

旋削 加工面の 變形에 關한 切削모델에 對한 研究

車一男*, 金潤濟**

A Study on Cutting Model for the Plastic Deformation on Turning Operation

IL Nam Cha*, Yoon Jeh, Kim**

ABSTRACT

Plastically deformed layer beneath metal surface machined by orthogonal cutting was evaluated in terms of residual stress, microvickers hardness, side spread, and the side strain.

An attempt was made to predict the depth of layer according to machining conditions particularly tool geometry and the shear plane angle. In this paper, we employed two models concerning the sliplines. The exact model was validated by comparison of computed and measured tool force and its angle, and the model offers an upper boundary of the deformed layer to be in good agreement with the experiment.

- | | |
|---|---|
| ϵ : Angle of the main centered fan slipline field of the model | direction of cutting ° |
| δ : Angle of the secondary centered fan slipline field of the model | P : Hydrostatic stress kgf/mm^2 |
| H : Depth of the plastically deformed layer beneath the machined surface mm. | k : Yield stress in shear kgf/mm^2 |
| α : Cutting rake angle ° | S_1 : Slipline of the first family |
| ϕ : Shear plane angle ° (idealized) | S_2 : Slipline of the second family |
| K : Constant of the Archimedean spiral which serves to approximate the curved part of the first slipline of the model | ψ : Angle of rotation of the sliplines, Anticlockwise positive ° |
| θ : Argument of the above spiral ° | VHN : Vickers pyramid microhardness |
| T : The resultant cutting force kgf | L : Length of the raised surface ahead of the chip mm |
| R : Radius vector of the above spiral mm | t : Depth of cut mm |
| y : Inclination of the tool force to the | D : Thickness of specimen mm |
| | C : Length of arc mm |
| | A : Section area of specimen mm^2 |
| | n : Increasing number |

* 서울産業大學

** 仁荷大學校工科學科

1. 緒 論

機械 切削 加工後 金屬 表面에는 塑性 變形과 殘留應力이 생긴다는 事實은 이미 여러 研究에서 밝혀진 바 있으며,^{1,2)} “Grid 法에 依한 旋削 加工面의 變形에 關한 研究”³⁾에서 이미 그 實體를 究明한 바 있다. 그러나, 지금까지의 金屬 切削 原理와 模型 (Model)에서는 이의 生成 原理를 說明한 理論은 確立된 바 없다.

現在의 切削 理論은 切削 날 끝에 存在하는 剪斷面만을 主 研究 對象으로 하였으나,^{4,5)}(Fig. 1 參照) 어떤 경우에는 切削 날 끝 밑까지 領域을 擴大하여 說明한 것도 있다^{6,7)} (Fig. 2 參照)

切削 表面 밑에 생기는 塑性 變形에 대해서는 M.M. Barash 와 W. J. Schoech 가 提示한 模型⁸⁾이 있는 바, 이 模型에 대한 實質的 確認과 證明은 未洽한 狀態이다.

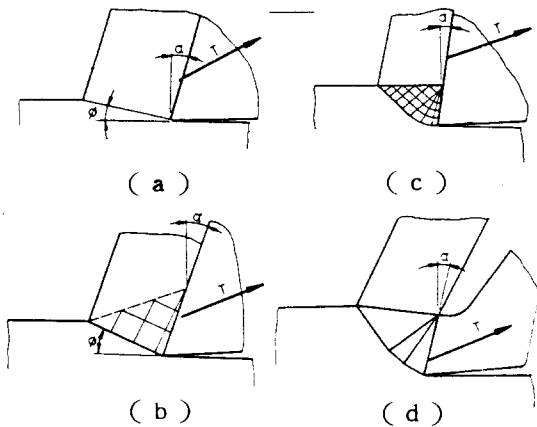


Fig. 1 Machining models ;(a) single shear plane (Merchant Zvorykin) (b) shear zone (Lee and Shaffer) (c) shear zone (Usli and Hoshi) (d) shear zone (Johnson)

本 研究에서는 이 模型을 再 評價하고, 實驗的으로 塑性 變形과 殘留 應力을 檢討하여, 이 模型의 適用 可能性을 確認하고 妥當性을 檢討하였다.

