

## 厚板의 Drill加工에 있어서 Burr의 生成에 關한 研究

崔聖圭\*, 梁均懿\*\*, 金台永\*\*\*, 徐南燮\*\*\*\*

### Study on the Burr Formation in Drilling a Thick Plate

Seong-Kyu Choe, Gyun-Eui Yang,  
Tae-Young Kim, Nam-Seob Seo

#### ABSTRACT

The burr worsens the accuracy of a workpiece and decreases a lot of productivity because it takes so much time and efforts to remove it.

In this paper, the height, thickness and size of a drilling burr were derived from the drilling variables of drill diameter, chisel edge angle, web rate  $= \left( \frac{2 \times \text{web thickness}}{\text{drill dia}} \right)$  and yielding stress of the workpiece as well as feed, point angle and helix angle.

The theoretical and experimental values of drilling thrust, torque and burr size of the testpiece were analyzed with the method of numerical analysis in a standard drilling condition.

The order of choosing the drilling variables for the purpose of controlling the burr size was dealt in this paper with burr forming ratio.

The results are as follows:

- (1) The drill diameter forms 42 percents feed 25 percents point angle 23 percents and web rate, chisel edge angle and helix angle 5 percents of the partial differential slope of drilling thrust within the usual available ranges of drilling variables.
- (2) The drill diameter forms 55 percents feed 26 percents web rate 9 percents and chisel edge angle, point angle and helix angle 10 percents of the partial differential slope of drilling torque in the usual available ranges of drilling variables.
- (3) About 70 percents of the burr size can be controlled by feed, 29 percents by web rate in the case of a fixed diameter. It is recommended drilling variables to be chosen in the order of feed, web rate, drill diameter, point angle, chisel edge angle and helix angle so as to control the burr size effectively.

---

\*全北大學校 大學院 機械工學科

\*\*全北大學校 工科大學 機械工學科 助教授

\*\*\*全北大學校 工科大學 精密機械工學科 助教授

\*\*\*\*全北大學校 工科大學 機械工學科 教授

## 1. 序 論

1863年 S. A. Morse<sup>1)</sup>에 의하여 産業用 drill 이 단들어진 以來 drill 과 drill 作業은 크게 진보해 왔으며, 現在에도 精密度와 生産性을 向上시키기 위해 많은 研究가 進行되고 있다.

Drill 로 加工된 구멍의 後面에는 뒤로 밀려져 나온 變形部가 發生되는데, 이것을 drilling burr 라 한다. 이것은 加工物의 精密度를 떨어뜨릴 뿐만 아니라 이것을 除去하기 위해 時間과 努力이 所要되므로 生産性을 크게 阻害한다.

LaRoux K. Gillespie<sup>2)</sup>는 實驗的으로 burr 의 두께를 비틀림角, 工具角, lip 餘裕角, 移送量의 關係式으로 나타냈고, A. Sofronas<sup>3)</sup>는 理論的으로 burr 의 높이와 두께를 비틀림角, 工具角, 移送量, 剪斷強度率의 函數式으로 나타냄으로써 burr 의 크기를 調節하려 하였다.

本 論文은 burr 의 크기를 비틀림角, 工具角, 移送量 外에 drill 徑, chisel 刃角, Web 率 (= 2 × wed 두께) 및 被削材의 降伏應力으로 나타내었다.

특히 drill 에 關한 諸變數들은 drill 의 幾何學的 形狀으로부터 直接 誘導함으로써 burr 의 크기와 drill 刃을 形成하기 위한 工具研削 媒介變數와의 關係를 明示하였다.

그리고 標準 drill 加工條件을 設定하여 數值解析과 實驗을 한 뒤 理論値와 實驗値를 比較分析하고 burr 生成率을 구하여 burr 의 크기를 調節하기 위한 drill 加工變數의 選擇法에 關하여 研究하였다.

