

噴流試験片にあてられているところ

## 液 体 ホ ー ニ ン グ

小 川 正 義

### 1. 液体ホーニングとは？

金属の表面仕上げ法として液体ホーニングがわが国でも最近注目されはじめてきている。ホーニングとは元来、砥石を用いる精密加工法の名であつて、グライインディグよりも一層高品位の仕上面を得るためのものなのであるが、液体ホーニングという場合にはその意味は少しく違つている。砥石は微細な切削縁を持つ粒子（砥粒）を結合剤によつて固めたものであるのに對し、液体ホーニングでは砥粒を支持するのは化学溶液又は水などの液体で、このような混合液を壓縮空氣によつて高速度の噴流とし、これを工作物にあててその表面の仕上を行うのである。砥粒の一箇一箇は大きな速度で工作物表面に衝突して、それ等のあるものはめりこむが他は反撥され、その際自分自身も一層微細な粒子に破碎されながら小突起をつぶすものと思われる。液体はこのとき砥粒をはこび、その散亂を少くし、加工面を冷却し、かつ切屑を持去る作用を持つている。大流量で高速度の噴流を用いれば、ごく短時間内に仕上を終ることができるのである。

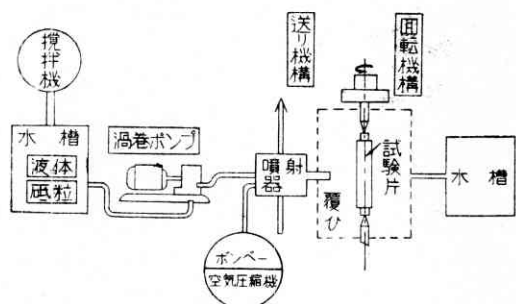
この加工法はアメリカの Vapor Blast Mfg. Co. ではじめられたのであるが、一二の外國文献<sup>1)</sup>とわが國での紹介<sup>2)</sup>とがあるだけで、未だ詳細なデータは全く知られていないらしい。今後研究する価値は十分あるように思われる。その要點の一つは加工能率のよい装置の製作に關することであり、もう一つはこのような加工を受けた表面がどんな状態を呈し、どんな性質を有するかを明かにすることである。これ等の結果によつては、應用の途も次第に開けて行くであらう。前記外國文献によれば、液体ホーニングを受けた表面は硬化して、強度や疲労限界が高まり、又砥粒の衝突によつて加工面に生じた小さな無數のくぼみが、軸受として用いられるとき油滴のたまりとなつて都合がよいとのことである。なお工作物の寸法精度は數千番の微粒を用いる場合 0.0001~0.0002 時の公差内に維持されるという。筆者の考えではこれ等の特徴の他に、もし數μ程度の仕上代が確實にコントロールされ得るものであるならば、例えばラッピングや電解研磨の前加工としての用途にもあてられ、その他適當な仕上げ法のない形状の部品などにも用いられるであらう。

### 2. 筆者の實驗

筆者の研究室で小規模ながら實驗装置を試作した。それも未だ多くの不完全な點を持つものではあるが、少いづつ實驗をはじめています。これについて今迄のところの概要を述べてみよう。

1. 目的 旋盤加工による丸棒の円端面の仕上に用いて、その挽目の凹凸を如何に減じ得るものであるか、又その仕上面はどんな状態になるものであるかを求め、これ等から砥粒の作用を推定するにある。

2. 装置 a. 全體の構成 第1圖に略圖で示す通りである。すなわちまず砥粒および液体を或る混合比で水槽

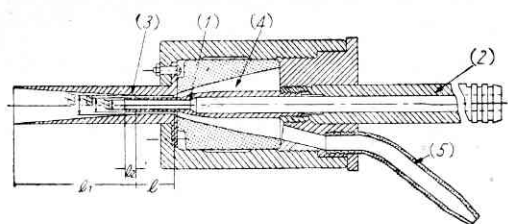


第1圖 装置の構成略圖

中に入れ、できるだけ均一な混合状態を保つように攪拌機により攪拌する。渦巻ポンプがこの混合液を吸出して噴射器に送る。噴射器には別にポンプから數気壓程度の壓縮空氣を送り、混合液を加速するのに役立たせる。

