

フライス切削の強力化について

岡 部 礼 三*

Improvement of Cutting Quality of Milling Machine

By Reizo Okabe

Kawasaki Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

As regards the efficiency of the milling machine it has been improved through double courses of development, each stimulating the other. One course is the development of tool alloy and the other is the improvement of machine tool itself.

In the postwar years, the appearance of sintered carbide tool has brought about a remarkable progress for the construction and capacity of machine tools, and in this country this new tool has come to be used at a rapid rate and it may safely be said that there is now an established practice in lathe machining in favour of the use of this hard tool. However, there are several problems still remaining unsolved as to the use of sintered carbide cutter and the remodeling of the machine to match its characteristics to this new cutter.

The writer, dealing with these problems, discusses the determination of cutter life limit as well as appropriate cutting factors. Also, he publishes his new design of milling machine which will have higher cutting quality.

〔I〕 緒 言

製造工場における切削加工は高精度切削と強力切削の二つに大別して考えることができる。そしてこれらは互に相い助け合つて品質と能率の向上に貢献しているところである。この内強力切削について進歩の過程を見ると切削工具の発達と工作機械の発達とが互に前後しつゝ技術的進歩を続けて来ているのであつて、第一次大戦後はH.S.S.の発達から工作機械および工作法について第一次大戦後型ともいふうる形式を生んでいる。同様に第二次大戦後は工具の発達に伴い、第二次大戦後型といふうるような形式へ工作法、工作機械の転換を余儀なくされている⁽¹⁾。

この転換は旋盤においては戦後比較的早期に取入れられ、現在ほとんど完成されたといふうるまでになつているのであるが、フライス盤およびフライス作業に関しては超硬カッタの導入後相当の日数を経ているにもかかわらずその使用法および工作機械について不十分な点が多いのである。

一例として最近輸入されたミルウオーキ型4番フライス盤とわれわれの工場に多く使用されている旧型フライ

* 日立製作所川崎工場

ス盤による切削諸元を比較してみると、前者においてはB.H.N. 220の鋼を切込4mm送り305mm/min、切削速度95m/min切削量200cm³/minで切削を行いうるに比し旧型フライス盤では上記と送り切削速度を同じとするなれば、切込は1mm以上は取れない状況であり、実際われわれが改善を行う以前では切削量40cm³/min程度が常用されていたところであつて、改善向上の余地の多いことを痛感せざるをえない。

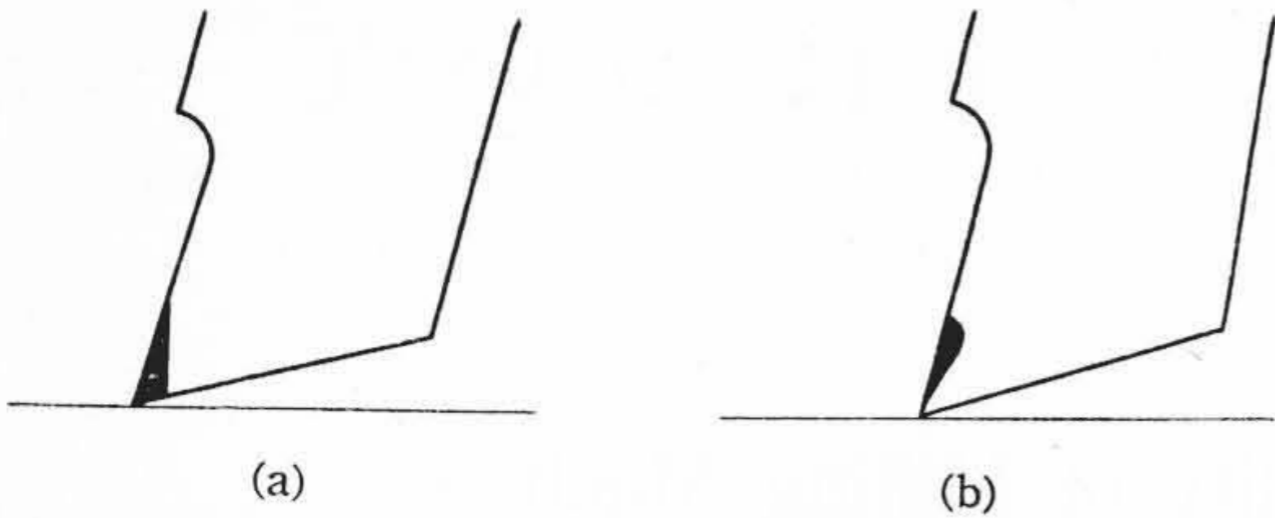
したがつて以下フライス切削の強力化について超硬カッタ使用の場合における切削諸元および機械の性能向上の基礎的問題について行つた実験について述べ御批判を戴きたいと考える次第である。なお被削材としては日立製作所川崎工場でも作業量の多い鋳鉄を主体と考えた。

〔II〕 基 礎 的 考 察

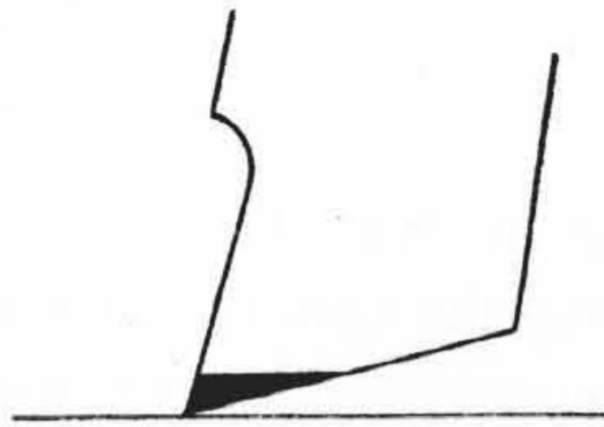
(1) 双先磨耗の測定

切削状況の判定には

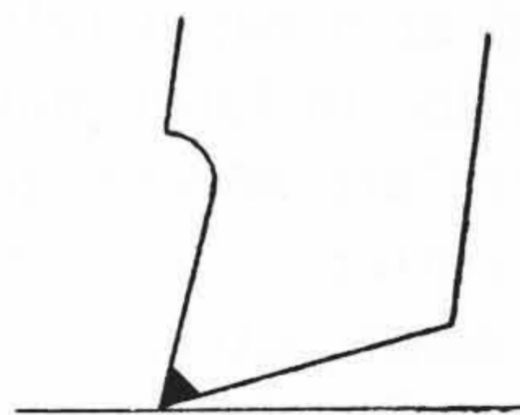
- (i) 直接切削抵抗を測定する
- (ii) 双先温度を測定する
- (iii) 双先磨耗代を測定する
- (iv) 工作機械の消費動力を測定する



第1図 Face wear の代表的形状
Fig.1. Typical Example of Face Wear



第2図 Flank Wear の代表的形状
Fig.2. Typical Example of Flank Wear



第3図 Chipping の代表的形状
Fig.3. Typical Example of Chipping

(v) 振動を測定する

(vi) 切屑または仕上面の状況を観察する

などの方法が用いられるが、われわれが現場において最も簡単にまた正確に測定できる方法は双先磨耗代の測定と消費動力の測定である。

双先磨耗に関しては現在

(A) Face wear

(B) Flank wear

(C) Chipping

の3つの形態に分類されている。

(A) Face wear (フェイスウエアーまたは掬い面磨耗)

第1図に示すごとく、切屑が掬い面に強く押しつけられるような状態で流れ出るとき、すなわち Flow type の切屑の出るような切削に主に現れるもので、鋼の切削において特に顕著に見られる。第1図(b)を特にクレータ (Crater) と名づけている。

(B) Flank wear (フランクウエアーまたは逃げ面磨耗)

第2図に示すごとく状況に発生し脆性材料を切削したときに微小振動の連続によつて起る磨耗であつて、鋳鉄の切削において特に顕著に見られる磨耗である。

(C) Chipping (チッピング)

第3図に示すごとく Chipping は断続切削などにより双先に働く衝撃力によつて生ずる双先の欠けであつて、プレーナ、フライスなどの切削に往々見られる磨耗である。

しかして以上の3形態は一般の切削において単独の形で現れることはほとんどなく、大体2つないし3つの磨耗形態が組合つた形で現れるのが一般である。

フライスカッタにおいては切刃が1つの円周に一定間隔をおいて付いている関係上、特に研究的測定を除いては Face wear の測定は困難であるため Flank wear の幅もしくは Chipping をもつて磨耗の測定を行うことが一般に行われている。この幅特に Flank wear の幅は VB (Verschleitsmarkenbreite) の記号で表わされ、多くの文献にも用いられているところである。

(2) カッタ寿命と切削動力

切削工具の寿命についてはテイラーにより出された。

$$VT^n = C \dots \dots \dots (1)$$

V: 切削速度

T: 寿命点に至るまでの時間

C および n: 定数

なる式が用いられ、時間をもつて寿命の比較が行われて来たが、この式に関しては切込み、送りの Factor が入っていない。ところが工場において最も重要なことは一定量の金属を切削するに要する費用であつて、切削工具の寿命の比較もこの線にそつてなされるべきである。

