

フライス盤の精度検査

—主軸の温度上昇と加工品の精度—

山 本 英 司*

Accuracy Test of a Milling Machine

—Rise in Temperature of Main Spindle and Accuracy of Work—

Eiji YAMAMOTO

Abstract

This is a report on the accuracy of machining which is changed by a rise in temperature of main spindle.

The machine tool and cutters used in this experiment were a bed-type milling machine and end mills made of high speed steel respectively. The following conclusions were obtained.

1. In the case of high revolution number, the temperature of main spindle has risen remarkably for an hour. Since a dislocation of main spindle and a error of cutting surface increase with rise in temperature of it, a predrive is required.
2. The predrive had better be done in higher revolution number than used cutting condition. In this experiment, the revolution number of predrive is two times as many rotations as that of main spindle used, so that accuracy of work obtained by predrive only twenty minutes is sufficiently

1. 緒 言

主軸の温度上昇はその回転部分の焼け付や加工品の精度とも関連し、工作機械の性能に関する重要な項目の一つであり、JISの運転検査、たとえば JISB6239にも一検査項目として記されている。とくに数時間以上にわたって機械を休ませた後、再びその機械を使用する時には、主軸の温度上昇がはげしい。したがって主軸の変位つまり原点の移動も著しくなるので、自動化された機械にて、精密な部品を加工する場合には、主軸の温度上昇はとくに好ましくない。

本実験においては数値制御のフライス盤を用いて主軸の温度上昇とその温度上昇による加工品の精度誤差などを検討し、その結果を以下に報告する。

2. 実験方法

使用した機械はベット型フライス盤（豊田工機、Z1C型、主軸用電動機2.2kw）で、Fig.1に示すごとくユニバーサルヘッドをつけて実験した。なお、本機は

汎用のZ1C型フライス盤を昭和41年に豊田工機（株）にて、数値制御機として改造したものである。テーブルなどの送りはすべて制御装置 FANUC260（富士通信機製造製）による。送り量の設定単位は0.005mm/パルスで、無負荷時の自動送りの誤差は、いずれの場合も、0.005mm以内である。

実験は以下に示すごとく3段階に分けて行なった。

実験 1

主軸の回転による温度上昇を調べるため無負荷にて主軸を回転させ、主軸の温度上昇と、その温度上昇による主軸の変位量を測定した。主軸の温度は Fig.1に示すごとく、主軸の下部にアルコール温度計をゴム粘土で取りつけて測定した。主軸上部の温度も上昇するが、主軸下部の温度上昇と傾向が似ているので、その測定は省略する。

