621. 923. 1. 014. 4

作業中に生ずる といし と工作物の相互位置の 変化が、といしの切込み量におよぼす影響*

塩 崎 進**

The Effect of the Relative Displacement between the Grinding Wheel and the Work on the Wheel Depth of Cut in Grinding Operation

by Susumu SHIOZAKI

The displacement of the relative position of the grinding wheel and the work at grinding operation is investigated. The true and the equivalent wheel depth of cut, the decrease of work radius, and the cutting residue are computed under the following assumptions.

- (1) The effect of the vibration is ignored.
- (2) The relative displacement between the grinding wheel and the work is elastic and proportional to grinding force.
- (3) The parallel movement of the work and the grinding wheel caused by the grinding force is assumed, respectively.
- (4) The wear of the grinding wheel is ignored.

The analysis shows that the equivalent wheel depth of cut is equal to the amount of the wheel-head advance at each pass when the number of passes is increased.

1. 緒 言

研削作業において、といしの切込み量をといし台の動きを基準にして与える場合に、といし台の送込み量と工作物の半径減少量とが一致しないで、その差がかなりの量になることがある。これの原因としては、研削抵抗によるといし軸の回転中心の移動、工作物の弾性変形、および心押台側のセンターの移動、さらに機械各部の振動などが考えられる。そして、このような原因を全く除くことは現在は困難であると思われるから、多くの研削盤では、といし台の送込み量と工作物の半径減少量は完全には一致しないものと考えが必要がある。特に内面研削盤においては、その構造上といし軸の弾性的変位はかなりの量に達するものと思われる。

この論文では、作業中におけるといしと工作物の関係位置の変化を、次の仮定をもとにして解明した結果について述べる。

- (1) 機械各部の振動の影響は無視できる。

(2) といしと工作物の関係位置の変化量は、研削抵抗に比例し、全く弾性的である。

(3) 工作物とといしは平行移動する。

(4) といしの摩耗量は無視できる。

なお、筆者が前に発表⁽¹⁾した切残し量の式は、その式の性質上加工面の最大あらさを示すものであるからこれを「といしの切残し量」とし、ここで示す工作物とといしの関係位置の変化によって生ずる切残し量は工作物と機械の特性によって生ずるもので、これを「機械の切残し量」とし、両者の和を単に「切残し量」とよぶことにする。

2. 記 号

ϵ' : 研削抵抗による工作物の変位量 mm

ϵ'' : 研削抵抗によるといし軸の回転中心の変位量 mm

$\epsilon = \epsilon' + \epsilon''$: 機械の切残し量

$H_{\max}$: 表面あらさの最大値 ; といしの切残し量

$H_{\max, n}(\delta_i)$: $b/s=n$, といしの真の切込み量 δ_i のときの加工表面の最大あらさ mm

α : 機械の切残し量に関する定数

k, K : $H_{\max}$ に関する定数

* 昭和 34 年 4 月 2 日 第 36 期通常総会講演会において講演，原稿受付 昭和 34 年 4 月 2 日。

** 正員，東京都立大学工学部(東京都品川区大井町 237)。

- δ : といしの真の切込み量 mm
 δ_e : といしの相当切込み量 mm
 δ' : といし台の送込み量 (トラバースカットにおいては, 半行程ごとのといし台の送込み量; プランジカットにおいては, 工作物が1回転する間のといし台の送込み量) mm
 D : といしの直径 mm
 d : 工作物の直径 mm
 r : 工作物の半径 mm
 r' : 工作物表面の引かきぎずの幅と深さの比
 i : 研削回数 (トラバースカットでは行程数の倍; プランジカットでは工作物の回転数)
 s : 工作物1回転に対するといしの縦送り量 mm/rev
 b : といしの幅 mm
 V : といし車の周速度 m/mn
 v : 工作物の周速度 m/mn
 c : といし面の 1 mm^2 に存在する と粒数

3. 真の切込み量

第1図において工作物が s なる送り量で矢印の方向に送られるものとする. 初めに工作物表面およびといし表面が $A-A$ の位置にあったものを, $A-A$ に対しといし台を δ' だけ送り込んだとすれば, といし面は $B-B$ の位置に移動するはずであるが, 研削抵抗のために ϵ'' だけ後退し $B'-B'$ の位置になるものとし, また工作物表面は $A-A$ の位置から ϵ' だけ変位し