## 2. 理論的 考案

### 2.1 Burr 의 生成機構

金屬切削時 burr 는 크게 Poisson burr, roll over burr, tear burr, recast burr, cut off burr, flash 의 6 가지 生成機構에 의하여 發生한다.<sup>4)</sup> 이들 中 drill 加工에 該當

되는 것은 Poisson burr, roll over burr, tear burr 로 Poisson burr 는 被削材의 Poisson ratio 에 關한 函數로 壓縮될 때 被削材의 後面에서 材料의 矮形에 의해 生成되며 切削半徑과 作用壓力에 比例한다. roll over burr 는 切削狀態와 材料의 可塑性에 關係되며 試驗片이 切削되는 것보다 굽혀지기 쉬울 때 發生한다. tear burr 는 굽힘과 剪斷의 두 힘에 의하여 生成되며 切削速度와 試驗片의 性質에 따라서 다르다.

이 中 drill 에서 被削材에 生成되는 burr 은 主로 roll over burr 이다.

### 2.2 Drill 의 幾何學的 形狀

圓錐形 drill, 雙曲線形 drill, 橢圓形 drill 의 形狀은 2次函數式으로 나타낼 수 있다.<sup>5)</sup>

Fig. 1 의  $X^* - Y^* - Z^*$  座標에서

$$\frac{X^{*2}}{a^2} + \frac{Y^{*2}}{b^2} + \delta \frac{Z^{*2}}{C^2} = 1 \quad \dots\dots (1)$$

과 같이 表現되는데, 여기에서  $\delta$  는 drill 의 各 形狀에 따르는 因數로서 圓錐形, 雙曲線일 때는 -1, 橢圓形일 때에는 +1 이 된다.

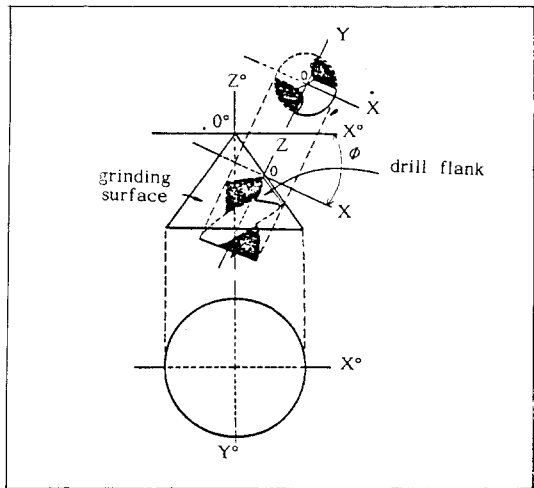


Fig. 1 The  $(x^*, y^*, z^*)$  coordinates and the  $(x, y, z)$  coordinates for drill point.

式 (1) 을 X-Y-Z 座標로 變換하여, a 와 c

를 중심으로 收斂시키고  $\delta = -1$ 로 하면 圓錐形 drill flank의 數學的 model은 다음 式과 같다.

$$\begin{aligned} & (x \cos \phi + z \sin \phi + \sqrt{d^2 \tan^2 \theta - s}) + \\ & (y - s)^2 - (z \cos \phi - x \sin \phi + d)^2 \\ & \tan^2 \theta = 0 \end{aligned}$$

(여기에서,  $\tan \theta = \frac{c}{a}$ ) ..... (2)

그리고 drill flute shape의 數學的 model을 구하기 위해 Fig. 2에서 角  $\alpha$ 와 角  $\beta$ 를 式 (2)와 같은 座標로 나타내면, flute 角  $\psi$ 는,

$$\begin{aligned} \psi = \sin^{-1} \left( \frac{W}{2r} \right) + \frac{2 \cot(\phi_p/2)}{D \tan H_x} \\ \left\{ r^2 - \left( \frac{W}{2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} + \frac{2Z}{D \tan H_x} \\ + \frac{\pi}{2} - Ca \end{aligned}$$
 ..... (3)

이 된다.

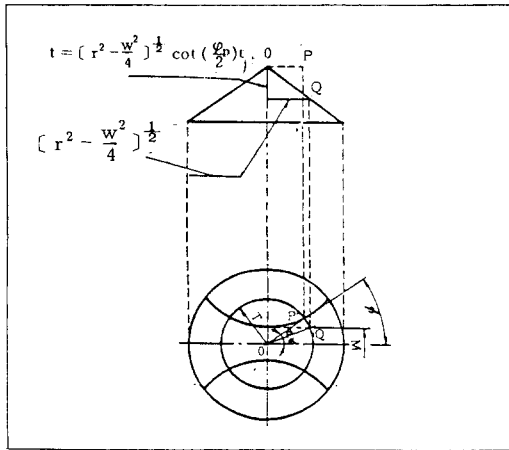


Fig. 2 Flute shape.