円端状試験片は旋盤に兩センターで支へられて回転され、その表面に適當な角度で噴流があてられる。噴射器は旋盤の刃物臺に代る特別な保持器によつて固定され、通常の自動送り装置によつて往復臺上にあつて縦送りされる。試験片および噴射器先端のまわりにはおおいをほどこし、使用済みの混合液を集めて水槽に受ける。この液は或る程度まで繰返して使用することができる。

b. 噴射器の構造 全装置の中最も重要な部分である。試作したものの構造を第2圖に示す。圖の(1)は液体の流出管であつて、ポンプから(2)に送りこまれた混合液が内径  $d_1$  の口から流出する。壓縮空氣は(5)から入り、



第2圖 噴射器の構造

(4) を経て管 (3) によつて噴出する。噴出速度を高めるため、この管はいわゆるラバール管式の構造をとつていゝ。すなわち長さ  $l_1$ 、直径  $d_2$  の狭められた部を設け、その後は角度  $8^\circ$  で廣げてある。混合液は (1) から流出した後、周囲を流れる気流によつて噴霧状態となつて突進する (カット写真)。

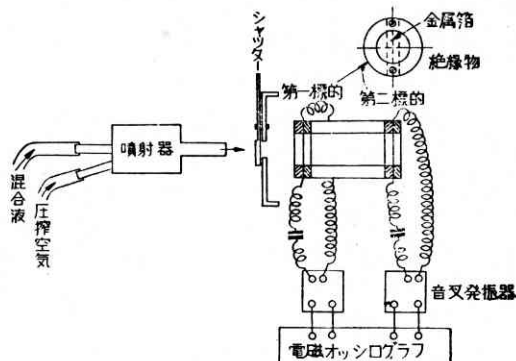
**c. 噴射器の性能** 砥粒になるべく大きな運動のエネルギーを與えるように設計もべきである。これは結局液體の流量と、最大噴流速度との問題となる。もちろん噴射器の構造としてどんな形式がよいかは、それだけで一つの研究項目になるのであるが、今前記のようなものをとるとして、何がその性能に大きく影響するであろうか。液體の大流量を得るにはいう迄もなく大馬力のポンプを用い、口径の大きい管からそれを流出させればよい。しかしこれを加速するのに多くの空氣量を要するから、管 (3) の孔の径  $d_3$  を増大させねばならず、従つて一定のテーバーを有するその末端においての内径が大きくなり、工作物の直径によつては仕上に與らない無駄な流量が多くなつてしまう。又大容量の空氣ポンプを必要とすることにもなる。このようなことを考慮して  $d_1$  を 4.5 mm にとつた。これを 2 mm 程度に小さくすると、使用後一旦休止したとき孔が砥粒でつまりやすい。1 馬力のポンプを用いて壓搾空氣を送らないとき、流量 180 cc/sec を得ている。これは 11.3 m/sec の速度に當る。孔  $d_1$  に對してその外徑  $d_2$  を 5.5 mm,  $d_3$  を 7 mm にとつてある。従つて空氣が流出する最小斷面積は 14.7 mm<sup>2</sup> である。ここを通るとき空氣の速度が音速に達し得ると假定すると、その流出量は約 5 l/sec となり、液體の流量の 30 倍弱である。この倍数が噴射器の性能を定める一つの因子であつて、過小であると液體を十分加速できない。又ポンプの容量におさえられるからあまり大きくもできず、このような制限がなくても過大にとると空氣に無駄が多くなる。もつとも最小斷面部で音速に等しい空氣の流速を得ることは、理論上はともかく實際には困難が多い。ポンプからの通路をできるだけ太く短くし、途中で廣がつたり狭まつたりする箇所が全然ないようにしなければならない。

次に第2圖での  $l_1$  および  $l_2$  の長さが液體の流量および最大噴流速度に影響する。空氣の流れからいへば、管 (1) に邪魔されて亂されることになるので、 $l_1$  の部でこ

れを整えるわけである。又  $l_2$  によつて、適當に空氣が加速された位置で液體と混じ、これを吸出すようにしてやるのがよいのである。今の實驗では  $l_1 = 14$  mm,  $l_2 = 3$  mm にとつてゐる。