第1図 といしと工作物の関係位置

(a) 第1回研削

(b) 第2回研削

第2図 といしと工作物の関係位置

$A'-A'$ に位置するとする. この場合といしおよび工作物の変位は全く弾性的で研削抵抗に比例し, $A-A$ と $A'-A'$, $B-B$ と $B'-B'$ は平行であり, 研削抵抗が消滅すれば完全にもとの位置に復帰するものとする. 第1図から $A'-A'$ と $B'-B'$ の距離 δ をといしの真の切込み量とすれば,

$$\delta = \delta' - (\epsilon' + \epsilon'') = \delta' - \epsilon$$

またこの時, 工作物表面は $H_{\max}$ のあらさになるとすれば切残し量 a は,

$$a = \epsilon + H_{\max} \dots\dots\dots (1)$$

3.1 各研削回ごとに δ' だけといし台を送り込む場合

(a) トラバースカットの場合 初めにスパークアウト研削を行い, その時の ϵ および $H_{\max}$ は零に近い値になったとし, その位置からといし台を δ' だけ送り込んで第1回の研削を行った時の真の切込み量を δ_1 , といしと工作物の相互の変位量を ϵ_1 とすれば, 第2図 (a) に示すように

$$\delta_1 = \delta' - \epsilon_1 \dots\dots\dots (2)$$

いま第1回の研削後にできた工作物の表面あらさの最大値を $H_{\max, n}(\delta_1)$ とし, 表面あらさ曲線の谷底から平均線までの高さを $h_{m, 1}$ とし, 形状係数を F とすれば,

$$h_{m, 1} = F \cdot H_{\max, n}(\delta_1) \dots\dots\dots (3)$$

ただし $H_{\max, n}(\delta_1)$ は真の切込み量が δ_1 , $b/s = n$ である時にできた工作物表面の最大あらさを示す. 次に平均線の定義からして第3図に示すように, あらさ曲線とその谷底に引いた直線 $X-X$ によってかこまれた面積は $X-X$ から h_m の高さにある充実した部分の面積と等しくなる. ゆえに, 半行程の終りにといし台を δ' だけ送り込んで第2回めの研削を行う場合の

第3図 $H_{\max}$ と h_m の関係

真の切込み量を δ_2 、工作物とといしの相互位置の変化量を ε_2 とし、第 2 図 (b) に示すように δ_2 は工作物表面の $h_{m,1}$ を示す線からといし面までの距離とすれば、

$$\delta_2 = (\delta' + \varepsilon_1 + h_{m,1}) - \varepsilon_2$$

同様に、

$$\delta_3 = (\delta' + \varepsilon_2 + h_{m,2}) - \varepsilon_3$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\delta_i = (\delta' + \varepsilon_{i-1} + h_{m,i-1}) - \varepsilon_i \dots\dots\dots (4)$$

いま研削中におけるといしと工作物の移動量は、研削抵抗の内の法線方向分力 P_R にほぼ比例するとすれば、適当した性能を有するといしを使用し、目つぶれや目つまりを生じていない状態で、正常な研削作業を

行う場合には、接線方向分力 P_T と P_R の比はほぼ一定であることが発表⁽²⁾⁽³⁾されているので、 $\varepsilon \propto P_T$ となる。また佐藤⁽⁴⁾、小野⁽⁵⁾によれば $P_T \propto \delta^{0.88}$ になるが、これをほぼ δ に比例するとして、 $\varepsilon = \alpha \delta$ とおくことにする。よって、

$$\varepsilon_1 = \alpha \delta_1, \varepsilon_2 = \alpha \delta_2, \dots, \varepsilon_i = \alpha \delta_i \dots\dots\dots (5)$$

(3), (4), (5) 式から

$$\delta_1 = \delta' / (1 + \alpha)$$

$$\delta_2 = \{\delta' + \alpha \delta_1 + F \cdot H_{\max, n}(\delta_1)\} / (1 + \alpha)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\delta_i = \{\delta' + \alpha \delta_{i-1} + F \cdot H_{\max, n}(\delta_{i-1})\} / (1 + \alpha)$$