式 (2)와 式 (3)은 drill의 幾何學的 形狀을 이루는 基本函數式으로, 이로부터 drill 刃의 平面圖를 구할 수 있고 幾何學的 drill의 明細因子를 얻을 수 있다.

### 2.3 Burr의 크기

Drill의 幾何學的 明細因子와 drill 加工條

件을 고려하여 burr의 크기를 구한다.

먼저 Brinell 硬度 150인 American Standard 1020 鋼에서 drilling thrust와 torque는 chisel 刃角이  $Ca$ , 移送量이  $F$ , drill 徑이  $D$ , Web 率 ( $= 2W/D$ )이  $Wr$ , 工具角이  $\phi_p$ , 비틀림角이  $H_x$ 일 때, S. Wiriyacosol, E. J. A. Armarego에 의해서 다음 式과 같이 提示되어 있다.<sup>6)</sup>

$$F_z = 9.97 \times F^{0.546} \times D^{1.027} \times Wr^{0.279} \times \phi_p^{0.578} \times H_x^{-0.210} \times Ca^{0.060} \text{ (kgf)}$$
 ..... (4)

$$M_z = 39.36 \times F^{0.661} \times D^{2.004} \times Wr^{0.113} \times \phi_p^{-0.226} \times H_x^{-0.263} \times Ca^{-0.177} \text{ (kg-Cm)}$$
 ..... (5)

式 (4)와 式 (5)의 各 變數에 對한 偏微分기울기는 Namsung Seok<sup>7)</sup>, M. C. Shaw<sup>8)</sup>, S. Bera<sup>9)</sup>, L. Levi<sup>10)</sup>가 Brinell 硬度 290 以下인 鋼에서 理論的, 또는 實驗的으로 提示한 thrust와 torque의 各 變數에 關한 偏微分기울기와 誤差 5% 以下에 있다.

式 (4)와 式 (5)와 같은 drilling thrust와 torque가 作用할 때 被削材板은 彈塑性變形이 되는데 그 變形이 심할 때에는 drill 加工을 可能하게 하기 위하여 被削材가 drill 加工 힘에 對한 最小限의 두께 以上일 때 厚板(thick plate)이라 定義한다.

厚板의 範圍를 구하기 위하여 Fig. 3에서 上界解法으로 limiting force를 구하면

$$F^* = \frac{2\pi(2G_s - D)Y_m H_s^2}{(G_s - D)}$$
 ..... (6)

(여기에서  $Y_m$ 은 被削材의 降伏應力)

이다. 그런데

$$F^* \geq F_z$$
 ..... (7)

일 때 厚板이 되므로 厚板의 두께  $H_s$ 는

$$H_s \geq \left\{ \frac{(G_s - D) \cdot F_z}{2\pi(2G_s - D)Y_m} \right\}^{\frac{1}{2}}$$
 ..... (8)

이다.

實際 drill 作業時, 被削材板의 두께는 drilling machine의 驅動力과 安全性 및 工具의 振動이 考慮되어야 하므로  $H_s$ 는



$\delta$ 가  $-1$ 일 때, 工具角을 形成하기 위한 drill  
 工具研削媒介變數  $\phi$ 와 burr의 크기와의關係圖  
 이다.