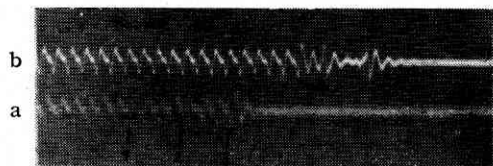
第三に管 (3) のテーバー部の角度を  $8 \sim 10^\circ$  の範圍で一定にとつた場合、その長さ  $l_1$  の大小がやはり噴流の加速に影響する。一方既述のように、管端での孔徑が必要以上に大きくならないようにも注意しなければならない。ここでは  $l_1 = 45$  mm にとつてゐる。

噴射器の性能を求める場合、流量の方は水槽の水位の減少と時間とから算出し、噴流速度の測定には第4圖の



第3圖 噴流の速度の測定裝置

ような方法をとつてゐる。管 (3) の端附近に適當な距離をおいて第一、第二の標的を設ける。これ等はともに2枚の金屬箔を接觸させたもので、それぞれが2つの1,000 サイクルの電磁音叉發振器の電氣回路中に入つてゐる。噴流が第一の標的にあたつて箔の接觸を切ると第一の音叉が止り、次いで第二の標的が切られて第二の音叉が止る。その微小な時間間隔を求めるために、それぞれの發振器の出力を電磁オシログラフの2つの振動子に導いて、各音叉の振動が停止する前後の状況を寫眞にとる。最初噴流を、管 (3) の端と第一標的との間に設けたシャッターにあてておき、まずオシログラフのシャッターボタンを押し、次いで標的のシャッターを開くのである。このようにして得ている記録の一例が第4圖である。a が第一音叉、b が第二音叉によるものである。a では3で電流が切れる前に1. や2. で波形がくずれ又元に復し



第4圖 噴流が兩標的を切る時間間隔の記録

ている。これは標的用のシャッターに片開きのものを用いたため、中心流より早く側流による衝撃を受けて、箔が振動したことによるのであろう。b ではこのようなこ

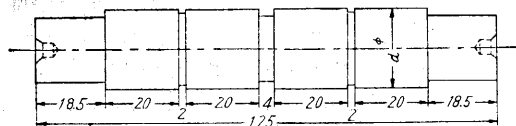
とは起っていない。4 で一度にくずれている。3 および 4 以後の波形は音叉の減衰による。標的を音叉の出力回路中に入れた方がこの部分はもつと簡単になる。3 と 4 の時間間隔を第二音叉の波形の山数から求めると、0.0045 sec となる。これは管 (3) の端から 40 mm のところに第一の標的を、それより更に 100 mm 離して第二標的をおいたときの中心流 (空気圧力 95 lb/〇〇, 流量 200 cc/sec) によるもので、その間での平均噴流速度は 22 m/sec となる。この値は 100 mm の標的間隔内で、噴流速度が直線的に減少するものと仮定すれば、ちょうどその中央すなわち液体の流出口端の前方 131 mm のところの速度に當る。壓搾空気をを用いないときのこの位置での流速を断面積の擴大から求めてみると、約 4.5 m/sec である。従つて 5 倍足らずの速度上昇に過ぎず、豫期した程の効果は現われていない。その原因としては壓搾空気の利用が未だ十分でないこと、標的間隔が大き過ぎたこと、標的シャッターを開く前にこれにぶつかつて跳返つていた噴流が、後続流の邪魔をしていること等が考えられる。しかし上記の場合でも噴流が管 (3) を出た瞬間にはもつとづつと高い速度になつてゐるものと推定される。もつともこのようにして得る値が、何の速度値であるかは明かでない。液体に氣體が混じただけでも複雑であるのに、今の場合には更に微粒子の固體がまじつてゐるからである。しかしながら液体の流量に、前記のようにして得られる速度値の 2 乗を掛けした値が大きい噴射器程、性能が高いと考えて大過はないであらう。

**d. 噴射器の取付** 旋盤の上部送り臺を取去つて、カッター寫眞中央に見えるような保持具を用いた。これにより噴射口は、上下位置、俯仰角、鉛直軸のまはりの角の何れをも任意に變更される。

**e. 砥粒及び液体** 砥粒としては形状や大きさが一様で、なるべく安價なものがほしい。比重は小さい方が水槽中での均一な攪拌が容易であり、又噴流中で大きく加速されることにもなる。又劈開の性質の有無も仕上効果に影響があらう。

液体としては冷却作用を持ち、工作物や使用機械を錆びさせたり腐蝕したりしないものがよい。水に防錆劑をまぜたので十分であらう。液と砥粒との混合比は、攪拌の難易を考慮して定める。