したがって、

$$\delta_1 = \frac{1}{1 + \alpha} \delta'$$

$$\delta_2 = \frac{1}{1 + \alpha} \left\{ \delta' + \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right) \delta' + F H_{\max, n}(\delta_1) \right\}$$

$$\delta_3 = \frac{1}{1 + \alpha} \left\{ \delta' + \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right) \delta' + \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right)^2 \delta' + \frac{\alpha}{1 + \alpha} F H_{\max, n}(\delta_1) + F H_{\max, n}(\delta_2) \right\}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\delta_i = \delta' \left\{ 1 - \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right)^i \right\} + \frac{1}{1 + \alpha} \sum_{j=1}^{i-1} \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right)^{i-(j+1)} F H_{\max, n}(\delta_j) \dots\dots\dots (6)$$

(b) プランジカッタの場合 工作物が 1 回転する間にといし台が送り込まれる量を δ' とし、研削回数 i は工作物が回転した数とすれば、トラバースカッタの場合と全く同様になり (6) 式から真の切込み量を求めることができる。

3.2 スパークアウト研削の場合 いま最初にといし表面と工作物表面が接した位置から δ' だけといし台を送り込んで第 1 回の研削を行い、次にそのまま i 回の研削を行うとすれば、3.1 と同様に、

$$\delta_1 = \delta' - \varepsilon_1$$

$$\delta_2 = \{\varepsilon_1 + F H_{\max, n}(\delta_1)\} - \varepsilon_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\delta_i = \{\varepsilon_{i-1} + F H_{\max, n}(\delta_{i-1})\} - \varepsilon_i \dots\dots\dots (7)$$

(5), (7) 式より

$$\delta_1 = \frac{1}{1 + \alpha} \delta'$$

$$\delta_2 = \frac{1}{1 + \alpha} \left\{ \frac{1}{1 + \alpha} \delta' + F H_{\max, n}(\delta_1) \right\}$$

$$\delta_3 = \frac{1}{1 + \alpha} \left\{ \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right)^2 \delta' + \frac{\alpha}{1 + \alpha} F H_{\max, n}(\delta_1) + F H_{\max, n}(\delta_2) \right\}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\delta_i = \frac{\alpha^{i-1}}{(1 + \alpha)^i} \delta' + \frac{1}{1 + \alpha} \sum_{j=1}^{i-1} \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right)^{i-(j+1)} F H_{\max, n}(\delta_j) \dots\dots\dots (8)$$

4. 相当切込み量

第 2 図 (a) に示すように、といしが最初に工作物表面より δ_1 だけ切り込んで研削し、加工面は最大高さ $H_{\max, n}(\delta_1)$ の表面あらさになるとすれば、工作物表面の $H_{\max, n}(\delta_1)$ の高さの部分は充実した高さに換算すれば $h_{m,1}$ となるから、実質的にはといしの切込み量は δ_{e1} に相当する。よってこれを相当切込み量とすれば、一般的には $\delta_e = \delta - h_m$ となる。

すなわち

$$\delta_{e1} = \delta_1 - h_{m,1} = \delta_1 - FH_{\max,n}(\delta_1)$$

よって

$$\delta_{ei} = \delta_i - FH_{\max,n}(\delta_i) \dots \dots \dots (9)$$

5. 工作物の半径および切残し量

(a) 各研削回ごとに δ' だけといし台を送り込む場合

いま最初の工作物の半径を r_0 とし、第1回の研削後における工作物の半径減少量を Δr_1 、工作物の半径を r_1 、切残し量を a_1 とすれば第2図(a)から

$$r_1 = r_0 - \Delta r_1 = r_0 - (\delta' - a_1)$$

同様に、第2回の研削では工作物の半径減少量が Δr_2 で半径は r_2 、切残し量は a_2 になるとすれば、第2図(b)に示すように、

$$r_2 = r_1 - \Delta r_2 = r_0 - (2\delta' - a_2)$$

i 回めでは

$$r_i = r_0 - (i\delta' - a_i) \dots \dots \dots (10)$$

$$\Delta r_i = \delta' + a_{i-1} - a_i \quad (\text{ただし } a_0 = 0) \dots \dots \dots (10)'$$

また

$$a_1 = \varepsilon_1 + H_{\max,n}(\delta_1), \quad a_2 = \varepsilon_2 + H_{\max,n}(\delta_2), \\ \dots \dots, a_i = \varepsilon_i + H_{\max,n}(\delta_i), \dots \dots \dots (11)$$