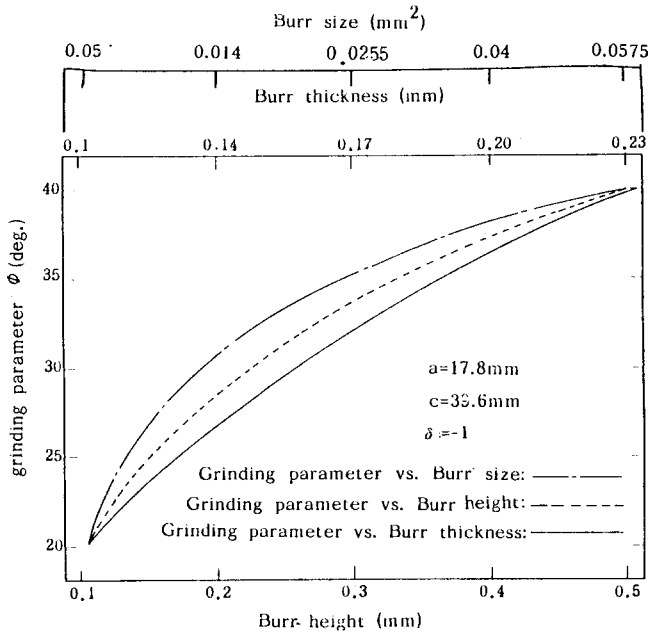


Fig. 5 Drill-tool-grinding parameter versus burr size

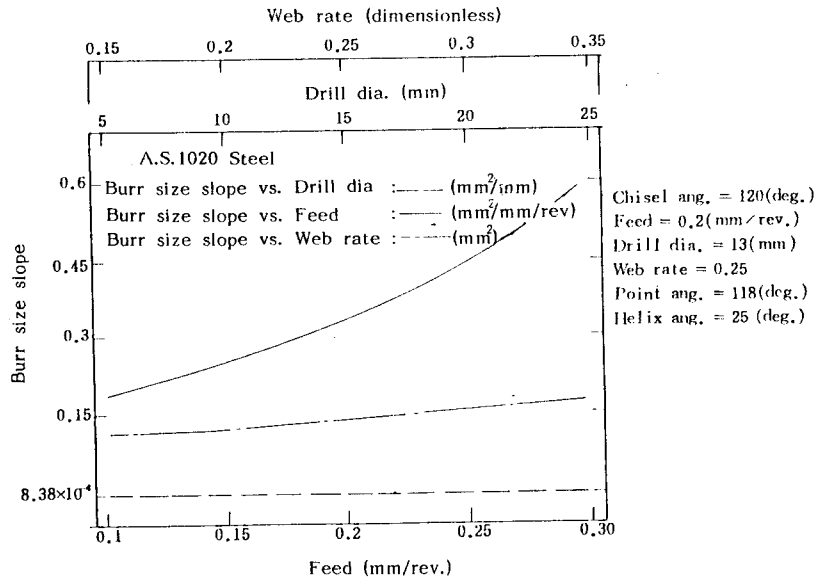


Fig. 6 Partial differential slope of burr size

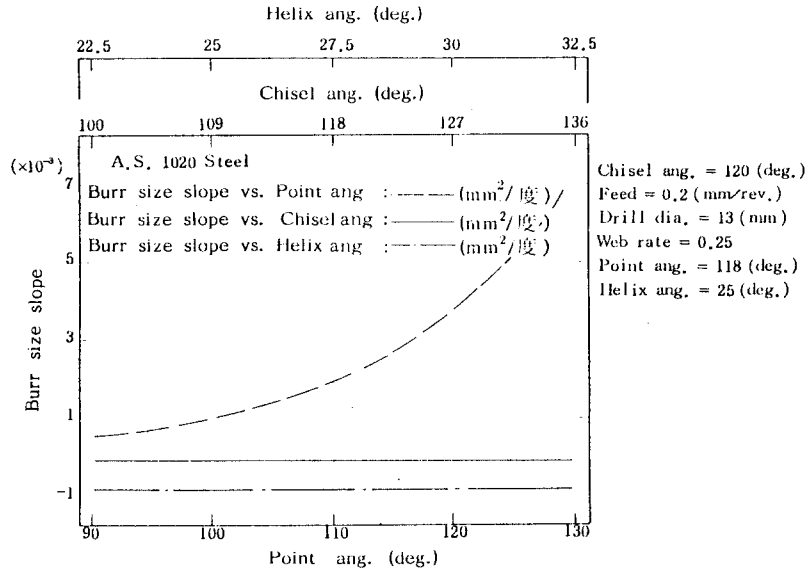


Fig. 7 Partial differential slope of burr size

그림으로부터 drill 工具研削媒介變數  $\phi$  는 burr 의 높이, 두께, 크기에 따라 1.5° 程度 差異가 있는 것을 알 수 있다. drill 工具研削媒

介變數  $a$  가 17.8 mm,  $c$  가 39.6 mm,  $d$  가 28.2 mm,  $\delta$  가 -1,  $\phi$  가 24° 일 때, chisel 刃角을 形成하기 위한 drill 工具研削媒介變數