いま一定量の金属を切削するに要する費用を大別するに

A: 被切削物の取付け取外し測定および切削の戻りに要する費用

B: 切削に要する費用

C: 工具の再研磨供給に要する費用

T: 一定量金属切削に要する全費用

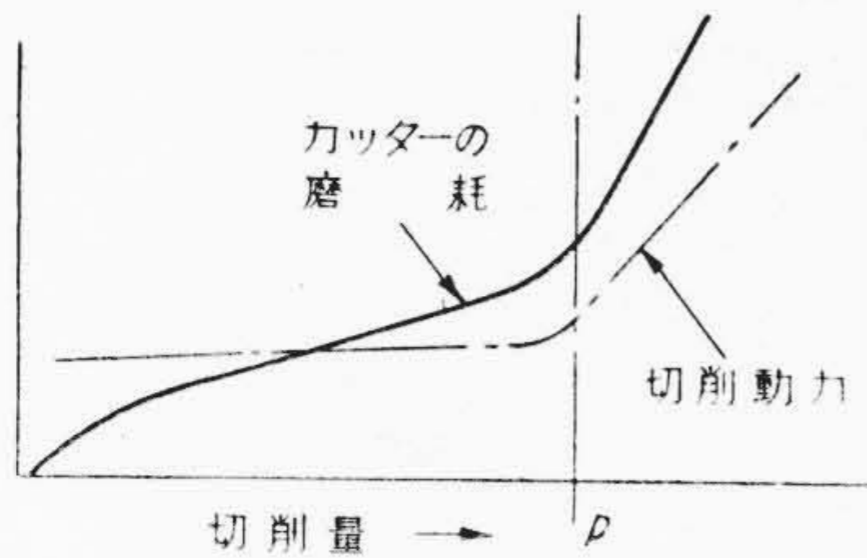
としてこれらに関してつぎの(2)式が成立する。

$$T = A + B + C \dots \dots \dots (2)$$

切削に当つては勿論このTが最少であることが望ましく、切削能率の比較は一定量の金属を切削するに要する費用(時間)、すなわちBの値でなされねばならないが、切削工具の比較もこの考えに基づいてなされるべきである。(2)式において切削工具の寿命により左右される値はCであるが、これは1回のカッタ研磨に要する費用をKとし、再研磨までに切削しうる金属量をDとすると

$$C = K/D \dots \dots \dots (3)$$

で表され、Kにあまり変動のない限りTに影響を持つも



第4図 切削量とカッター磨耗および切削動力線図の1例
 Fig. 4. An Example of Diagram Showing Relation between Cutter Wear, Cutting Power, and Cutting Amount

のはDとなる。すなわち切削工具の寿命の比較は研磨後再研磨までに切削する金属量を用いるのが最も適していることになる。

つぎにこの再研磨の時期すなわち切削工具の寿命点についてあるが、切削を行うにしたがつて双先の磨耗は増加し、切削動力も増加を示す。この現象を切削量を一軸にとつて比較してみると第4図のごとくである。この図に見られるごとく、切削の進行に伴い磨耗および切削動力が急に増加して行くところがある。これは双先磨耗がある程度進行すると双先に加わる切削抵抗が非常に不規則になるため、磨耗が一層早められるためで、このような場合往々工具の破損、欠損を来すことは、旋盤ドリルなどにより実際に証明されている所である。したがってフライス作業においてもこのような点を過ぎてカッターを使用するとすれば、カッターの再研磨に非常に余計の費用を費すのみでなく、1回の研磨に研削される双先金属が不当に多くなるためカッターの使用回数を減らしてしまうことになる。

以上のような理由から第4図のD点の近傍をもつて切削工具は寿命点とすべきである。

以上要するにフライス切削に当つて

- (i) カッター寿命は Flank wear の幅で測定すべきこと。
- (ii) カッター寿命の比較は再研磨まで切削した金属量ですべきこと。

(iii) 切削能率の比較には単位時間当り切削する金属量でなすべきこと

を述べたが、このほか工作機的能力または切削諸元の比較にもすべて切削金属量で行うことが最近の切削法または工作技術研究の基になつている。

〔III〕 実 験

(1) フルバックカッターの寿命点

フルバックカッターは超硬植双正面フライスとして標準的なものであり双先形状は大体第5図のごときものである。

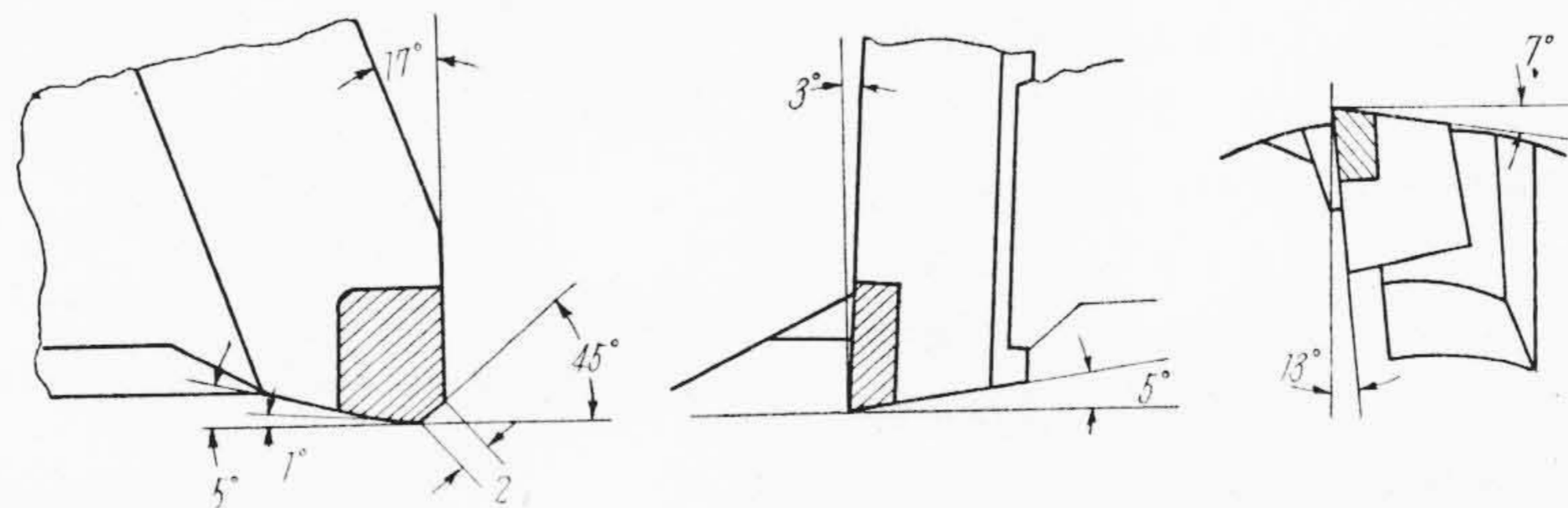
このカッターについて磨耗を Flank wear の幅 VB により測定することとして、一定条件下で切削量に対する消費動力および磨耗の進行状況を測定してみると第6図および第7図(次頁参照)のごとき結果がえられる。

この両図から見ると VB が 0.6mm のところあたりから VB および消費動力が急に増大して来る。これを一層明瞭にするため第8図(次頁参照)のごとく VB—消費動力曲線を描いてなおこの微係数をとつて見る。この曲線は VB が 0.5mm の頃から上昇を始めている。これは双先磨耗の一定の進行に対して切削動力の増加量が大きくなつて示し、前述のごとく切削状態が急速に悪化して来ることを示すものであつて、事実切削状況を観察して見ると VB 0.6mm の頃から切屑は加熱のため褐色を帯び出し、切削面も同時に相当加熱されてくる。VB が 0.7mm 程度になると切屑は青藍色を帯びこの程度になると仕上面はカッターの逃げ面で擦られるため光り出す。また 0.6mm の VB を超えて切削を行つたカッターの双先には往々欠損が見出される。

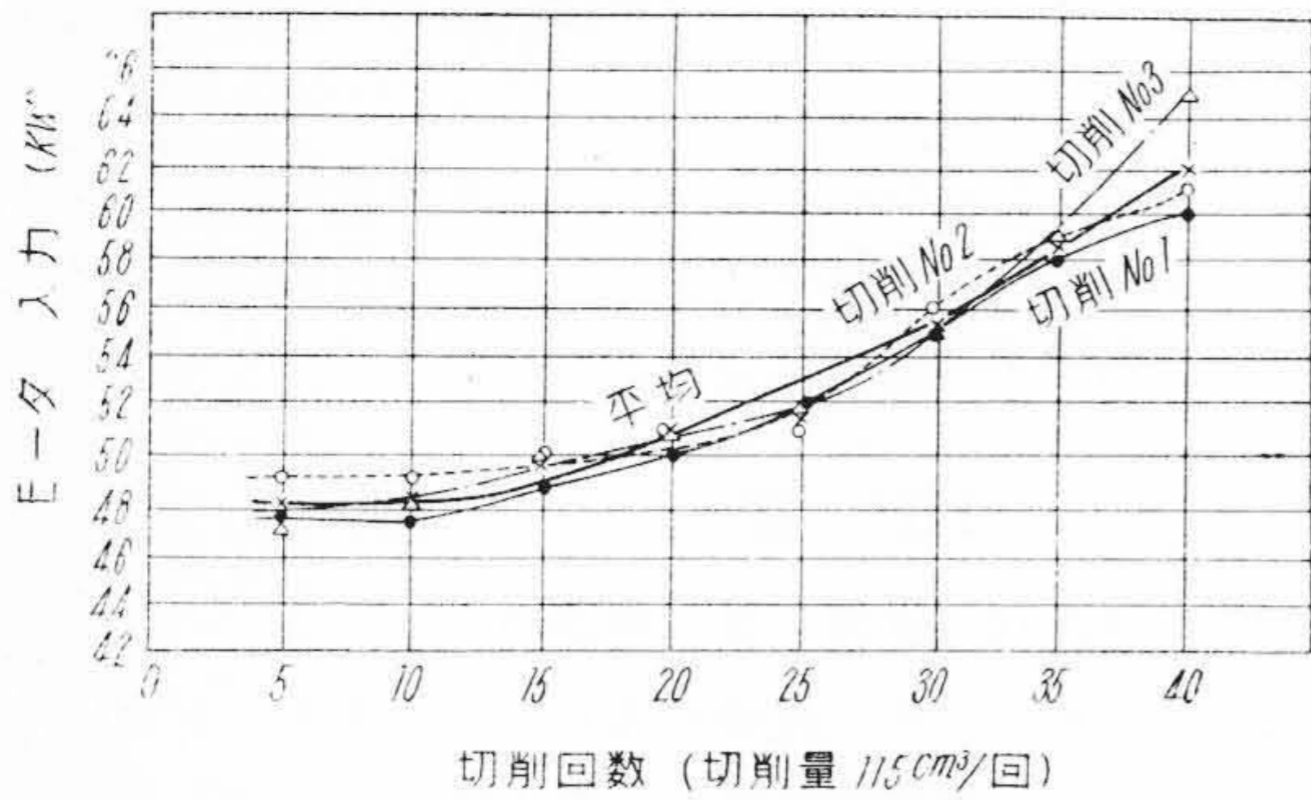
〔II〕に述べたところおよび上記の切削実験の結果フルバックカッターにおいては Flank wear 幅 0.6mm を寿命点と決めカッターの再研磨を行うのが良いようである。