(b) スパークアウト研削の場合 第1回の研削で δ' だけといし台を送り込み、スパークアウト研削を行えば、

$$r_1 = r_0 - (\delta' - a_1)$$

$$r_2 = r_0 - (\delta' - a_2)$$

$$\dots \dots \dots$$

$$r_i = r_0 - (\delta' - a_i) \dots \dots \dots (12)$$

$$\Delta r_i = a_{i-1} - a_i \quad \text{ただし } i \neq 1 \quad \dots \dots \dots (12)'$$

$$\Delta r_1 = \delta' - a_1$$

6. $H_{\max}$ と F に関する考察

(a) $H_{\max}$ 研削加工面の表面あらさと研削条件の関係は、幾何学的考察によって導かれた式が発表されている。あらさ曲線の谷底から頂点までの高さの平均を $\bar{h}$ とすれば、たとえば円筒外面研削では

Yang と Shaw⁽⁶⁾ は、

$$\bar{h} = \left(\frac{v}{2Vcr'} \right)^{2/3} \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right)^{1/3} \dots \dots \dots (13)$$

小野⁽⁷⁾ は、

$$H_{\max} \propto \left(\frac{v}{Vc} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right)^{1/4} \delta^{1/4} \dots \dots \dots (14)$$

織岡⁽⁸⁾は、と粒先端が円すいであるとすれば、

$$h_m = 0.74 \left(\frac{v}{Vcr'} \right)^{1/3} \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (15)$$

$H_{\max}$ は (13)~(15) 式に定数を掛けた値になるとす

れば、それらの定数は工作物の材質、といしの特性、機械の特性などによって変化するものと考えねばならないであろうから、これらの定数を一般的に定めることは現在は困難のように思われる。よって実際に使用した工作物、といし、機械についていちいちこれらの定数を知ることが必要となるであろうし、このようにすれば (13)~(15) 式のどれを採用してもだいたいの傾向は知ることができるであろう。

この論文では筆者が発表した切残し量の式⁽¹⁾を採用することにする。ただしその求めた切残し量 ε は $H_{\max}$ を示すから次のようになる。

$$H_{\max,n} = \delta K^{\sum_{i=1}^n (\sqrt{H_{\max,n-1}} + \sqrt{H_{\max,n}})} \quad \left. \begin{array}{l} \text{円筒外面研削では,} \\ K = k^{(V/v)cv/dD/(d+D)} \end{array} \right\} \dots \dots (16)$$

ただし、

$$H_{\max,0} = \delta, \quad k: \text{定数}, \quad n = b/s$$

いま (16) 式を書き替えると、

$$\left. \begin{array}{l} H_{\max,1} = \delta K^{\sqrt{\delta} + \sqrt{H_{\max,1}}} \\ H_{\max,2} = H_{\max,1} K^{\sqrt{H_{\max,1}} + \sqrt{H_{\max,2}}} \\ \dots \dots \dots \\ H_{\max,n} = H_{\max,n-1} K^{\sqrt{H_{\max,n-1}} + \sqrt{H_{\max,n}}} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

(17) 式より $H_{\max,n}$ は $\delta = H_{\max,n-1}$ とした時の $H_{\max,1}$ に相当することがわかる。(17) 式は解くことが困難であるから、 δ と K の種々の値に対する $H_{\max,1}$ の値を図式法で求め計算図表に示せば、第4図⁽¹⁾のようになる。この図表は $H_{\max,1}$ と δ と K の関係であるが、前述のように $K=1$ の縦軸の値は、 δ あるいは $H_{\max,n}$ を示すことになる。たとえば、 $\delta =$

第4図 $H_{\max,n}$ の計算図表

0.04 mm, $K=0.01$ の時は $K=1$ で $\delta=0.04$ mm の点を通る曲線が $K=0.01$ の縦線と交る点より $H_{\max, 1}=0.01$ mm がえられる。よって $H_{\max, 2}$ は $K=1$, $\delta=0.01$ mm を通る曲線と $K=0.01$ の縦線との交点から図の点線で示すように 4.7μ となる。同様にして $H_{\max, 3}=2.7\mu$ となる。また, $H_{\max, 1}$ と δ の値が与えられれば, K あるいは k の値を定めることができる。