**3. 實驗方法及び加工條件 a. 試験片** 工作物の材質は四六眞鍮および軟鋼の二種類とし、その形状および寸法は第 5 圖の通りである。試験部分の表面は旋盤加工の



第 5 圖 試験片 d. の値は眞鍮 22 mm, 軟鋼 18 mm

際、バイトの縦送りを變えて種々の粗さに作つておき、ホーニング前後の粗さの記録をとる。又直径の減少、眞円性、円嚢性および顯微鏡寫眞による表面狀況の變化をも比較する。

**b. 工作物回轉速度および縦送り** 旋盤主軸を 300 r.p.m. で回轉させ、縦送りは 0.5 mm/rev. にとつた。噴流の左端が試験片の一つの右端に接する位置から往復臺を出發させ、噴流の右端が試験部分の左端に達したときに停止する。試験片の他の部分にはおおひをほどこしておく。一回の加工時間は約 15 秒である。噴流の直角断面内で砥粒が必しも均等に分布されてはいないので、縦送りを大きくすると工作面上にスパイラル狀の仕上むらを生ずるおそれがある。

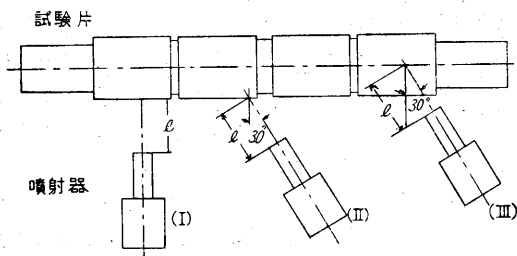
**c. ポンプ** 1 馬力, 1410 r.p.m. 揚水量 4.5 l/sec, 總揚程 8.0 m の渦卷ポンプ。

**d. 壓搾空氣** 1 馬力可搬式空氣壓縮機による。ポンペーの容積が小さく、加工時間中に可なりの壓力低下がある。平均 100 lb/〇〇 をとつてゐる。

**e. 砥粒および液体** アランダム #200 および #1,000, 液体は單なる水。混合比は重量で前者 1 に對し後者 2。

**f. 混合液の流量** 空氣壓力低下に伴ひ多少減ずるが、平均 200 cc/sec.

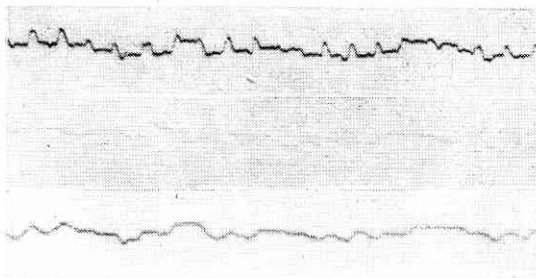
**g. 噴射距離および角度** 第 6 圖に示す 3 通りを行つた。



第 6 圖 噴射距離および角度

l の値は眞鍮に對して 30 mm 軟鋼に對して 20 mm (I), (II) では噴射器中心線は試験片中心線をふくむ水平面内にある。(III) では噴射器中心線は試験片圓嚢面に切する。

**4. 結果** 試験材料として比較的軟いものを選んだため、表面内にめりこむ粒子数が豫想外に多く、一回加工を行うと眞鍮でも、軟鋼でも砥粒の色である灰白色をおびる。これを刷子で洗い落とすと、幾分金屬光澤を回復する。その後に測定を行い又次回の加工を行つてゐる。もつともこのように砥粒を拂う前後に直径を測つてみても、變化は認められない。測定器の精度を考慮してかりに直径の減少があるとしても、萬分の耗以下の程度であらう。使用した砥粒の大きさから考えて、以上のことは表面の突起よりも砥粒の角が出ばるようなめりこみ方はしないことを意味する。