(2) 送りとカッター寿命および切削動力との関係

カッターの寿命点の決定について切削諸元とカッター寿命の関係を求めるため、一定量の金属切削後の双先磨耗と切削動力を測定して見ると従来のまゝのフライス盤では



第5図 フルバックカッターの双先形状
 Fig. 5. Shape of Full Back Cutter Tip



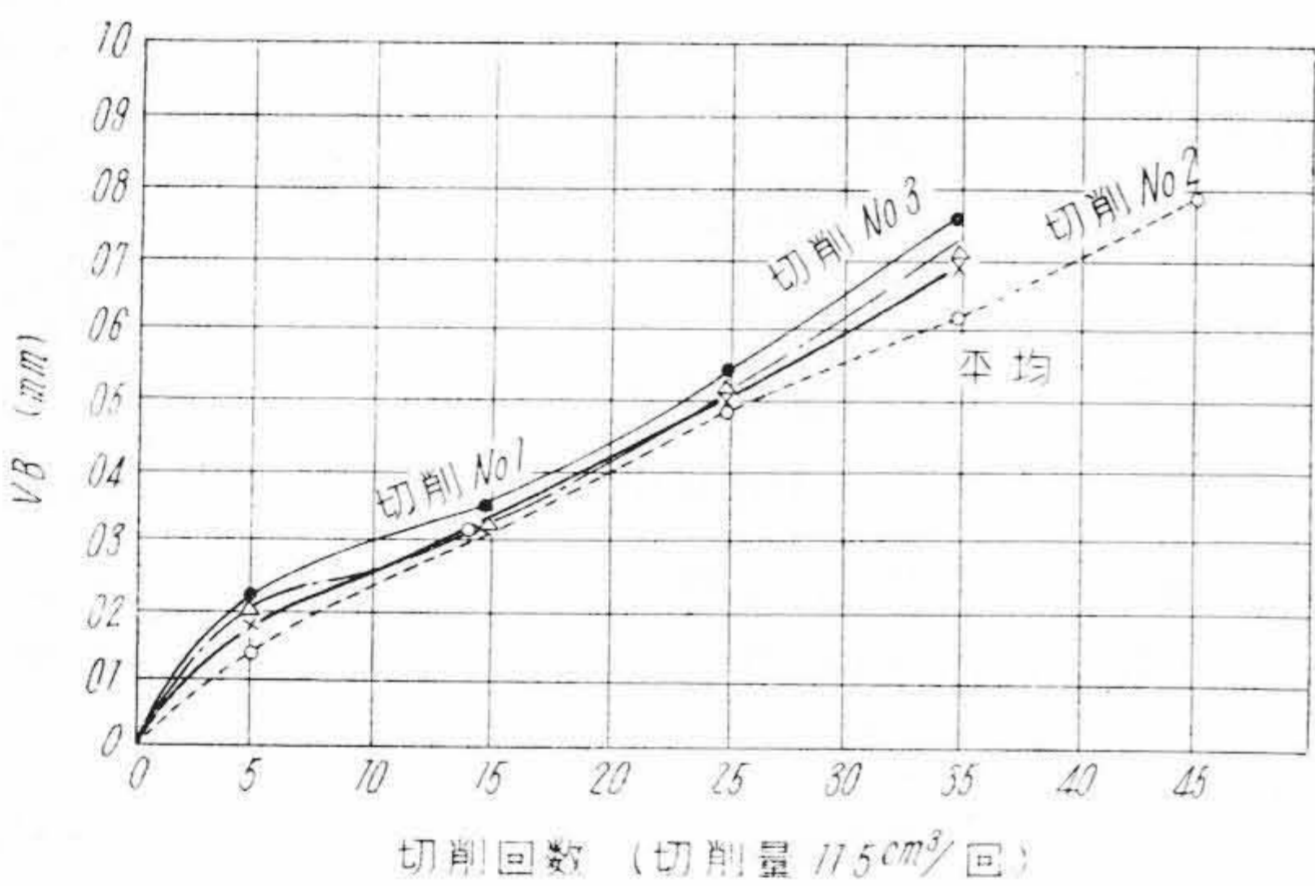
試験片 420×91×切込み Fc 19. B.H.N. 160

切削諸元

主軸回転数 212 rpm カッター 6" フルバツク
 テーブル送り 340 mm/min チップ タンガロイ G-2
 一刃当り送り 0.13 mm
 切込み 3 mm

第6図 切削中のモータ入力—切削回数線図

Fig. 6. Diagram Showing Relation between Cutter Motor Input and Cutting Frequency



試験片 420×91×切込み Fc 19. B.H.N. 160

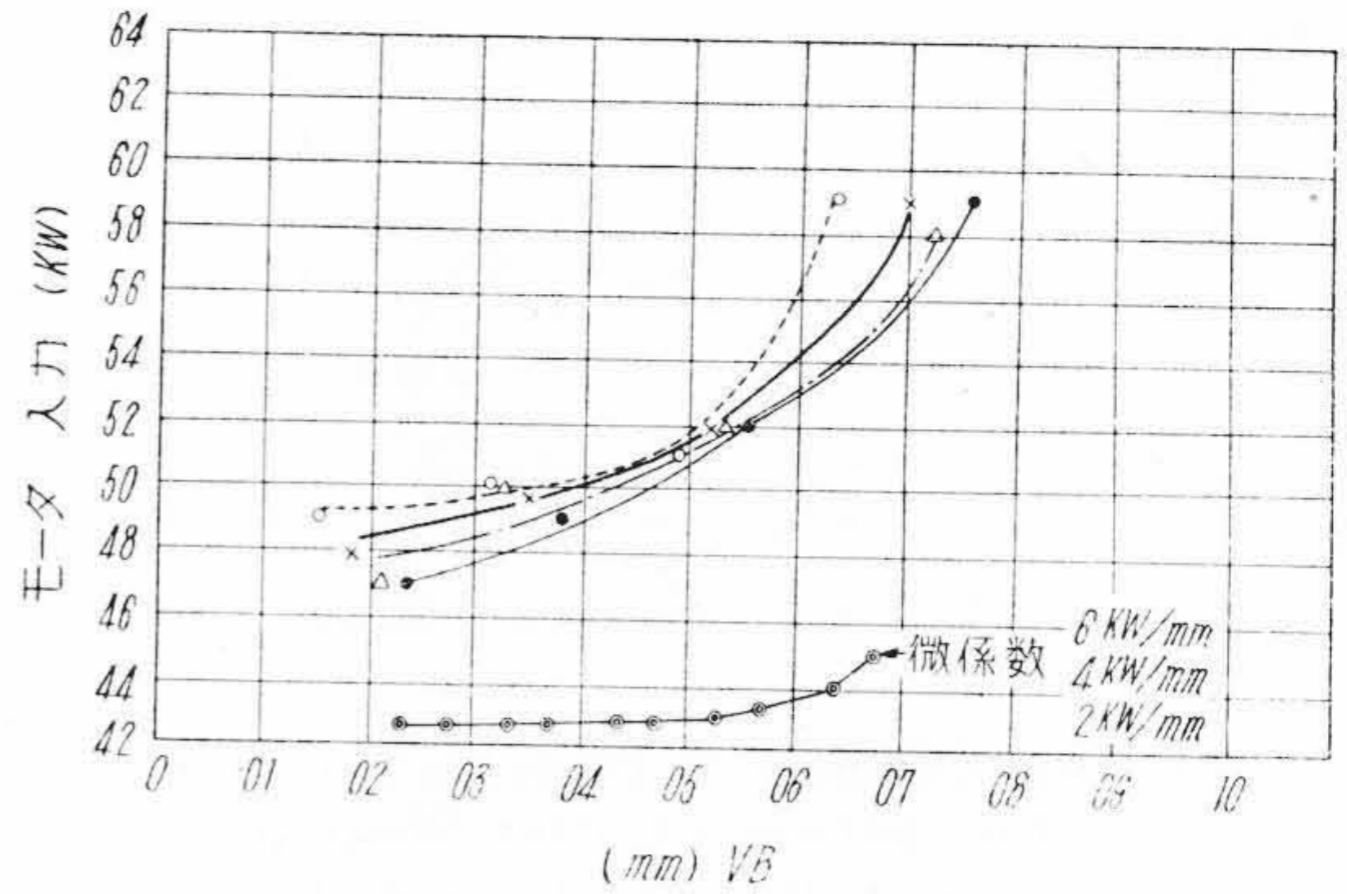
切削諸元

主軸回転数 212 rpm カッター 6" フルバツク
 テーブル送り 340 mm/min チップ タンガロイ G-2
 一刃当り送り 0.13 mm
 切込み 3 mm