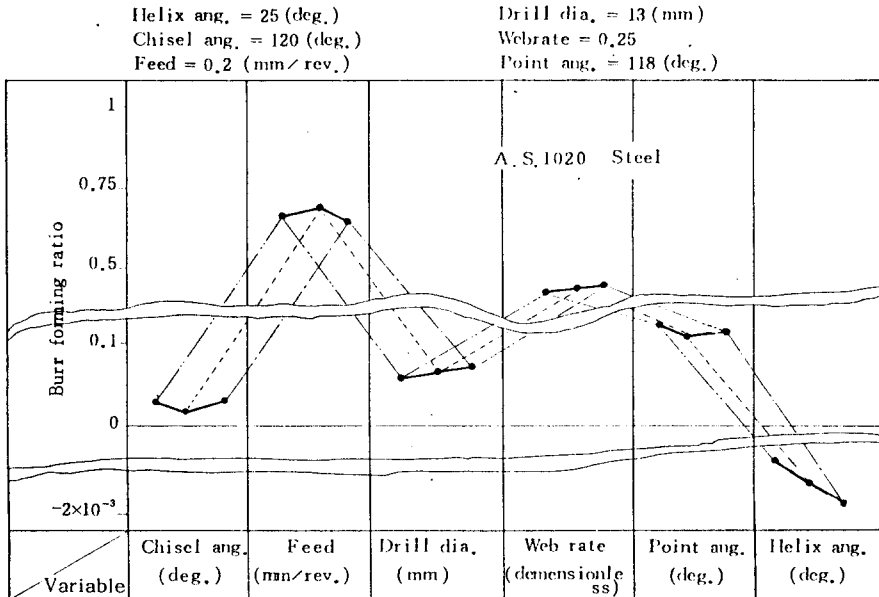


Fig. 8 Burr forming ratio on the standard drilling conditions

S는 burr의 높이, 두께, 크기에 따라一致된다.

標準drill加工條件일 때變數의常用範圍에서 thrust와 torque 및 burr의 크기에 대한 各各의 偏微分平均値를 thrust의 偏增加率, torque의 偏增加率, burr 크기의 偏增加率이라 한다.

標準drill加工條件에서 thrust의 偏增加率は drill徑, 移送量, 工具角, Web率, chisel刃角, 비틀림角 順으로 크고, 비틀림角의 增加에 따라서 thrust는 減少한다. thrust의 偏增加率は drill徑이 42%, 移送량이 25%, 工具角이 23%, web率과 chisel刃角 및 비틀림角이 10%程度 차지한다. 그리고 torque의 偏增加率は drill徑, 移送量, web率, chisel刃角, 工具角, 비틀림角 順으로 크고, chisel刃角, 工具角, 비틀림角의 增加에 따라 torque는 減少한다. torque의 偏增加 기울기는 drill徑이 55%, 移送량이 26%, web率이 9%, chisel刃角과 工具角 및 비틀림角이 10%程度 차지한다.

Fig.6, Fig.7은 burr의 크기를 各變數로 偏微分했을 때의 graph이다. burr의 크기의 偏增加率は 移送量, web率, 工具角, drill徑, chisel刃角, 비틀림角 順으로 크며, 비틀림角에서는 陰의 값이다. burr의 크기의 偏增加率は drill徑을 固定했을 때 移送량이 70%, web率이 29%程度 차지한다.

Fig.8은 標準drill加工條件에서 burr의 生成率을 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 移送량과 web率에 의한 burr의 크기의 生成率は 餘他變數에 의한 것보다 越等히 크고, 비틀림角의 경우에는 burr의 크기, 生成率이 陰의 값이 된다. burr 生成率이 陰의 값일 때 그 變數는 burr發生을 抑制한다.

### 3.1 實驗裝置와 drill 및 試驗材

Photo.1은 實驗裝置이다.

實驗에 使用한 drilling machine은 spindle速廣가 48~1500 r.p.m.이고 spindle移送량이 0.1~0.3 mm/rev.인 조광기계공업

사계 DA-950 R이고, 工具動力計는 測定範圍가 -1000~1000 N, N-cm인 kistler製 9271 A이다.