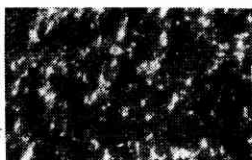
第 7 圖 上から (1), (2), (3)

第 7 圖\* (1) は旋盤加工による真鍮の中級仕上の円端面の軸方向の粗さの圖である。鋭い突起のピッチはバイトの縦送りに對應している。これに第 6 圖 (I) により  $\# 200$  の砥粒を用いて一回の加工を行つた結果が第 7 圖 (2) であり、(1), (2) の顯微鏡寫眞がそれぞれ第 8 圖\*\* (1), (2) である。加工後は挽目が稀薄になり、うねりよ

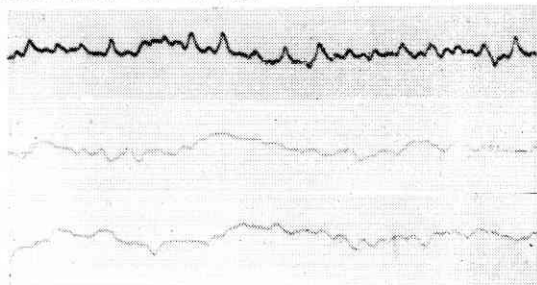


(1) 第 8 圖 (2)

うのものと小さなくぼみによる凹凸とが残ることがわかる。小さなくぼみとはいつても、砥粒が幾重にも衝突するから、その箇々の大きさに比してかなりの面積に達しているものもある。第 7 圖 (3) は (2) の表面を更に 30 分間位布で擦つて得た面の粗さを示す。このときおそらくめりこんでいた砥粒が出てきて、ちょうどバフをかけるのと同様な作用が行われたのであろう。(2) よりも一層滑らかになつてゐる。いずれにせよこのように無數のくぼみを持つ面であるから、ちょうどイブンをかけたかのような外觀を呈する。もつともくぼみの深さは浅いもので、ペーパーで磨けば簡単にその層がとれて、低くなつたその挽目が現われる。同様な傾向の表面第 9 圖 (1) を二回、更に三回加工した結果がそれぞれ同圖



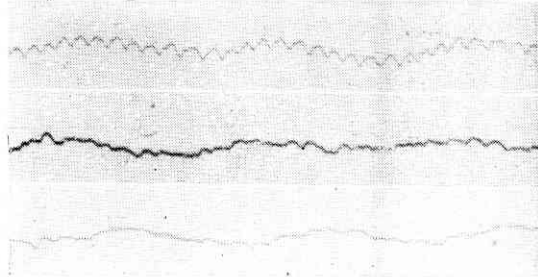
第 9 圖



第 9 圖 上から (1), (2), (3)

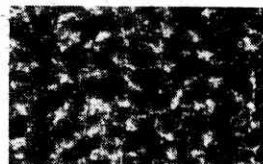
\* 第 7 圖以下の粗さ記録寫眞はすべて、縦  $\times 1,000$  横  $\times 50$ \*\* 第 8 圖以下の顯微鏡寫眞はすべて、 $\times 115$ 

(2), (3) で、第 10 圖は (3) の寫眞である。(2) と (3) では一見したところその良否に差はないようであるが、(3)の方がむしろ少し悪くなつてゐる。つまり二回の加工で良くなつた表面が更に第三回目の加工を受けると、新にもり上つた突起ができたり、凹所の形もくずれて一層深くなつたりする。第 10 圖で見ると挽目は全然なくなつたようであるが、これは局部的のものだからで、全體としてはやはりその痕跡は認められる。(3) から考えると第三回目としては、 $\# 200$  の砥粒では大き過ぎるのである。或る程度迄滑らかな面になつた後は、一層細い砥粒を用いる必要がある。このような例を第 11 圖 (1),

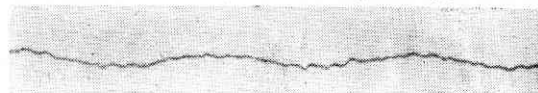


第 11 圖 上から (1), (2), (3)

(2), (3) に示す。うねりは可なりあるが旋盤による上加工面 (1) を前と同様に一回加工すると (2) となり、次に  $\# 1,000$  の砥粒を用いると (3) となつた。これの