主軸の変位量は1/100mm目盛りのダイヤルケーシング2個をテーブルに固定し、テーブルよりの主軸下部の変位量を測定した。

実験 2

主軸の変位量が加工品の精度にどのような影響を

* 生産機械工学教室

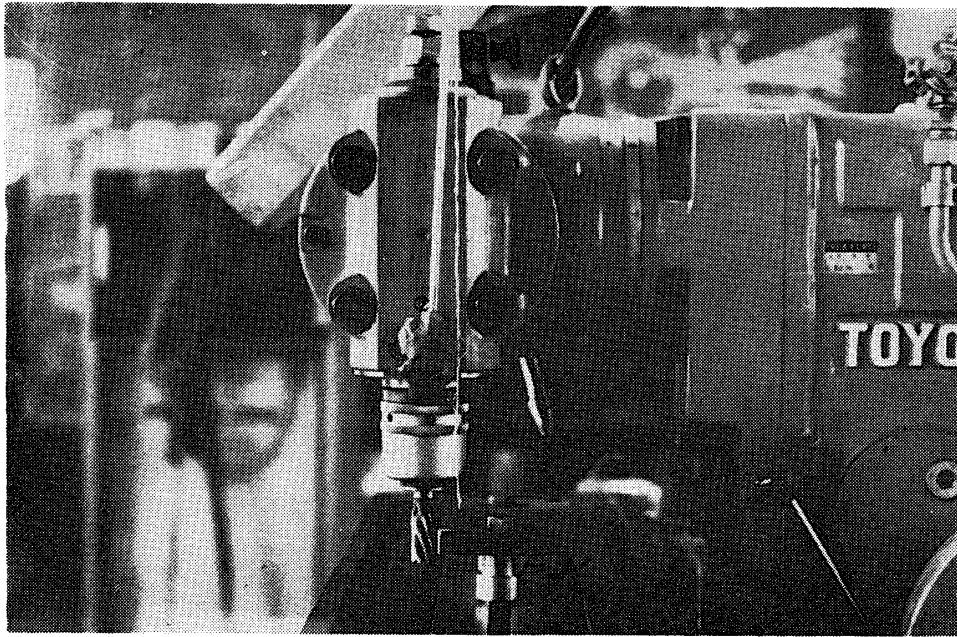


Fig. 1 Universal head of machine used and work

よぼすかを検討するため、切削時の主軸の温度上昇、加工品の精度などの測定を行なった。

切削の方式はエンドミルカッタによる側面切削つまり輪郭切削であり、切削条件はそのつど図に記入する。使用した被削材は鋳鉄でその硬度は $Hv=204$ である。カッタの形状は直径20mm、右刃左ねじれ、8枚刃、すくい角 0° で、その材質は高速度鋼である。

実験 3

実験1, 2にては主軸の温度などが安定するまでにかなりの時間を要したので、実験3にては早く主軸の温度、加工品の精度などを安定させる方法の実験、つまり予備運転に関する一検討を行なった。

3. 実験結果

3.1 実験 1

Fig.2 は種々の主軸回転数における、主軸の回転時間と主軸の温度上昇の関係を示すものである。Fig.2 では回転数が大きくなるほど、主軸の温度上昇は著しくなると同時に、主軸の温度が安定するのにも多くの時間を要す。主軸回転数300r.p.m.以上では、主軸の温度を安定させるのに、60~120分間主軸を回転する必要がある。

Fig.3 は上述の実験における主軸の温度上昇量とその変位量との関係で、両者の関係はX方向つまりテーブルの移動方向、Y方向つまりサドルの移動方向のいずれも、ほぼ直線的な関係にある。その変位の方向をコラムの側よりながめると、主軸は温度上昇により左前方へと移動する。

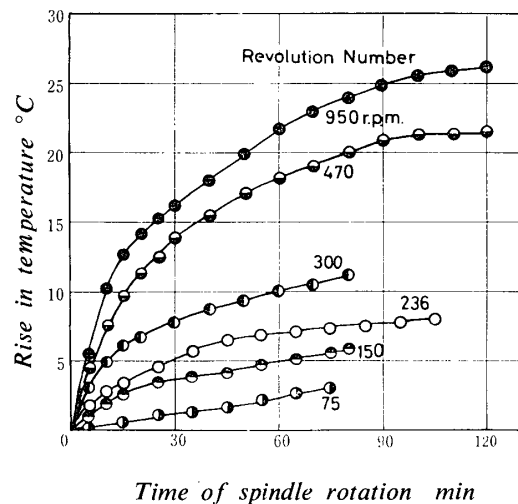


Fig. 2 Temperature curve in each revolution number.

Room temperature 15°C

回転数の大きい時ほど、主軸の温度上昇が著しいので、主軸の変位量も多くなっているが、その直線の勾配は小さい。低回転の場合にその勾配が大きくなるのは同一主軸温度上昇量に達するまでに、高回転の場合より多くの時間を要するため、主軸附近の熱分布の相異によるものと思う。

3.2 実験 2

実験1にて、無負荷時の主軸の温度上昇およびその変位量などを調べたが、実際には切削精度が問題となるので、ここでは加工品の精度や主軸の温度上昇などについて検討する。

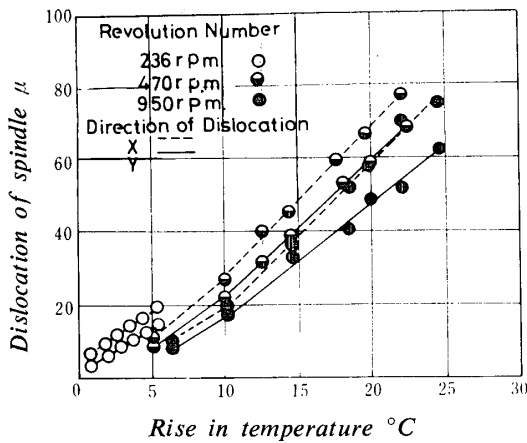


Fig. 3 Relation between rise in temperature and dislocation of spindle.
Room temperature 15°C

Fig. 4 は被削材を自動切削した時の切削方法の説明

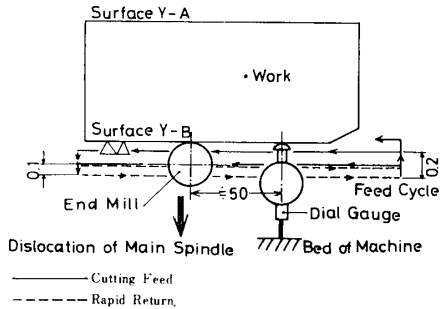


Fig. 4 Cutting method and accuracy measurement of the work.