(b) **F** 形状係数 F の値は, Georg Schlesinger⁽⁹⁾ が研削加工面の 200 の資料について測定した結果を公表しているが, それによると算術平均は 0.58 になる。筆者が次の条件で加工した表面を測定した結果は 0.55 がえられた。

条件: といし; WA#60K, V ; 28 m/s, v ; 5~20 m/mn, 工作物; 焼入鋼 $HRC55$, 研削液; 乳化油。

$$\delta_i = \delta' \left\{ 1 - \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^i \right\} + \frac{F}{1+\alpha} \left\{ \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i-2} H_{\max, n}(\delta_1) + \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i-3} H_{\max, n}(\delta_2) + \cdots + \frac{\alpha}{1+\alpha} H_{\max, n}(\delta_{i-2}) + H_{\max, n}(\delta_{i-1}) \right\} \quad (6)'$$

i が大きくなれば

$$\delta' \left\{ 1 - \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^i \right\} \rightarrow \delta' \quad (\alpha > 0)$$

次に $H_{\max}$ はたとえば (13), (15) 式のように δ に無関係であるとすれば, (6)' 式の第 2 項は

$$\frac{F}{1+\alpha} H_{\max, n} \left\{ \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i-2} + \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i-3} + \cdots + \frac{\alpha}{1+\alpha} + 1 \right\} = F H_{\max, n} \left\{ 1 - \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i-1} \right\}$$

となり, i が大きくなれば, 第 2 項 $\rightarrow F H_{\max, n}$ となるから

形状係数の値も, 工作物の材質, といしの特性, 機械の特性などによって変るものと思われるが, この論文では一応 $F=0.55$ とすることにした。

7. δ_e と α の計算例

$\alpha=0 \sim 0.5$, $\delta'=0.01, 0.02, 0.03$ mm

$F=0.55$, $K=0, 0.001, 0.01, 0.1$, $s=b$

とした場合の δ_e と α の値を計算した結果, 第 5~7 図のようになった。

第 5 図は各研削回ごとにといし台を送り込む場合の α と δ_{ei} の関係で, (6), (9) 式, 第 4 図から求めたものである。各曲線に附けた数字は研削回数を示し, どの場合でも i が最大 5~7 になれば $\delta_{ei}=\delta'$ になることがわかる。

いま (6) 式を詳しく書けば,

第 5 図 δ_e の計算例

$$\delta_i \doteq \delta' + FH_{\max, n} \dots\dots\dots (18)$$

$H_{\max}$ が δ の関数である場合、たとえば (14), (16) 式を採用した場合は、 $H_{\max}$ は δ が大きくなれば大きくなる。そして (6)' 式の各項は正であるから i が大きい方が δ_i が大きいことがわかるから、

$$H_{\max, n}(\delta_{i-1}) > H_{\max, n}(\delta_{i-2}) > \dots\dots > H_{\max, n}(\delta_1)$$

となり、前の場合と比べれば第2項は $FH_{\max, n}(\delta_{i-1})$ より大きくはないある値に収束することがわかる。よって、(6)' 式の第1項も第2項も収束するから δ_i の数列は収束し、 i の値が大きくなれば、

$$\dots\dots \rightarrow \delta_{i-2} \rightarrow \delta_{i-1} \rightarrow \delta_i \text{ となり、したがって、 } \dots\dots \rightarrow H_{\max, n}(\delta_{i-2}) \rightarrow H_{\max, n}(\delta_{i-1}) \rightarrow H_{\max, n}(\delta_i)$$

いま (6)' 式の第2項を

$$\begin{aligned} & \frac{F}{1+\alpha} \left[\left\{ \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i-2} H_{\max, n}(\delta_1) + \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i-3} H_{\max, n}(\delta_2) + \dots\dots \right. \right. \\ & \quad \left. \left. + \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i'} H_{\max, n}(\delta_{i-i'-1}) \right\} + \left\{ \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i'-1} H_{\max, n}(\delta_{i-i'}) \right. \right. \\ & \quad \left. \left. + \dots\dots + \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right) H_{\max, n}(\delta_{i-2}) + H_{\max, n}(\delta_{i-1}) \right\} \right] \end{aligned}$$