Photo 1. Experimental apparatus

Drill은 工具角이 118°, 비틀림角이 25°, chisel刃角이 120°로서 直徑이 6.0, 9.2, 13, 18 mm의 네 種類이고, web 두께가 0.45, 0.92, 1.625, 2.7 mm의 네 種類이다. 그리고 試驗片의 材質은 Brill硬度 145인 Korean standard SS50S鋼이다.

### 3-2. 實驗方法

Drilling machine의 bed 위에 工具動力計를 固定하고, charge amplifier와 data recorder를 連結하였다. 무게 10 kg, 20 kg의

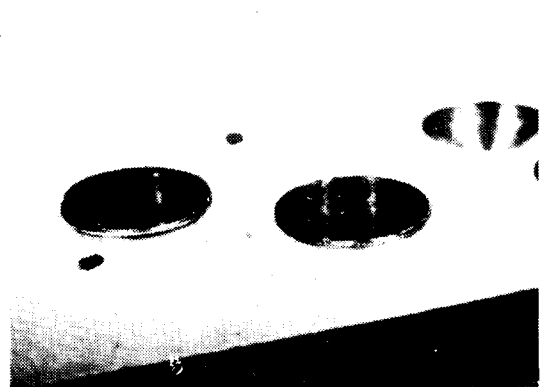


Photo 2. Drilling burr

錐로 thrust를 calibration하고, spring저울로 torque를 calibration했다. 다음 tool

dynamometer 위에 試片을 固定한 뒤 移送量을 0.1, 0.2, 0.3 mm/rev. drill 徑을 6.0, 9.2, 13, 18 mm, Web 率을 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35 로 바꾸어 drill 加工하면서 thrust 와 torque 를 memory recorder 와 multipen recorder 에 記錄하였다.

Photo. 2 는 試驗片의 後面에 形成된 drilling burr 를 나타내고 生成된 burr 의 높이와 두께를 工具顯微鏡으로 7 × 13 배 확대하여 測定하였다.