Cutting condition

- Cutting speed 15m/min
- Depth of cut 0.1mm
- Feed 0.03mm/tooth
- Room temperature 7°C
- Up milling

図の実験では被削材の側面を切削した。その時の切削条件は $v \times d \times f = 15\text{m/min} \times 0.1\text{mm} \times 0.03\text{mm/tooth}$ である。ダイヤルゲージはカッタより常に約50mm隔れた位置になるよう機械のベッドに固定した。したがって加工品の精度は常にベッドとの相対誤差として測定されることになる。

被削材の加工部分に手を触れても温度がほとんど上がっていないこと、またカッタとダイヤルゲージの位置を常に一定距離に保つことにより、切削後より測定するまでの時間は一定となるので、切削熱による測定誤差は少ないものと思う。

加工面に残留する切くずによる測定誤差は、切くずを刷毛でていねいに取り除くことで、これを避けた。基準とした加工面は実験と全く同一切削条件で切削し

た面であるので、切削力による直接の影響はないと思う。

Fig. 5はFig. 4に示した切削方法にて、切削時間と加工品の精度との関係などを調べた結果である。

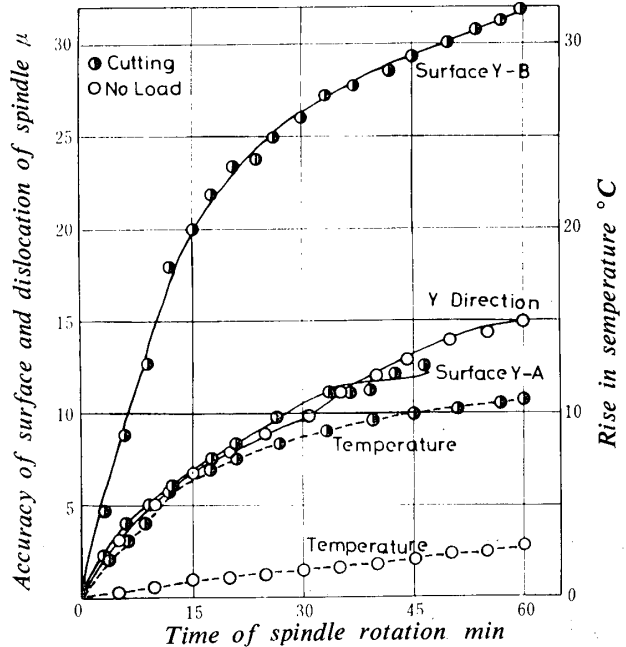


Fig 5 Comparison between cutting accuracy of surface and dislocation of spindle:
Cutting condition is shown in Fig. 4.

まず主軸の温度上昇は同一回転数にても無負荷の時より、負荷のかかった切削時の方が著しく、温度が安定するまでの時間も長くなっている。無負荷時のY方向の変位量とY-A面、Y-B面の加工精度を比較すると、Y-A面の加工精度の誤差は主軸の温度が上昇している割合には少ない誤差である。主軸の温度上昇に対するY-B面の加工精度の誤差、すなわち主軸の変位の方向が切込み量を減少させる方向に傾く場合の誤差は、無負荷時の主軸の温度上昇に対する主軸の変位量とほぼ等しい値である。

Y-A面の誤差が少ないのは、Y-A面の切削では主軸の変位方向と切込みの方向が同じであるので、主軸の変位により切込みが増す。そのために切削力が増大し、その切削力によってカッタが押し戻されるため、Y-A面の寸法誤差が小さくなったものと思う。

加工面の精度について考えると、Y-B面では30分の加工で、25μ以上の誤差が生じ、通常の数値制御の工作機械の設定単位が0.005mm/パルス~0.01mm/パルスの送り量を取っていることと考え合えると、この誤差は大きい。また精度を必要とする加工品の精度について考えても、やや大きい加工誤差と判断される。

Fig. 6は無負荷時と切削時の主軸の温度上昇を、同

一実験で比較した時の切削方法の説明図である。その

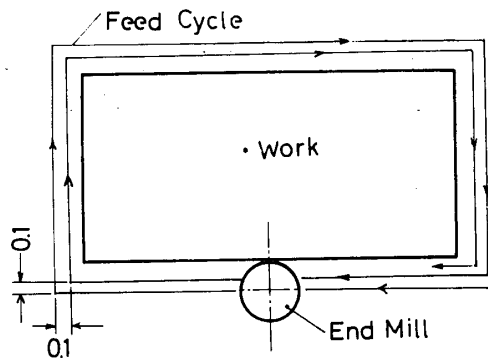


Fig. 6 Cutting method

Cutting condition

Cutting speed 15m/min (236 r.p.m.)

