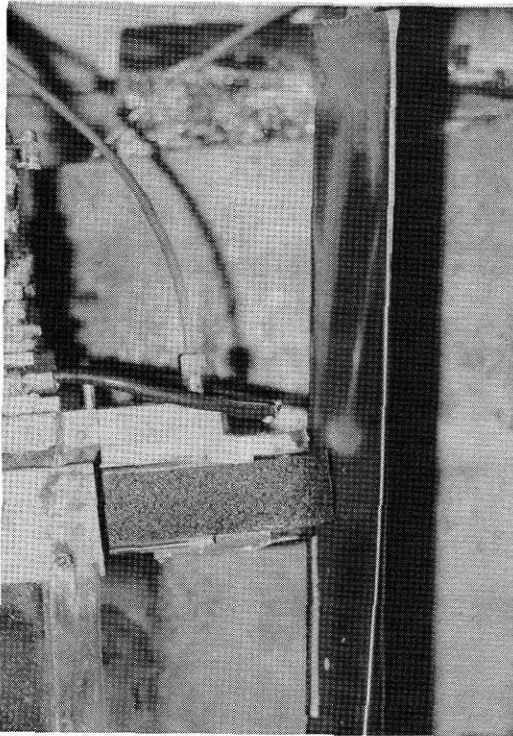


写真3 研削ヘッドの傾斜

5. 加工性能

本装置は、翼長 200~650mm, 最大翼幅 180mmの船用および陸用大型タービンプレードのプロフィル部を研削できる。一例として、表1に示す加工物を表2に示す加工条件で研削したとき、表3に示す加工結果が得られた。

表3に示すように、プロフィル部片側 $\pm 0.2\text{mm}$ の加工精度内におさめるのに、ブレード1本当たり、平均約40分を要した。従来の手作業では、同じ加工に約2倍の時間を要する。

この40分の加工時間中に、前述した切込み量の拘束のために、研削ヘッドをZ軸方向に3往復させた。Z軸方向送り回数をさらに増せば、多少の精度向上が得られるが、ならい制御方式によるベルト研削では、コンタクトホイール、ブレード双方の弾性変形を考慮すると、 $\pm 0.2\text{mm}$ の加工精度はほぼ限界に近く、また船用大型タービンプレードでは満足のいく精度である。

加工時間は、当然のことながら取りしろの大きさに左右される。その好例として、図1の前処理段階でならいフライス盤(RIGID)によって加工した場合は、残留取りしろが小さいために、Z軸方向に1往復させるだけで十分な精度が得られた。

加工精度は、現場では、いわゆるギロチンゲージと呼ばれる板ゲージで加工の可否を判定しているが、表3にあげた加工ブレードの一面面を三次元座標測定器

表1 加工物条件

加工物	船用大型タービンプレード
翼長	430mm
翼幅	85mm
材質	13% Cr-Mo鋼
前処理	鍛造+電解加工
取りしろ	プロフィル部片側につき0.5~1.0mm

表2 加工条件

スタイラス	寸法 形状 表面処理	$43\phi \times 40\text{mm}$ テーパ付半円筒形 テフロンコーティング
コンタクトホイール	寸法 形状 ゴム硬度	$40\phi \times 40\text{mm}$ クラウン付円筒形 60度
研削ベルト	粒度 走行速度	#36 1,000m/min
ならい速度		$V_0 = 800\text{mm/min}$

表3 加工結果

加工精度	片側につき $\pm 0.2\text{mm}$ 以内
平均所要時間	約40分/1本
仕上面あらさ	6~10s

で測定し、モデルの対応する部分と比較したものを図14に示す。図14で、+0.1とか-0.2の数値は、加工誤

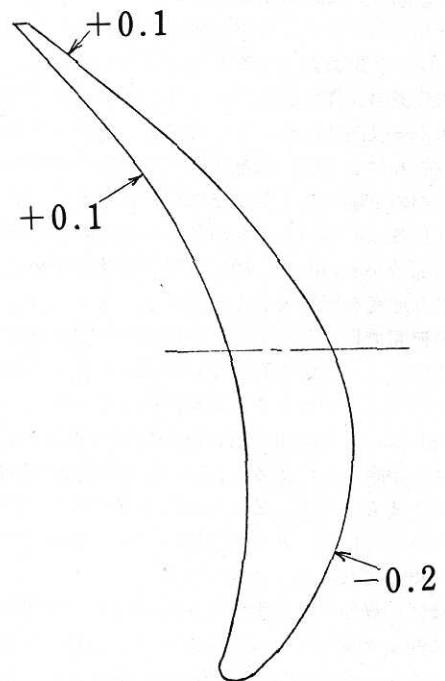


図14 加工精度 (H1-H1断面)

差を表わすものであり、その附近でモデルに対してそれぞれ0.1mmの研削不足、0.2mmの研削過剰になったことを意味する。図14には、加工誤差の大きい部分の数値だけを示したが、いずれも ± 0.2 mmの加工精度内に入っていることがわかる。他の断面についても同様である。

表3の仕上面あらさは6~10sになっている。これは、前処理段階での残留取りしりを短時間に研削することを目的として、重研削用のもっとも粗い#36のベルトを使用しているからである。船用タービンプレードでは、一般に6s以内の仕上面あらさが要求されるが、これは、図1に示すステライト貼付後の仕上研磨の段階で微細砥粒のベルトを使用することによって容易に実現される。

6. おわりに

工具の直線運動と加工物の回転運動とを組み合わせた、新しい周速一定ならい制御方式を導入することによって、ベルト研削工程の自動化という所期の目的を

十分に達成した。実用機はすでにタービンプレードの生産現場で稼動しており、良好な成績をおさめている。

今後、さらに次のような改良を施すことによって、その加工能力を一層向上させようである。

- (1) 前処理の加工精度は一般に相当悪く、Z軸方向送りの最初の1~2往復中は空研削部分が多いので、空研削を検出して、その間はZ軸方向に早送りする空研削除去機能を設ければ、加工時間はさらに短縮される。
- (2) 一組のスタイラスモデルに対して、ベルト加工物側を多軸にすることは容易に可能であり、それによってブレード1本当りの加工時間を大幅に減少させることができ、自動機としての機能が充分に発揮される。

終りに、本装置は、田原昭栄機工(株)および星電器製造(株)と筆者らとの共同開発によるものであることを明記するとともに、開発の途次、ユーザーの立場から有益な助言をいただいた川崎重工業(株)神戸工場に深く感謝いたします。

(1975年5月8日受理)



次号予告(8月号)

研究解説

塑性不安定について.....{ 山 田 嘉 昭
田 辺 誠

研究速報

最適経路決定の近似手法.....{ 浜 田 喬
佐 藤 和 雄

異形管のロール成形に関する実験的研究(第1報).....{ 木 内 学
新 谷 賢
岩 崎 利 弘

精製糖工場排水の処理方法の効果について.....{ 鈴 木 基 之
多 田 敬 幸
河 添 邦太朗

プルトニウム238熱源のカロリメトリー.....佐 藤 乙 丸

研究室紹介

鈴木研究室.....鈴 木 敬 愛