第7図 VB—切削回数線図

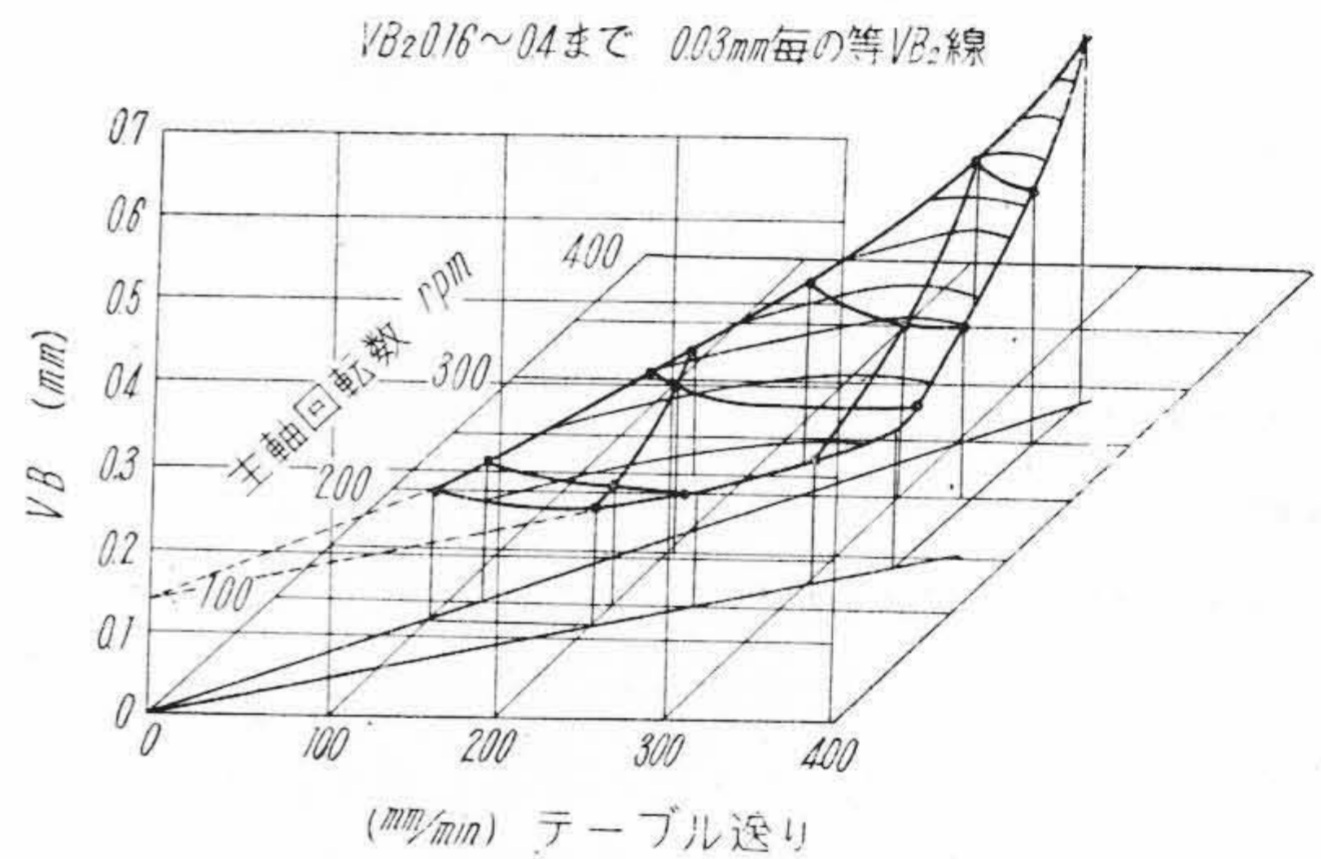
Fig. 7. Diagram Showing Relation between VB and Cutting Frequency

第9図および第10図のごとくなる。この図からわかるごとく、一つのテーブル送りに対しては双先の磨耗も消費動力もともに回転数が少ないほど少なくなっている。すなわち一定の送りで切削を行う場合には、なるべくカッターの回転数を低くし、1刃当り送りを大きくして切削する方が有利であることを示している^{(5)~(7)}。これを具体的に示すため主軸回転数—テーブル送り座標上にVB一定な範囲を投影して見ると第11図のごとくである。すなわち従来行っている 100 mm/min, 100 rpm の切削諸元を 340 mm/min, 160 rpm に増加させると、3~4 倍の切削

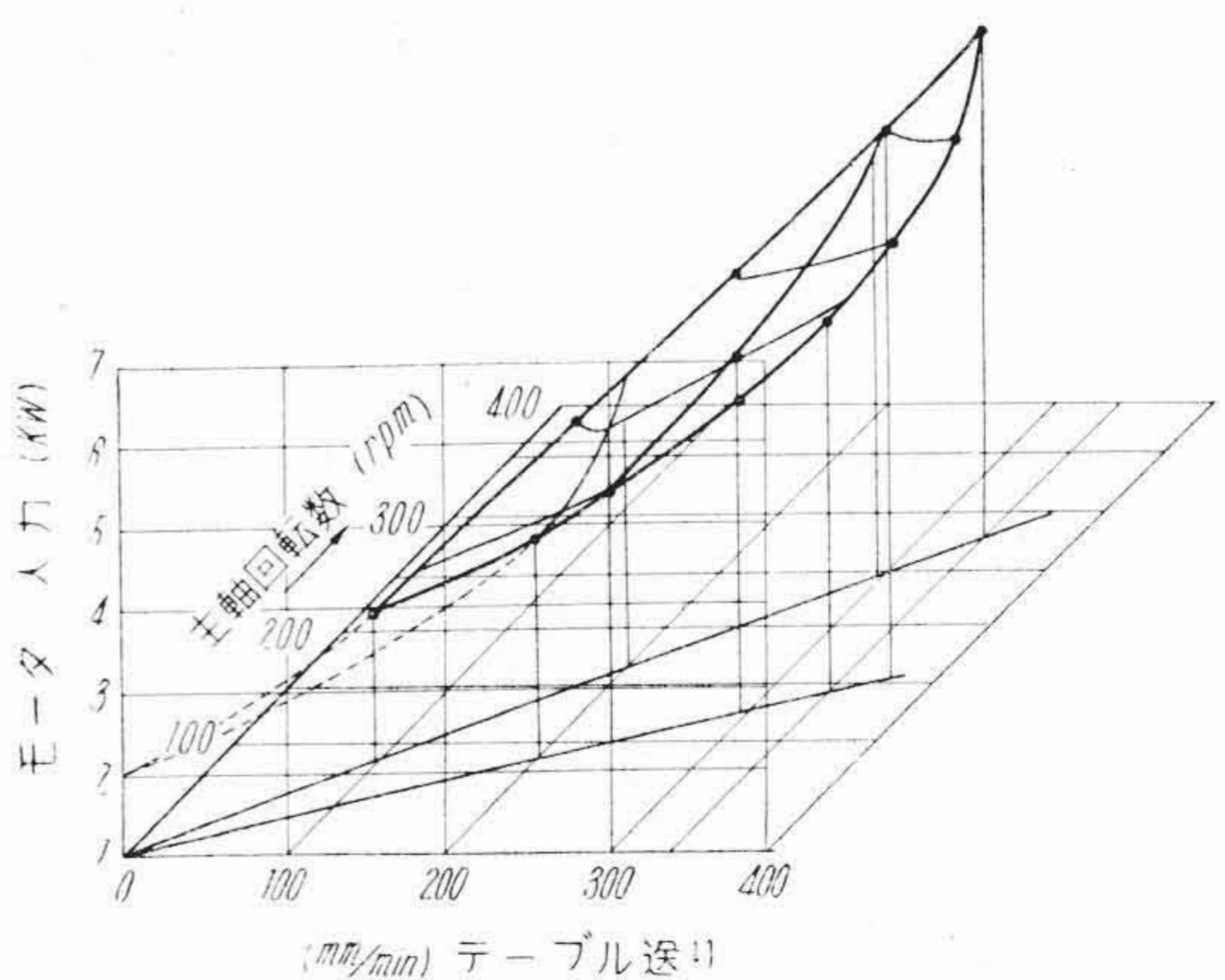


第8図 モータ入力—VB線図 (各条件は7, 8図と同じ)

Fig. 8. Relation between Motor Input and VB under the Same Conditions with Fig. 7 and 8