Depth of cut 0.1mm

Feed $f=0.026, 0.04\text{mm/tooth}$

End mill cutter 20φ

Up milling

時の切削条件は $v \times d \times f = 15\text{m/min} \times 0.1\text{mm} \times 0.026 \times 0.04\text{mm/tooth}$ である。なお、主軸回転数は無負荷時、切削時のいずれも236rpmであり、切削の際には、長時間にわたって連続して切削した。

Fig.7はその時の測定結果で、実験はまず無負荷にて、主軸の温度がほぼ安定するまで、ここでは90分間

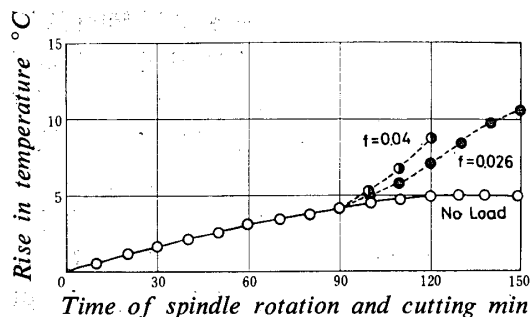


Fig. 7 Rise in temperature for cutting, when predrive is done.

Room temperature 15°C

主軸を回転させ、その後に切削をした。

その結果、切削時の送り量 $f=0.026\text{mm/tooth}$ にては30分後に2°C、 $f=0.04\text{mm/tooth}$ と送り量の大きい場合には4°Cも主軸の温度が上昇し、無負荷時の温度が安定しても、切削時の温度はかならずしも安定しない。主軸の温度上昇は送り量の大きい時ほど著しくなっている。

Fig.8は主軸に加わる負荷と主軸の温度上昇の関係を調べるための、既知の負荷を加える装置である。

Fig.9はそのような装置で実験した結果で、やはり主軸に加わる力つまり負荷が大きいほど、主軸の温度

上昇は著しいので、加工精度などにおよぼす切削力の影響は大きいものと考えられる。

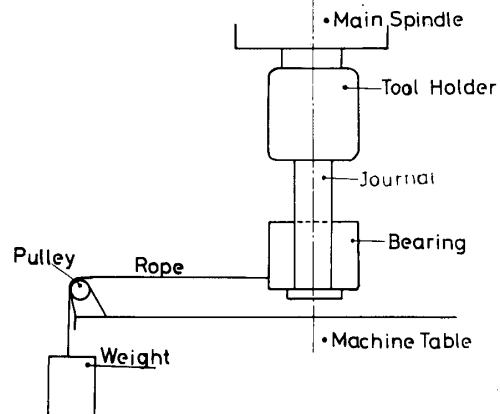


Fig. 8 Load additional apparatus

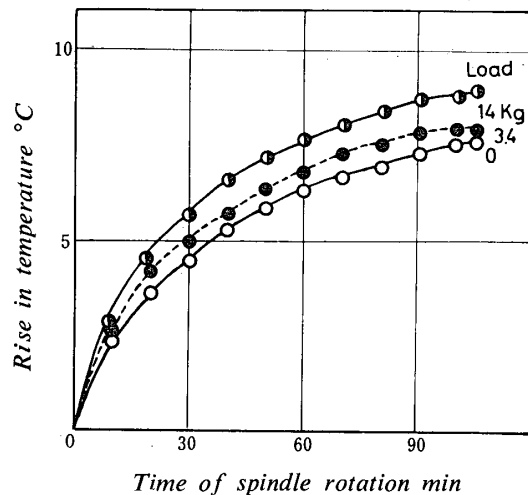


Fig. 9 Relation between time of spindle rotation and rise in temperature.