とおき、 i' および $i-i'$ を大きくとれば

$$\left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i'}, \dots\dots, \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i-2} \rightarrow 0$$

$$H_{\max, n}(\delta_{i-i'}) \rightarrow \dots\dots \rightarrow H_{\max, n}(\delta_{i-2}) \rightarrow H_{\max, n}(\delta_{i-1})$$

となるから、

$$\text{第2項} \doteq FH_{\max, n}(\delta_{i-1}) \left\{ 1 - \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} \right)^{i'} \right\} \doteq FH_{\max, n}(\delta_{i-1})$$

ゆえに (6)' 式より i が大きければ

$$\delta_i \doteq \delta' + FH_{\max, n}(\delta_{i-1}) \dots\dots\dots (19)$$

結局 (9), (18), (19) 式より i が大きくなれば、

$$\delta_{ei} \rightarrow \delta'$$

となることがわかる。

第6図はスパークアウト研削の場合の α と δ_{ei} の関係で、(8), (9) 式、第4図から求めたものである。だいたい研削回が 3~7 回で $\delta_e = 0.2\mu$ になっている。

第6図 δ_e の計算例 (スパークアウト研削)

第 7 図 a_i の計算例

第 7 図は各研削回ごとにといし台を δ' だけ送り込む場合の α と a の関係を示し、(5), (6), (11) 式, 第 4 図から求めたものである。 δ_i は i が大きくなれば (19) 式の限界値をとり、したがって (11) 式より a_i も限界値を示すことになる。図の a_{c1} , a_{c2} , a_{c3} はそれぞれ δ' が 0.01, 0.02, 0.03 mm のときの切残し量 a_i の限界値を示す線である。たとえば, $\delta' = 0.01$ mm, $\alpha = 0.3$, $K = 0.001$ の場合は 3 回の研削回で切残し量は a_{c1} の線に達し、これ以上研削回を増大しても切残し量は 7.3μ の一定値を示し、 δ_i も δ_e も一定になる。

第 8 図は, $K = 0.001$, $\alpha = 0.5$, 各研削回ごとに $\delta' = 0.02$ mm として Δr_i , a_i を計算し, 工作物半径の減少状況を示した説明図である。図の縦軸は最初の工作物表面を基準として, 工作物の軸心方向に計った距離を示し, 実線は各研削回ごとの工作物表面の変化を示し, 点線は切残し量零 ($K = 0$, $\alpha = 0$) の場合の工作物表面の変化を示す。

8. 実 験

(a) スパークアウト研削 第 9 図は $\delta' = 0.01$ mm, $V = 1500$ m/mn, $v = 8.5$ m/mn, $D = 237$ mm, $d = 33.6$ mm, $c = 9.5$, といし: WA#60K, 工作物: 焼入鋼 HRC 55 の条件でプランジカットを行い(昭和 17 年ごろ製造の研削盤を使用), 工作物表面にできたみぞを触針法で記録したものである。 $i = 1$ の場合は, 初めにトラバースカットでスパークアウト研削を行い次に工作物の回転を停止し, といし台を δ' だけ送り

第 8 図 各研削回ごとの半径減少量と切残し量の説明図

込んでから工作物を 1 回転させた場合であり, $i = 2, 3$ はそれぞれ工作物を 2, 3 回転させた場合にできたみぞの形状を示す。

$i = 1$ の場合の測定値から $\alpha = 0.43$, $K = 0.1$ がえられる。これらの値による計算値と測定値を比べると, 図に示すように a_2 , a_3 の場合は幾分差が大きい割合に一致していることがわかる。しかし i が大きい場合には $H_{\max}$ の計算値と測定値の間にはかなりの差があり, この実験では $i = 20$ の場合の $H_{\max}$ の測定値は 1.5μ であったが, 計算値はほぼ零に近い値になる。

(b) 各研削回ごとに δ' だけといし台を送り込む場合 この実験に用いた円筒研削盤は昭和 19 年ご

ろの製品である。トラバースカット, $\delta' = 0.01 \text{ mm}$, $V = 1800 \text{ m/mn}$, $v = 18 \text{ m/mn}$, $D = 300 \text{ mm}$, $d = 60 \text{ mm}$, $c = 8$, $s = 5 \text{ mm/rev}$, $b = 15 \text{ mm}$, $n = 3$, 研削液: 乳化油, 工作物: 焼入鋼 $HRC 55$, といし: $WA \#60L$ の研削条件で, 各研削回ごとの工作物の半径減少量 Δr_i を測定すると, 第10図に示す各点のようになった。また第1回の研削後の表面あらさの最大値は 2μ の測定値がえられた。