第9図 切削諸元とVBとの関係 Fig. 9. Relation between Cutting Elements and VB



第10図 切削諸元とモータ入力の関係 Fig. 10. Relation between Cutting Elements and Motor Input

能率がえられ、しかもカッター寿命はかえつて長くなるということがわかる。

(3) カッタブレードの最高切削能力

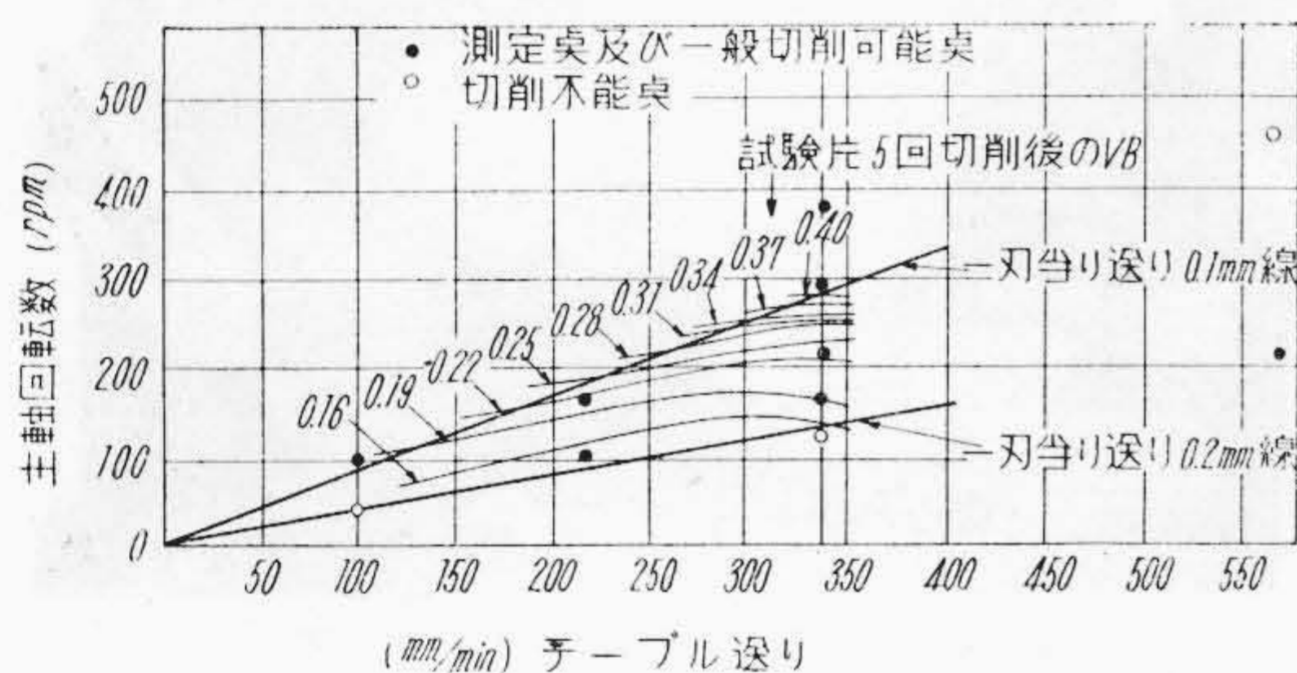
以上の実験においては従来の機械および従来のカッタをそのまま用いた場合の結論であつたが、つぎに進んで現在のカッタの最高切削能力はいかなるところにあるかを調べてみる。このためあらかじめカッタボディには1枚だけブレードを取付け、主軸の回転数と送りから正しい1双当り送りを計算して切削諸元を与えそのときの状況を一定金属量切削後のVBで比較してみる。

この結果は第12図に示すごとくであつて、回転数が200rpm以下では1双当り送りを大きくするほど磨耗は少いが、1双当り送り0.5mmをこえると刃先にChippingを起すことが多く磨耗は急激に増大する。これより1双当り送りとしては0.5mmが最大であろうという結論が下される。

つぎに消費動力当りの切削量を調べてみると第13図のごとくである。この切削実験に当つてはかなりの強力切

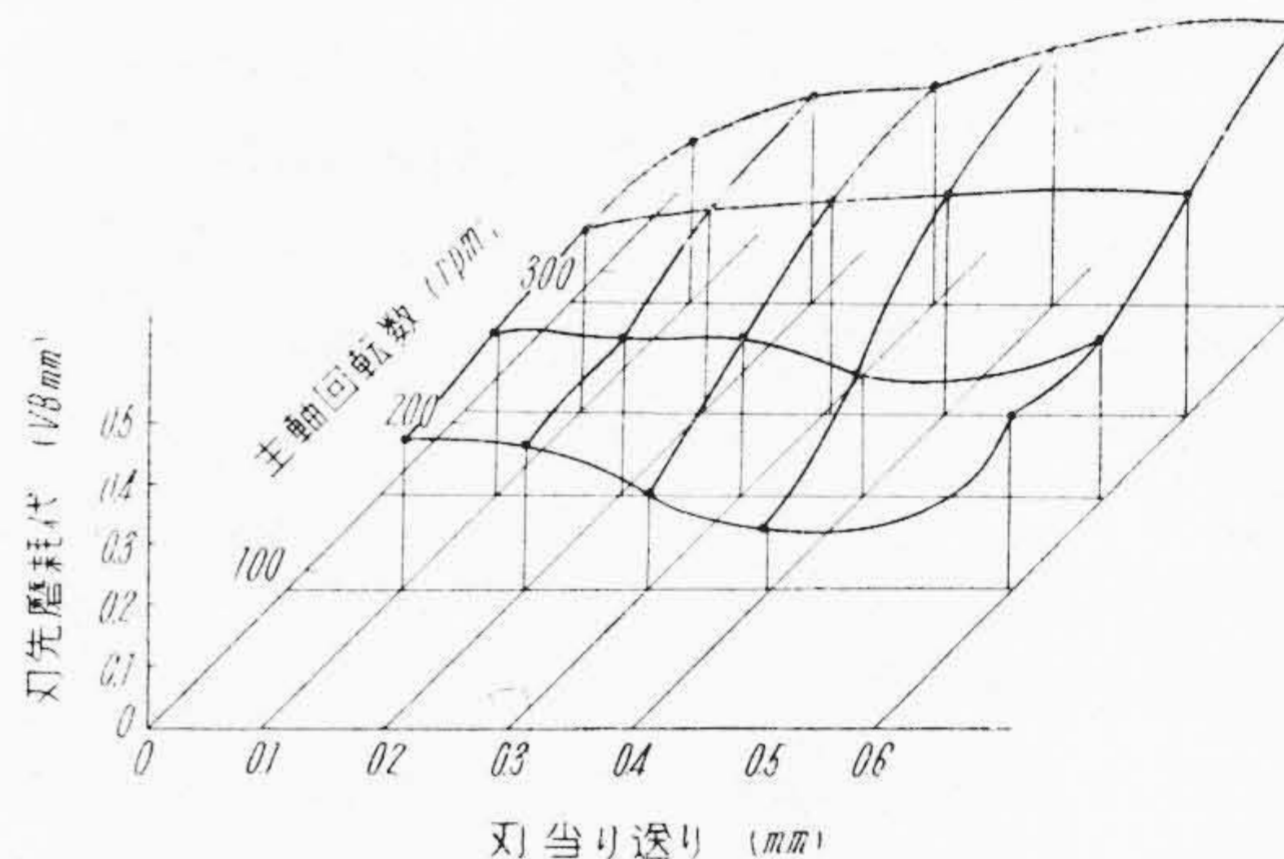
削を行うことが必要とされたので(4)に述べるフライス盤の一部改造を行い、またカッタも6"フルバックの標準双数12枚を半数の6枚に減じて切削を行った。この結果を第13図により検討してみると、図中斜線を施した部分は最高切削能率の箇所を示し、点線の部分は切削不能箇所を示す。すなわち最高切削能率を示す切削諸元は82幅Fc19の被削材において回転数240rpm、テーブル送り725mm/min、切込3mmであり、この状態で約8HPの動力を要している。すなわち切削速度100m/min1双当り送り0.4~0.5mm切込3mmで馬力当り22.6cm³/min×HPの切削である。すなわちこの程度がブレードの能力からしてもまた10HP程度のモータを有するフライス盤の切削能力からも最高の値と考える。

しかしてこの諸元を12枚双の標準カッタに適用すれば約1,500mm/minの送りで切削することになり、20HP



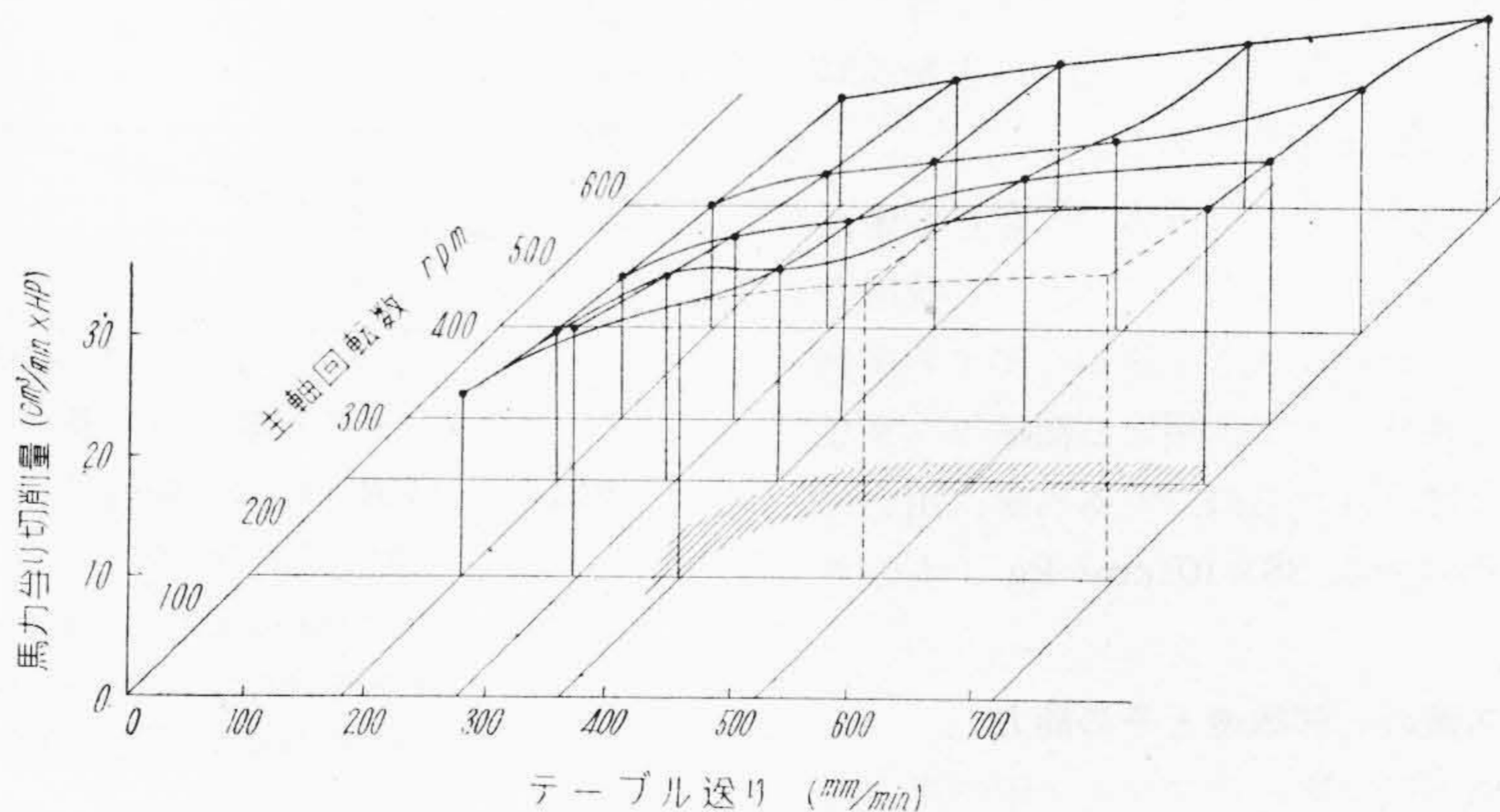
第11図 定量切削後におけるVBのしとしい切削諸元の範囲

Fig. 11. Scope of Cutting Elements with Equal VB after a Certain Amount of Cutting