4. 實驗結果 및 考察

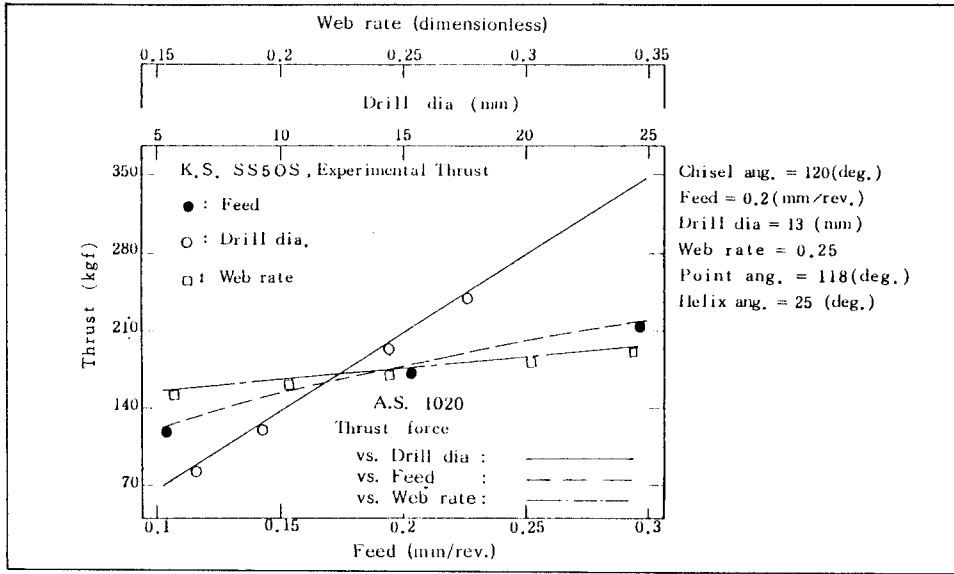


Fig. 9 Drilling thrust force

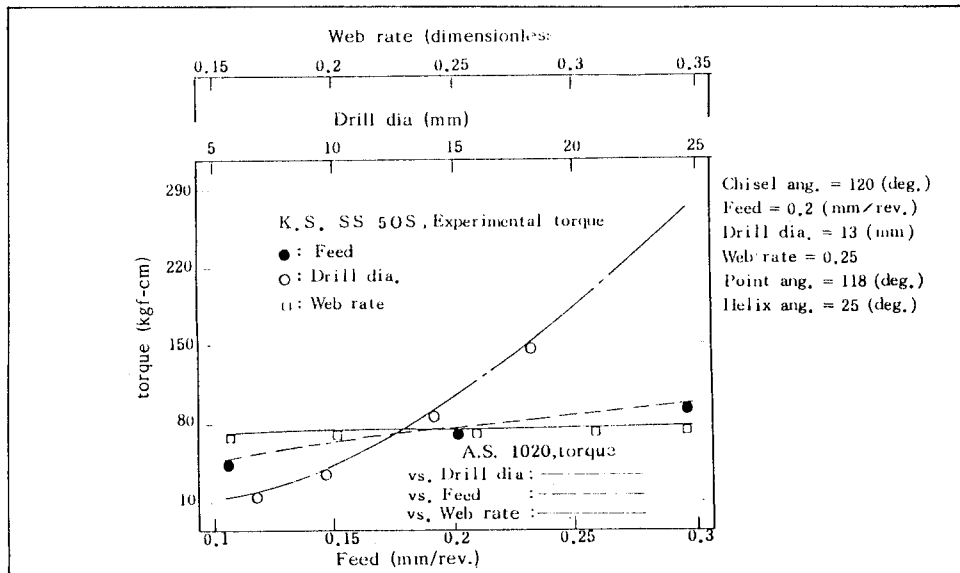


Fig. 10 Drilling torque



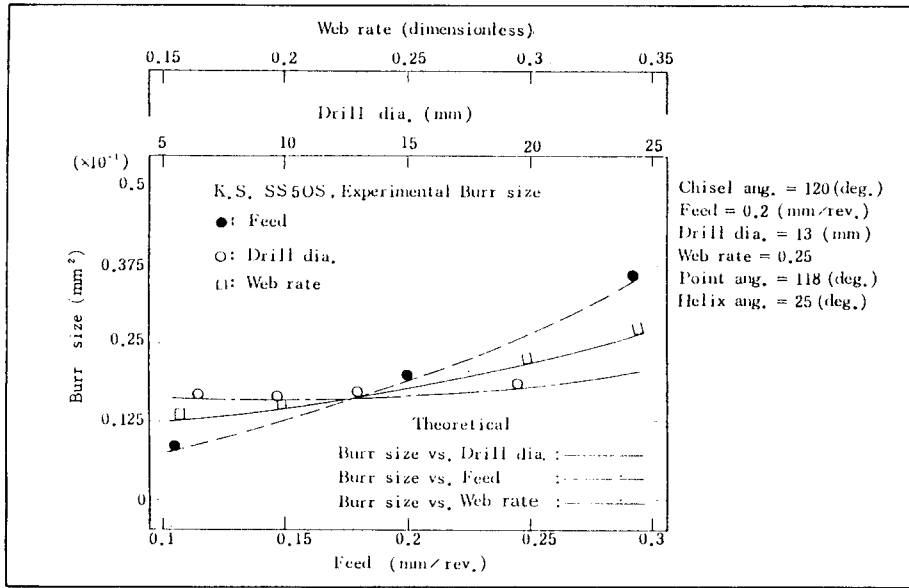


Fig. 11 Drilling burr size

Fig. 9와 Fig. 10에 Brinell 硬度 145인 Korean standard SS50S鋼을 標準 drill 加工條件으로 drill 加工했을 때 測定한 thrust와 torque를 Brinell 硬度 150인 American standard 1020鋼에 있어서 數值解析한 것과 比較하여 나타내었다. K. S. SS50S鋼에서 測定한 thrust와 torque는 A. S. 1020鋼보다 3%程度 적게 나왔다. 그러나 移送量과 drill 徑 및 Web 率에 對한 偏增加 기울기는 一致되었다.

移送量과 Web 率에 關한 偏增加 기울기는 완만하지만 drill 徑에 對한 偏增加 기울기는 移送率과 Web 率에 있어서 보다 월등히 急傾斜이다. drilling thrust의 偏增加 기울기는 常用範圍에서, drill 徑이 42%, 移送率이 25%, Web 率이 10%程度 차지했다.