いま (5), (6), (10)', (11) 式より

$$\Delta r_1 = \frac{1}{1+\alpha} \delta' - H_{\max, n}(\delta_1) \dots (20)$$

よってこの式で $\delta' = 0.01 \text{ mm}$, $\Delta r_1 = 5.5\mu$, $H_{\max, 3}(\delta_1) = 2\mu$ とすれば $\alpha = 0.33$ となる。

次に K を求めるために, $s = 15 \text{ mm/rev}$ すなわち $n = 1$ で研削し, $H_{\max, 1}(\delta_1) = 3\mu$, $\Delta r_1 = 2\mu$ の測定値がえられた。したがって (20) 式より $\alpha = 1$, (6) 式より $\delta_1 = 5\mu$ となり, 第4図より $K = 0.017$ がえられる。よって (5), (6), (10)', (11) 式, 第4図より Δr_i を計算すると第10図の曲線で示す値になる。測定点とこの曲線はだいたい傾向は一致しているが, 測定点は $\pm 2\mu$ くらいのばらつきがある。

9. 結 言

緒言で述べた仮定の (1)~(4) は理想的な研削盤においては成立するであろうが, 実際にはこれらの仮定は成立しないかも知れない。しかし実験に用いた割合に性能の悪いと思われる機械においても, 測定値と計算値とのだいたいの傾向は一致した。よって, ある機械について α や K の値を測定しておけば, δ_i , δ_{ei} , a_i , Δr_i などのだいたいの値を予知することができるから, 研削作業を合理的に行うことが可能になると思われる。

附記 本研究は文部省科学研究費総合研究(代表者 竹中規雄教授)の一部をなすものである。

文 献

- (1) 塩崎, 機械学会論文集, **18**, 74(昭 27-9), 10.
- (2) 竹中, 笹谷, 第31期定時総会前刷 講演番号 109(昭29-4-5).

討 論

〔質問〕 (1) 実験値をもとにして α , K を求めれば, α は研削系の動的こわさ, 研削液などに関する特性値, また K はといし, 工作物材質, 研削液, 研削条件などに関する特性値などのように表わされそうに思われ大変興味深く拝見しましたが, この点御考えがありましたら御教下下さい。

(2) 仮定(1)は式を作る上やむをえないが, 実際に振動を生ずるにもかかわらず, この実験値を用いる

第9図 スパークアウト研削(プランジカット)によってできた工作物表面のみぞ

第10図 各研削回ごとといし台を送込む場合

- (3) G. Pahlitzsch u. K. E. Lang, *Werkstattstechn. u. Maschinenb.*, **47**, 5(1957), 209.
- (4) 佐藤, 精密機械, **17**, 3(昭 26), 88.
- (5) 小野, 機械学会論文集, **18**, 74(昭 27-9), 15.
- (6) C.T. Yang & M.C. Shaw, *Trans. ASME*, **77**(1955), 645.
- (7) 小野, 機械学会論文集, **18**, 74(昭 27-9), 21.
- (8) 織岡, 山梨大学工学部報告, **8**(昭 32), 109.
- (9) Georg Schlesinger, *Messung der Oberflächengüte*, (1951), 29, Springer.

ことになります。この点どんな考慮が払われてありますか。

(3) $\epsilon = \alpha \delta$ と仮定してありますが, $P_T \propto \delta^{0.88}$ とすれば, α は $\delta^{-0.12}$ に関係する値となります。この α が δ_i におよぼす影響について検討されましたか。また実験(b)の同一実験で $\alpha = 0.33$ と $\alpha = 1$ の値がえられていますが, α を i に無関係に一定とした仮定と矛盾しませんか。(米津 栄)

【回答】 質疑(1)については、研削抵抗に関係のある因子はすべて α の値に変化をおよぼすものと考えられる。 P_T は $\delta, s, r', c, V, v, D, d$ などの関数であることは知られている。よって $\varepsilon \propto P_T$ とすれば、 $\varepsilon = \alpha' f(\delta, s, r', c, V, v, D, d)$ となる。この論文では簡単のために $\varepsilon = \alpha \delta$ とおいたから、 $\alpha = \alpha' f(s, r', c, V, v, D, d)$ となり、すでに発表されている研削抵抗を求める式を用いれば、ある研削条件に対する α の値を知ればその他の研削条件に対する α の値を知ることができる。 α や K の値についてのさらに一般的な結論をえるためには、従来の研削機構の幾何学的解析を進展させて、研削系の動的こわさ、といしの特性なども総合的に考慮したものにする必要があると思われる。