第12図 主軸回転数および1双当り送りとVBとの関係、切込3mm

Fig. 12. Relation of Main Shaft Revolution and Feeding per Blade with VB (Cutting Depth 3 mm)



第13図 切削諸元と馬力当り切削量の関係

Fig. 13. Relation between Cutting Elements and Cutting Amount per HP

程度の動力消費が予測される。このことは逆に考えると、現在 10 HP 程度のモータを有する通常のフライス盤においてフルバックカッタを能率良く用いるためには双数を考慮する必要があることが結論される。たゞ12枚双と6枚双とで仕上面粗さいかんということが問題になると思うが、この点現在一般のフライス仕上面はカッタにある多くの切刃の中の出張っている1枚の刃のマークにより決定されていることから考え問題は無いと考える。双数を少くした場合の利点として上記のほか研磨工数の低減が上げうる。

(4) フライホイール効果

超硬工具の刃先に微小衝撃力が連続して加わることは工具の寿命の点から好ましくないことはいうまでもないが、フライスカッタのごとく切削そのものが断続している場合、ある程度の衝撃は避けられない。しかし最近これをできるだけ少なくするため主軸にかなりのフライホイールを取付けて回転速度の均一化を計る方法が出された。この方法によると切込の衝撃による回転速度の差を減少できるのみでなく、駆動歯車の歯型の誤差に起因する回転速度差をも除きうる事ができる。(2) 実験例として、第14図および第15図のごときフライホイールを取付けて切削を行い、工具の寿命試験を行った。この結果第16図に示すごとく約2倍のカッタ寿命の延長がみられた。すなわち低速切削の場合にはかならずしもフライホイールは良い影響を有しているとはいえないが、主軸の回転数にして 100~150 rpm 以上では効果があり今後の強力切削用フライス盤としてはぜひ必要であることが結論された。

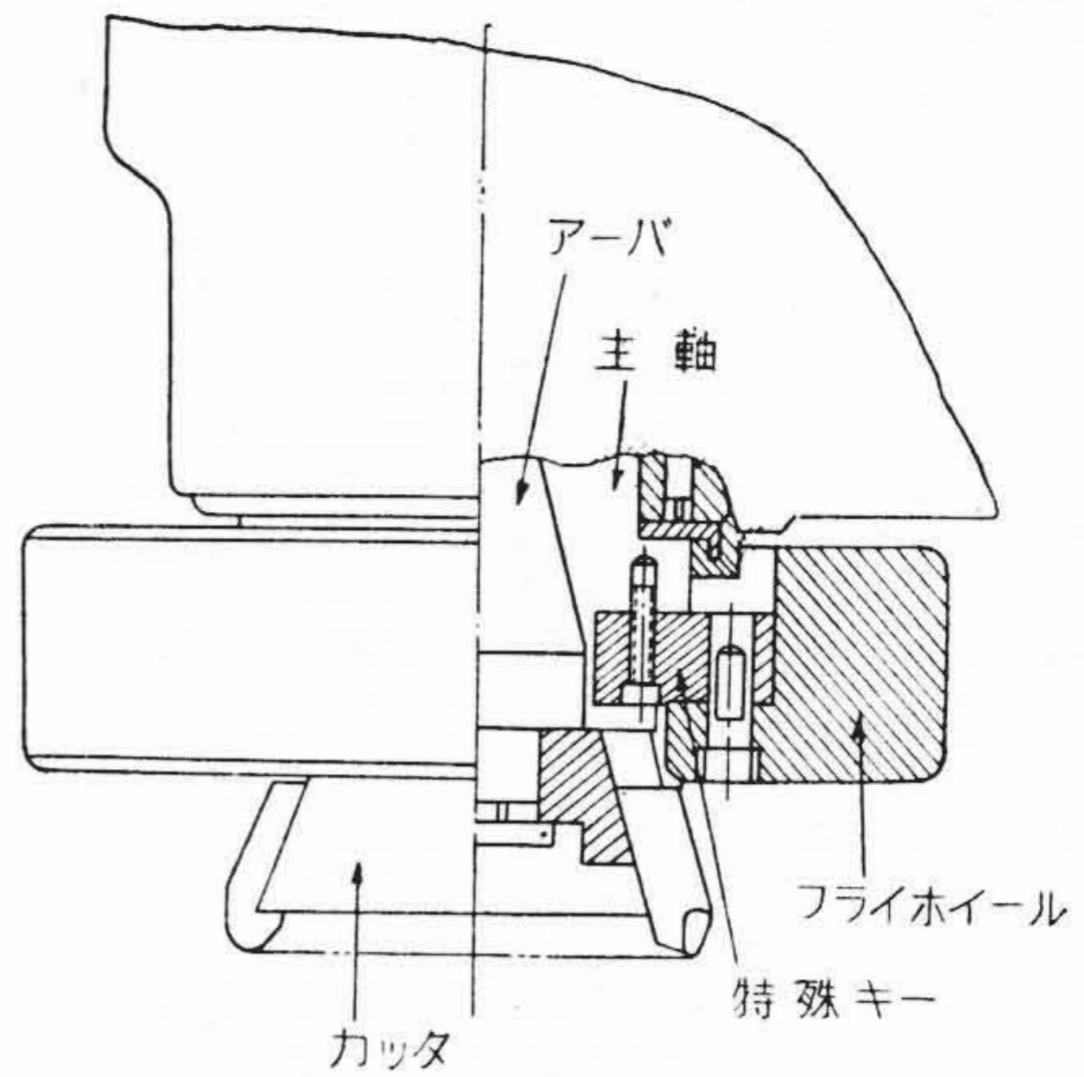
フライホイールの取付位置についてはこれをあきらかにした文献および実験例を見ないが、カッタに直接その効果の働くためには主軸の前端に近い方が良いと考えられるが、現在の旧型フライス盤を改造し、フライホイールを取付けるには縦型では主軸上端、横型では主軸前端または後端に取付けるのが実用的である。

フライホイールの大きさとしては欧米の文献にも未だ計算式の確立されていないことが記してあり(2)、我国の文献にも未だフライホイールの大きさ決定に関する実例を見ない。したがって現状としては用いる機械カッタなどを考慮して決定しなければならぬ。(3) 本実験に用いたものは重量 28 kg、慣性能率 $38 \times 10^2 \text{ cm}^2\text{-kg}$ のものである。