뿐만 아니라 drilling thrust와 torque의 偏增加率은 A. S. 1020鋼에서나 K. S. SS50S鋼에서 共히 drill 徑, 移送量, web 率 順으로 나타났다. Fig. 11은 K. S. SS50S鋼을 標準 drill 加工條件으로 drill 加工했을 때 生成된 burr의 크기를 A. S. 1020鋼에 對하여 數值解析한 것과 比較하여 나타냈다. K. S.

SS50S鋼과 A. S. 1020鋼의 burr의 크기는 誤差 3% 以內에 있었다. 이와같은 誤差는 兩材質間의 근소한 Brinell 硬度差와 微少한 化學成分의 差異, 材質의 加工法, drilling machine 및 實驗者 等에 따른 變數에 의한 것으로 본다.

Fig. 11로 부터 burr 크기의 偏增加 기울기는 drill 徑이 固定되었을 때 移送量이 增加하여 0.25 mm/rev. 以上일 때 burr의 크기의 變化는 거의 移送量의 變化에만 依存한다.

그리고 drilling thrust와 torque의 移送量, drill 徑, web 率에 對한 偏增加 기울기는 drill 徑, 移送量, web 率 順으로 큰데 반하여 burr의 크기의 偏增加 기울기는 移送量, web 率, drill 徑 順으로 커서 서로 相異하다. 이것은 thrust의 大小가 그대로 burr의 크기의 大小를 決定지우는 것이 아님을 나타낸다. 실제 drill 加工에서 drill 加工구멍의 直徑이 定해져 있을 때 drilling thrust와 torque의 크기를 쉽게 調節하기 위해서는 移送量, web 率 順으로 選擇해야 한다.

5. 結 論

위의 數値解析과 實驗을 종합하면 다음과 같은 結論을 얻을 수 있다.

(1) Drilling thrust의 偏增加기울기는 常用範圍에서 drill 經이 42%, 移送量이 25%, 工具角이 23%, web 率 ( $= \frac{2 \times \text{web 厚度}}{\text{drill 經}}$ ) 과

chisel 刃角 및 비틀림角이 10%程度 차지한다.

(2) Drilling torque의 偏增加기울기는 drill 經이 55%, 移送量이 26%, web 率が 9%, chisel 刃角과 工具角 및 비틀림角이 10%程度 차지한다.

(3) Burr의 크기를 調節하기 위해서는 移送量, web 率, drill 經, 工具角, chisel 刃角, 비틀림角 順으로 調節해야 하고, drill 經이 固定되었을 때 移送量에 의해서 70%, web 率에 의해서 29% 以上 調節된다.

參 考 文 獻

1. S.A. Morse, "Improvement in Drill Bits", U.S. Patent Office, 1863.

2. L.K. Gillespie, "Advances in Deburring", International Standard Book Number 202-426, 1973, pp.84-110.

3. Anthony Sofronas, "The Formation and Control of Drilling Burrs", Bendix Research Laboratories Report BRL/TR-76-7925, November, 1975.

4. L.K. Gillespie, "The Measurement of Burrs", SME Technical Paper MR 74-993.

5. W.D. Tsai, S.M. Wu, "A Mathematical Model for Drill Point Design and Grinding", ASME, Vol.101, August, 1979.

6. S. Wiriyacosi, E.J.A. Armarego, "Thrust and Torque Prediction in Drilling from a Cutting Mechanics Approach", C.I.R.P., pp.87, 1979.

7. Namgung Seok, "A Study on the Dynamic Component of Cutting Resistance in Drilling(I)", Report of Ind. Educ. Research Center Vol.1.5, No.1, June, 1982.

8. M.C. Shaw, "On the Drilling of Metals, The Torque and Thrust in Drilling", Trans. ASME., Vol.77, pp.103. 1955.

9. S. Bera, "On the Determination of Torque and Thrust during Drilling of Ductile materials", Jadavpur University, Calcuta-32, India.

10. R. Levi, "The Effect of Several Parameters on Twist Drill Performance", Istituto di Tecnologia Meccanica, Politecnico di Torino. Proc. 8th MTDR, pp.863-877, 1967.