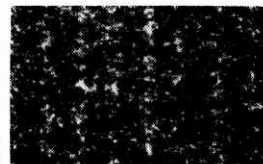


第 12 圖



第 13 圖

寫眞が第 12 圖である。うねりは依然として残るが小突起は非常によくとれてゐる。もつとも最初の面がよければ、はじめから細い砥粒を使用した方がよいこと



第 14 圖

は第 13 圖、第 14 圖からわかる。 $\# 1,000$  による一回の加工で、第 11 圖 (1) のような面がこんなになるのである。第 14 圖では第 12 圖に比し、個々のくぼみの面積が小さくなつてゐる。

以上のような粗さの記録から加工効果を定量的に求めるのに、加工前後のいわゆる「アボットの曲線」<sup>\*</sup>を畫いて比較できるのならば、半径の減少と凹凸の改善とが同時に示されることになつて非常に便利なのであるが、凹所迄も加工を受ける傾向にあるため、一度に兩方を表わすわけには行かない。やはり直径の減少は別に測定し、これと舊日本機械規格で定められた通り凹凸の最大の高さ  $H^*$  (粗さ) をとるか、又はアボットの曲線を畫くかして、二つによつて表わす必要がある。直径の減少に伴

つて粗さも改善されるのであれば、表面仕上げ法としての価値はないのである。

今加工回数と試験片直径およびHとの関係を圖示すると、第15圖となる。直径は最初一回の加工毎に約 $3\mu$ づつ減少するが、第三回目には $7\mu$ という特に大きな値が出た。これは既述の仕上面が悪化するのと對應している。

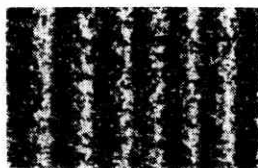
次に第6圖(II)および(III)によつて加工する場合

には、凹所迄も變形することが減るのではないかと思われる。しかし実際には噴流に廣がりもあるので、真鍮のような軟い材料に対しては全般的に効果が多少落ちる程度で、特に凸部のみが多く加工を受けるわけでもない。

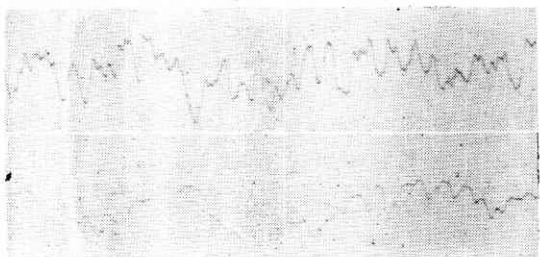


第16圖

第16圖、第17圖は第11圖(1)のような表面に、 $\#1,000$ の砥粒で、第6圖(III)の仕方で一加工を行つた結果である。第13、14圖にくらべてその効果



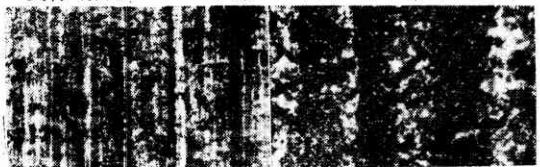
第17圖



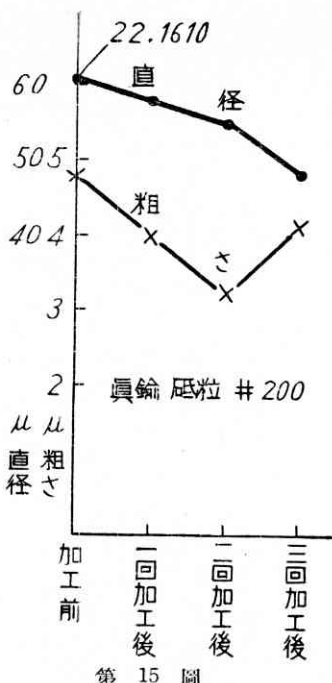
第18圖 上から(1),(2)

の少いこと、残つた小突起が倒れ氣味なことがみられる。

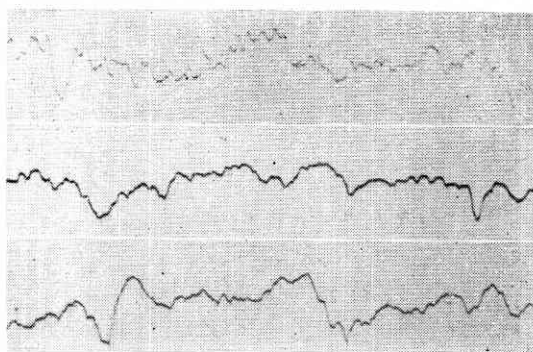
軟鋼試験片については第18圖(1),(2)、第19圖(1),



(1) 第19圖 (2)