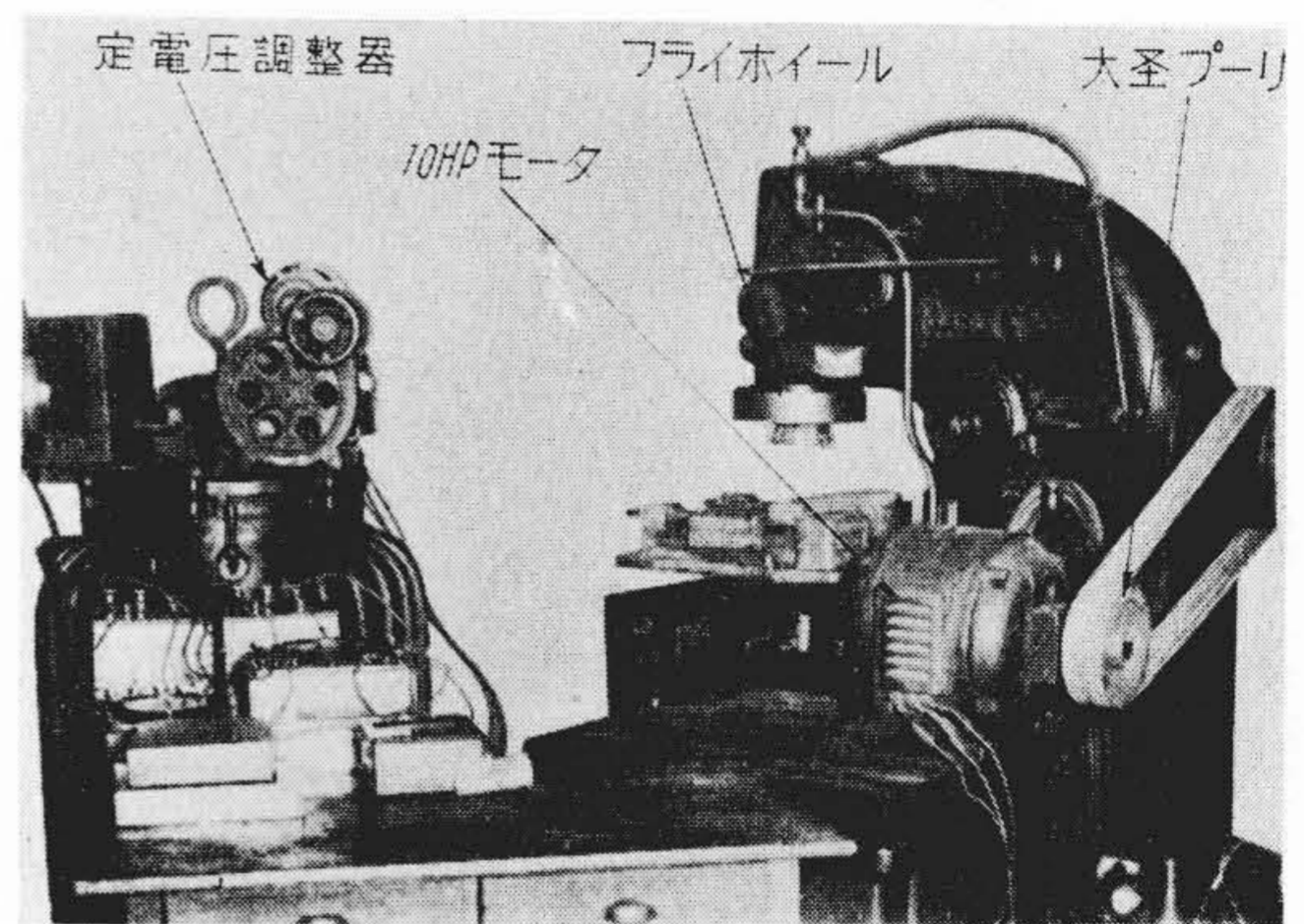
(5) 旧型フライス盤の一部改造とその能力

以上述べて来た各種切削実験からフライス盤の能力向上を必要とする点を見ると、

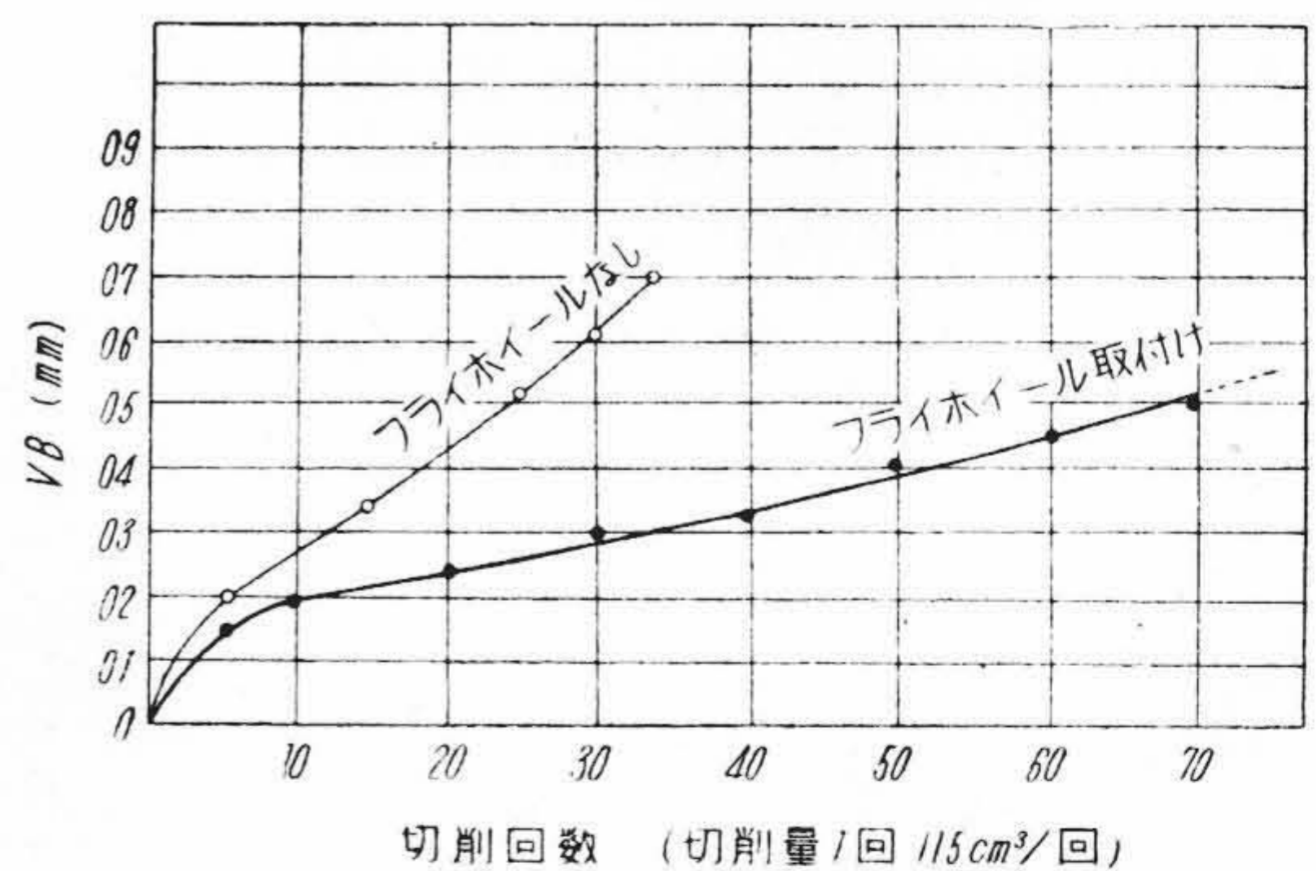
- (1) カッタの刃先に加わる衝撃力をできるだけ少なくすること



第14図 フライホイール取付状況
Fig.14. Attaching Flywheel



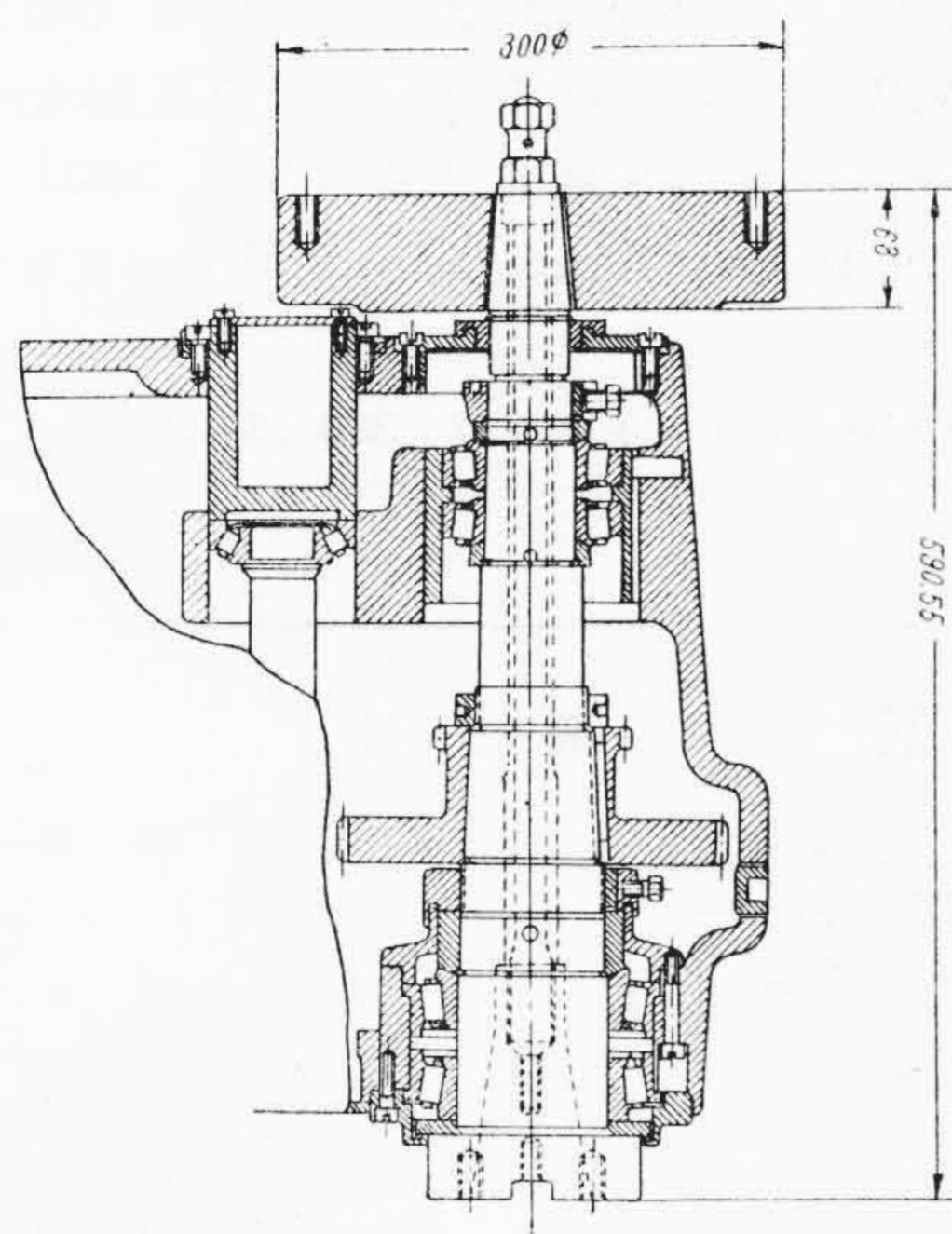
第15図 実験装置
Fig.15. Testing Equipment



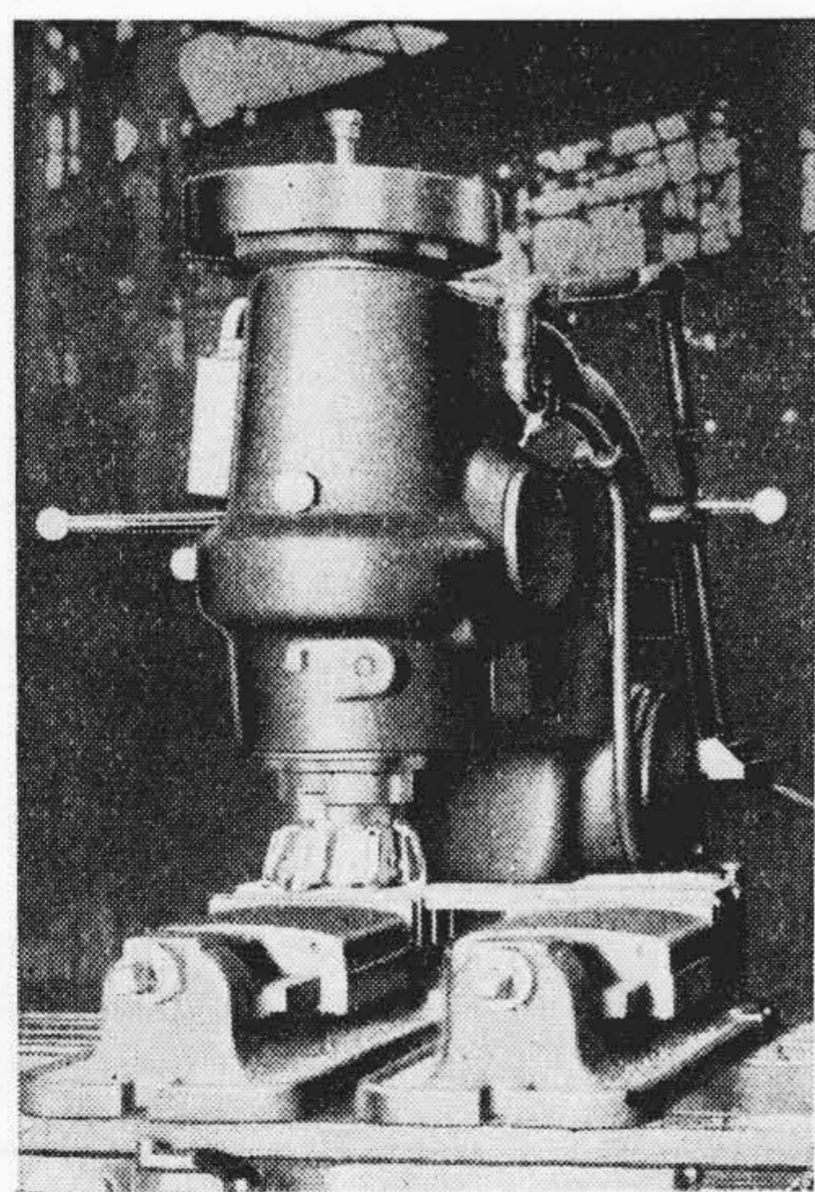
第16図 VB—切削回数曲線のフライホイール効果による比較
Fig.16. Composition between Cutting Frequency Curve and VB, with or without Flywheel

- (2) 100 m/min 前後の切削速度で 0.4~0.5 mm の1刃当り送りの可能なこと

などとなる。(1) についてはフライホイール取付、機械



第17図 主軸関係改造部の断面図
Fig.17. Sectional Diagram of Remodelled Part of Main Shaft



第18図 フライホイール取付状況
Fig.18. Attaching Flywheel

各部の剛性の増大、(2)については駆動モータの大馬力化が必要となる。

そこでわれわれは2番型フライスを試験機として、主軸の肉厚を大きくし、フライホイールを取付け、また10 HPのモータ(標準は5 HP)を取付けた。主軸関係の構造は第17図および第18図に示すごとくである。10 HPモータを取付けるに当っては各部強度が問題になるが、検討の結果被駆動側プーリ軸の回転数を標準の600 rpmより800 rpmとすればGear train中最も弱いGearも10 HPまでは持つことがあきらかとなったのでモータ側プーリを大径として被駆動プーリを800 rpmとした。

また馬力向上に伴うメインクラッチのSlipが予測されたがこの点は調整により10 HPまで十分伝えうることが実証された。

かくして各部剛性の増大という点を除いては一応前記要求を満足させえたので切削を行ってみた。切削は馬力の点から6枚双カッタを用いたが、Fc 19材、幅82、切込3 mmで240 rpmの主軸回転により762 mm/minのテーブル送りによる切削が可能であり、動力および機械の振動からも十分実用性のあることが実証された。これにより結局従来の2番フライス盤に比し3~4倍の能率向上ができた。

前にも記したごとく現在の6"フルバックカッタを十分能力一杯まで用いるには約1,500 mm/minの送りが必要で20 HPの動力が必要であるが、この目的には現在の3番または4番フライス盤に20~25 HPのモータを取付け切削を行う必要がある⁽⁴⁾、またその可能なことが十分推察できた。

[IV] 結 言

現在フライス盤の改造を行って一応えられる切削諸元については大体上記の通り6"フルバックカッタでその能力は限界であつて、今後新しく作られるフライス盤は8"または10"という大型カッタを十分利用するため動力として30~50 HPを必要とするようである。また構造についてはフライホイール取付は勿論のこと、カッタ双先に衝撃を与えぬため構造はできるだけ強固である必要がある。またメインギヤをヘリカルギヤにすることもこの点非常にすぐれた方式と思う。またこれらとともにダウンカットのためのバックラッシュエリミネータまたはテーブル駆動の油圧化も計らねばならぬ。

フライス切削の強化について実験結果から種々の結論を導いて来たところであるが、以上の主流となるべき考えは