質疑(2)については、 α や K の値が機械やといしについての特性値であるとして、その都度 α や K を求めれば、その機械の振動条件も含めた α や K の値になるから、だいたいの傾向を知ることができるように考えられる。

質疑(3)については、 $\varepsilon = \alpha \delta^{0.88}$ とおくことによって式が複雑になり、解くことが困難であるので $\varepsilon = \alpha \delta$ とした。 $\varepsilon = \alpha \delta$ とした場合と $\varepsilon' = \alpha' \delta^{0.88}$ とおいた場合では、 ε と ε' の差は $\pm 10\%$ 程度である。次に実験(b)の $\alpha = 0.33$ の場合は $s = 5 \text{ mm/rev}$ であり、 $\alpha = 1$ の場合は K の値を求める目的で $s = 15 \text{ mm/rev}$ の条件で実験したものである。 $P_T \propto s$ であり $\varepsilon \propto P_T$ であるから、 $\varepsilon = \alpha \delta$ とおけば、 s が変れば α も変る。 s が 5 mm/rev の時に比べ $s = 15 \text{ mm/rev}$ では α は3倍になるはずで矛盾はないと考えられる。

【質問】 (1) 真の切込み量 δ をあらさ曲線の平均線からといしの最前線までとした理由を伺いたい。このようにとったために相当切込み量 δ_e や h_m を導入しなければならなかったのではないか。結果から見れば $h_m = F H_{\max}$ とした F を一定値としてあるから、あらさ曲線の山頂なり谷底なりの線を基準として δ をとってもよいのではないか。また第10図における実測点と理論値のくいちがいはこのために起ったのではないか。

(2) といし台の送り量(δ' に相当する)は毎回厳密に一定ではないことは、実験的に明らかな事実で

ある。第10図における理論値と実測値のちがいはこのことが原因ではないか。研削回数ごとのといし台の送り量を実測して比較してあるとよい。さらに δ' を可変とした場合の理論的取扱いはできないか。

(3) 切残し量 a の式がもう少し計算しやすい式であると実用上便利である。(本田 巨範)

【回答】 質疑(1)については、この論文では基本的な考え方を述べたもので、真の切込み量とはいし表面が工作物表面に実際に切り込んだ量を示し、一方相当切込み量とはいしが δ だけ切り込んだ時に、それに相応したといしの切残し量を生じ、そのために実質的には δ_e に相当する切込み量になるということの意味で、真の切込み量と相当切込み量は本質的に違うものである。さらにあらさ曲線の山の谷底などを基準として δ をとれるのは、 F は一定であってしかも $H_{\max}$ が δ の関数でないかまたは $H_{\max} = 0$ としてよい時であり、 $H_{\max} = 0$ の場合の計算例は第5~7図($K = 0$ の場合)に示した。

$H_{\max}$ は(13)、(15)式では δ の関数となっていないが、これらの式は幾何学的考察に基いたもので、実際には δ の関数になるという結果(答1)がでている。

質疑(2)については、第10図の結果はといし台の移動量を実測しながら、所定の毎回のといし台の送り量を正確に与えて実験してえられたものである。よって第10図の理論値と実測値の違いは、機械各部の不安定な弾性的変形によるものと考えた方が妥当のように思われる。

質疑(3)の実用上の式としては、 $H_{\max}$ が小さくて無視できるような場合は、(6)、(8)式などにおいて $H_{\max} = 0$ として、次式を用いるのも一案であると思われる。

毎回といし台を送り込む場合、

$$\delta_e = \delta_i = \delta' \left\{ 1 - \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right)^i \right\}$$

スパークアウト研削の場合、

$$\delta_e = \delta_i = \delta' \frac{\alpha^{i-1}}{(1 + \alpha)^i}$$

また、

$$a_i = \varepsilon_i = \alpha \delta_i, \quad \Delta r_i = \delta_i$$

(答1) 文献(1)、(5)参照。