第15圖



第20圖 上から(1),(2),(3)

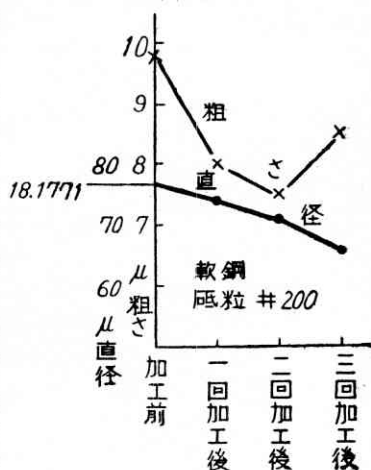
(2)に一回加工の前後の表面状態を、第20圖(1),(2),(3)にそれぞれ加工前、二回加工後、三回加工後の状態を示す( $\#200$ の砥粒、第6圖(I)による)。第21圖は第20圖(3)に對應するものである。これ等の試験片にはむしろあつて極めて不規則であり、Hの値は $10\mu$ にも達する。これに



第21圖

一回加工を行うと鋭い山の頂がつぶされて、づんぐりした形に變る。同時に凹所も可なり變形しているが、真鍮の場合に比し挽目の減少はづつと少い。噴射距離が近いので砥粒のめり込みは案外多い。二回の加工により最もよい表面が得られ、三回目にはかえつて悪化することは真鍮同様である。二回目又は三目に砥粒

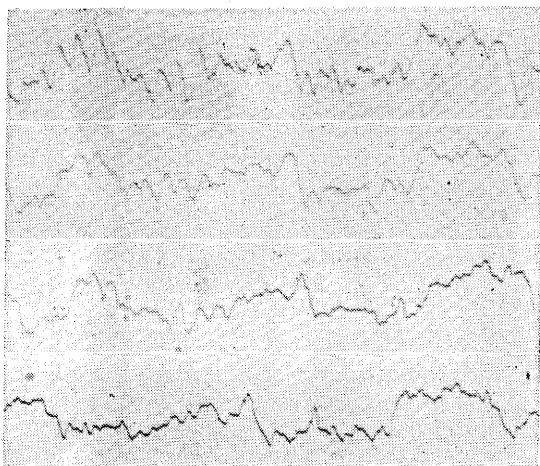
を細かくすれば、もう少し改善されるが、前加工の面がこの程度に粗いときは大した効果はない。むしろ最初もつと粗い砥粒で加工すべきなのである。加工回数に對する試験片直径およびHの關係を示したのが第22圖である。軟鋼に對しても第三回



第22圖

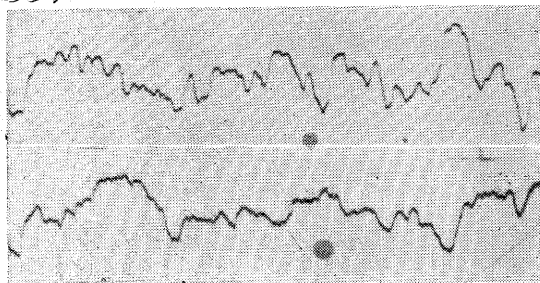
には直径が $5\mu$ の變化をなし、一、二回目の $3\mu$ にくらべて大きく出、粗さの悪化と對應している。

軟鋼の場合斜加工の効果はどうかというに、第23圖(2),(3),(4)に(1)を第6圖(II)によりそれぞれ一回、二回、三回加工した結果を示す。全般的に効果が減少しているほかは大した變りはない。これに反して第6圖(III)の仕方では第24圖に示すように、凹所に餘り變化を與えずに突起を大きく落し、優れた結果を表わしてい