- (1) 適当な切削速度の下になるべく大きな1双当り送りの取れること(鑄鉄では80~100 m/minと0.4~0.5 mm)
- (2) 超硬カッタの双先にはできるだけ衝撃を加えぬような切削を行うこと。

以上の2項目となる。

しかしてフライスの強力切削はこの条件下においてのみ可能であり、このために馬力の増大、構造の強化、フライホイールの取付も必要とされるのである。

本項の終るに臨み研究を行うに当って御鞭撻賜わつた日立製作所川崎工場松宮工場長、花岡部長、黒崎課長また直接御指導戴いた天野主任、実験に際し協力を戴いた現場の諸氏に厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- (1) The Cincinnati M. M. Co.: A Treatise on milling and milling machines
- (2) I. Bendixen: Trans. of A.S.M.E. 567 (May 1953)
- (3) 一ノ瀬, 小畑: マシナリ 16 (10月号 1953)
- (4) 越本: 日立造船技報 33~35 (9月号 1951)
- (5) W.W. Gilbert, O.W. Boston, H.J. Siekmann: Trans. of A.S.M.E. 1809 (Aug. 1953)
- (6) R.S. Hahn: Trans. of A.S.M.E. 1073 (Aug. 1953)
- (7) 久保田: マシナリ 17 380 (昭 29-4)

第37巻 日立評論 第6号

- ◎ 本邦最初の純国産大型ストリップミル.....日立製作所・若松工場 山本秀幸
——日本鉄板株式会社大阪工場納広幅鋼帯用逆転式四重冷間圧延機——
- ◎ 本邦最初の純国産大型ストリップミル用電気設備.....日立製作所・日立工場 山本正雄
——日本鉄板株式会社大阪工場納逆転式四重冷間圧延機用電気設備——
- ◎ 本邦最初の純国産高速自動広幅鋼帯剪断装置.....日立製作所・若松工場 { 橋川寿夫
近藤正利
梶原利章
- 日本鉄板株式会社大阪工場納冷間ドラム型フライングシャ—
- ◎ 純国産大型ストリップミル附帯設備用電気設備.....日立製作所・日立工場 { 平川克己
西一 郎
- 日本鉄板株式会社大阪工場納冷間圧延機附帯設備用電気設備——
- ◎ 土佐電鉄振動騒音試験について日立製作所・笠戸工場 { 桑江和夫
佐川 健
- ◎ 東海電気鉄道株式会社特急列車用空気併用ブレーキ付制御装置とその試験結果
南海電気鉄道株式会社 新浜繁次郎
日立製作所・日立工場 平田 憲一
- ◎ 小型実装による多重電力線搬送電話装置.....日立製作所・戸塚工場 田島 巖
——東北電力株式会社納 PJ-61 型電力線搬送電話装置——
- ◎ 磨耗を対象とする円歯歯車許容伝達馬力計算式の解析.....日立製作所・亀有工場 保延 誠
- ◎ 鉛および鉛合金の新化学研磨法とそのケーブル鉛被への応用..日立製作所・日立電線工場 { 山路賢吉
大島芳昭
- ◎ ポリエチレンの可塑性日立製作所・日立電線工場 山本三郎
- ◎ 5% Cr-Mo-V 鋼 (SCD) におよぼす V および W の影響について
日立製作所・安来工場 { 小柴定雄
九重 常男

東京都千代田区丸の内1ノ4
(新丸の内ビルディング7階)

日立評論社

誌代 { 1箇月分 ¥100 円12
6箇月分 ¥430(送料共)
12箇月分 ¥840(送料共)

電化で築く家庭の幸福

美しい近代照明




日立蛍光ランプ
日立蛍光照明器具

日立製作所

日立の家庭電気品
ヒタチランプ 蛍光ランプ 蛍光スタンド 真空管 扇風機 スーパーミキサー 電気冷蔵庫 電気洗濯機 電気掃除機 電気井戸ポンプ 電話機