Room temperature 20°C

3.3 実験3

実験2にて、主軸の温度上昇により、かなり大きな加工品の精度誤差が生じることおよび精度が安定するまでにかかなりの時間を要することなどがわかったので、ここでは早く主軸の温度、加工品の精度を安定させる方法つまり予備運転の方法を検討する。

Fig.10は無負荷時の主軸の温度上昇ならびにその変位量などに関する実験結果で、ここでは主軸の温度上昇が回転数の大きい時ほど著しいことを利用する。

まず安定させたい回転数 N_1 ($N_1 = 236, 475\text{rpm}$) のみで長時間にわたり主軸を回転させた後、主軸の温度が安定する付近の温度まで、 N_1 より大きい回転数 N_2 、本実験では $N_2 = 2N_1$ で主軸の温度を急上昇させる。するとそれ以後は、 N_1 にて主軸を回転させても、主軸の温度およびその変位量はほぼ安定し、著しい変化がみられないと同時に、安定するまでの時間も

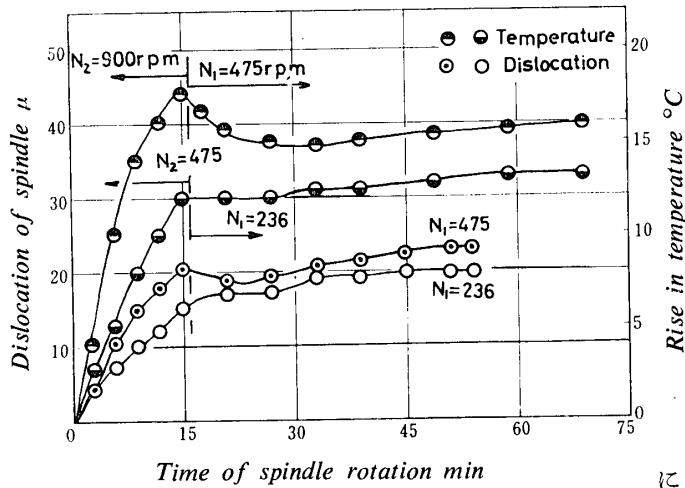


Fig. 10 Dislocation of spindle and rise in temperature during time of spindle rotation.

約15分と短くなる。その際の主軸の変位量は 3μ 以内で、比較的小さな誤差であった。

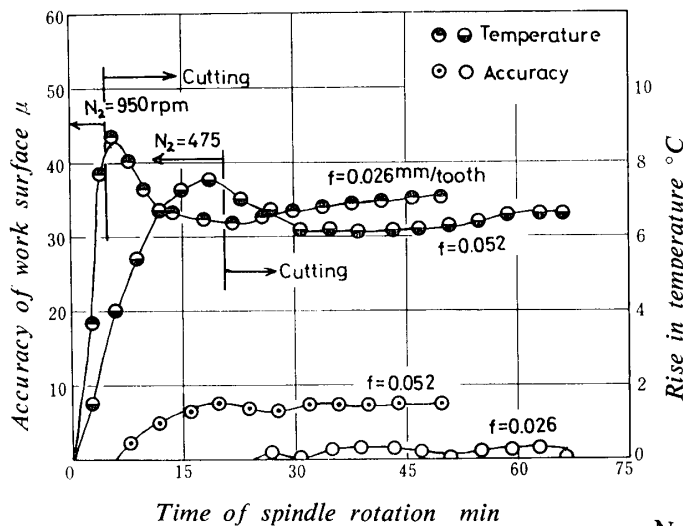


Fig. 11 Accuracy of work surface and rise in temperature during time of spindle rotation.
Cutting speed 15m/min
Depth of cut 0.1mm

Fig. 11はFig. 10と似た方法で、加工品の精度の変化について検討した結果である。

実験は無負荷の高回転でまず主軸の温度を急上昇させ、それ以後、切削に移ったが、切削中の精度は約20分間の予備運転によって安定し、加工品の精度 3μ 以内におさえることができた。しかし予備運転の時間が5分ぐらいで短い時には、加工品の精度に 8μ もの誤差を生じたが、この時も20分以後では、加工品の精度は比較的良く安定している。

以上の実験からは予備運転の時間を極端に短くすることはできないが、このような方法により、約15~20分で精度を安定させることができた。

実験で得られた精度誤差 $2\sim 3\mu$ という値は一般に要求される加工品の精度から考えても満足すべき値である。

4. 結 言

通常、数値制御の工作機械にても、現状では制御されているのは送り関係のみであるので、主軸などの熱変位により、加工品の精度はかなり影響され、機械の始動時には若干の予備運転を必要とする。とくに主軸が高速で回転している場合、切込み量や送り量が大きい場合には、主軸の温度上昇やその変位が著しいので注意を要す。

予備運転は実際に使用する切削条件より主軸の温度上昇が著しい条件、つまり高回転数にて行なう方が有利である。本実験では $N_2 = 2N_1$ で、約15~20分間の予備運転により、十分な切削精度が得られた。

本報告をまとめるにあたり、終始懇切なご指導を賜わった大草喜太雄教授に深く謝意を表す。

(昭和43年11月14日受理)