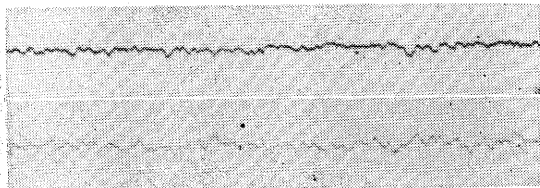
第 23 圖 上から (1), (2), (3), (4)

る。このとき加工に與る液量は少いが、噴射距離が實質的に非常に近くなっており、かつ砥粒が加工面に眞向からぶつからないし、はね返りの妨害も少い點がよいのであろう。



第 24 圖 上から (1), (2)

しかし何といつても # 200 の砥粒は、今迄のような軟鋼の旋盤加工面に對しては細か過ぎる。ところが前加工面がづつとよいときには、# 1,000 の砥粒でも粗過ぎるのである。第 25 圖 (1) はグラインダー加工面で、 $P$  が  $2\mu$  程度のものである。これに # 1,000 の砥粒を用い、第 6 圖 (III) の斜切線加工を一回施した結果が同圖 (2) で、



第 25 圖 上から (1), (2)

かえつて悪化して  $H$  が  $2.5\mu$  の面になつてゐる。この場合直徑には變化を生じなかつた。これをもつと粗い砥粒で行うと、粗さばかりでなく直徑もかえつて増加するという結果も得られている。

以上を通じて綜括的にいえることは

1. 比較的軟い材料に對してはめりこむ砥粒が多い。その結果小さくぼみを無数に持つ表面が得られるが、その層は薄い。

2. もちろん表面を擦つて通る砥粒もあると思われ、これ等によつて突起は大きく破壊される。従つてくぼみはあつても全體としての負荷面積は確かに増す。

3. 強度上から弱い突起がとれると、その後の加工はかえて表面を悪化させる。

4. 突起ばかりでなくもちろん凹所も變形を受ける。

5. 従つて良好な加工の場合でも單に凹凸の高さがへるだけではなく、山の形そのものが變つてしまうのである。

6. 前加工による粗さによつて、適當な砥粒番號を選ぶべきである。選擇が悪いとあまり加工効果がなかつたり、かえつて表面を悪化させる。うねりはとれない。

7. 眞円性や円錐性は加工回数によつて多少の變動はあるが、大體前加工に従う。

8. 噴射距離はもちろんだが角度も加工效果に影響する。等である。

### 3. 結 び

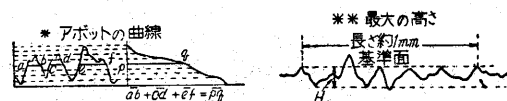
今迄のところ未だこのような加工面の硬度や組織、耐磨耗性等については何も調べていない。なお粗さの變化に關しても、もつといろいろな程度の前加工の試験片について、種々の番號の砥粒を用いて結果を求める必要がある。そして一層硬い材料や焼入鋼に對する效果も求めたいものである。なお使用後の液體の中から切屑を見出すことは、最初の砥粒中にすでに金屬粉が混じているため中々困難である。これに反して砥粒の破碎の様子をみることは比較的やさしい。今迄にも加工後の液中から、細くなつたらしい砥粒が顯微鏡下に見出されている。焼入鋼に對しては硬い砥粒との衝突であるから、おそらくもつとはげしく砥粒の劈開が起り、突起の破壊ではなく切削が行われるのではないと思われる。

めりこんだ砥粒をふくむ加工面を電解研磨してみるのも面白いと思う。おそらく砥粒をふくまない突起だけが溶解し、凹所にある砥粒は自然にとれて表面は滑らかさを増すのではあるまいか。

現在は旋盤を利用して實驗を行つてゐるが、おおいから洩れる混合液によつて機械をいためるおそれがあり、専用機を作る必要があると考えている。

### 文献および註

- 1) C. H. Wick: Machinery, Vol. 54 Nr. 7, 1948.
- 2) 小川正義: 生産研究, 第 2 卷第 3 號, 松本貞男: 機械の研究, 第 3 卷第 3 號.



\* 圖のように断面曲線を水平線で切断し、切断部分の長さの和を高さの面数とした曲線をいう。

\*\* 圖のようにまれにしか現われない並外れて大きい凹凸を除き、三點以上で接する平面を基準面とし、この面からそれに対する最も深い谷底迄の距離をいう。