1.1 提示된 模型⁸⁾

지금까지의 研究에서는 變形이 切削 날 끝 밑에

擴張된 塑性 變形域에서 생기는 것으로 생각하였으며, 이를 實驗的으로 證明하였다. 主 剪斷域은 切削 날 끝에서 부터 作用하기 始作하며 塑性 域은 剪斷面에 作用하는 荷重을 支持하면서 이 支持하는 域의 앞에서 일어난다.

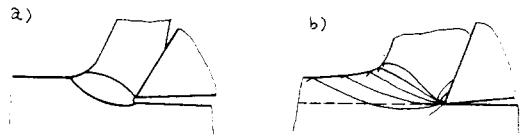


Fig. 2 Machining models with shear zone extending below machining surface (a) Oxley's Model (b) Zorrev's Model

一般的으로 切削 模型을 考慮하면 Fig.3 과 같으며 이 模型에서는 2개의 中心 부채꼴이 AFB와 CBD에 있고 直線上의 2變形域은 AGF와 CDE이다.

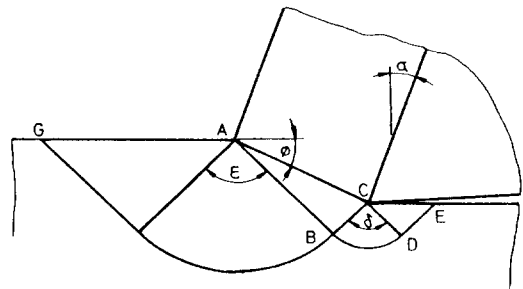


Fig. 3 Suggested model ; idealized

이러한 슬립역 (slipline field)은 角度 ϵ 과 δ 가 $\frac{\pi}{2}$ 라면 應力集中에 대하여 滿足한 狀態이다. 三角形 ABC는 實際 加工에서 가장 剪斷力에 影響을 많이 받고 變形이 심한 곳이다. 이와같은 슬립 域을 보다 單純化 시킨 것이 Fig. 4이다.

塑性 變形層의 깊이 H는

$$H = t (\operatorname{cosec} \phi - 1) \dots\dots\dots(1)$$

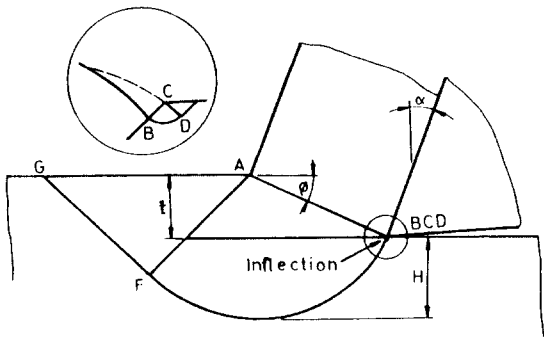


Fig. 4 Suggested simplified model

로 表現된다.

윗 Model 에서 부채꼴 中心의 슬립선(Slip-line)을 円形 arc 대신에 Spiral 形으로 變形시킨 것이 Fig. 5 이다.

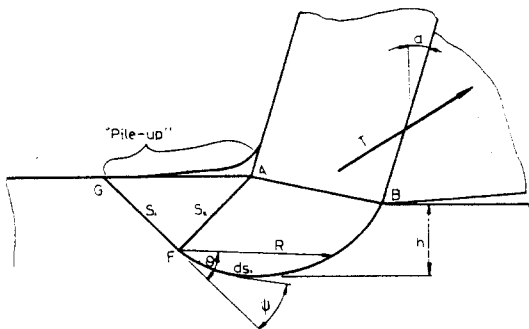


Fig. 5 Suggested modified model

이 Model 에서 FB 曲線의 正確한 形狀은 剪斷域에서 일어나는 모든 事項을 알지 못하고는 決定할 수 없으나, AB 슬립선을 실제 모양과 가깝도록 F 點에서 Archimedean spiral 曲線으로 假定하였다.

spiral 方程式은

$$R = K \theta \dots\dots\dots (2)$$

이고, 實驗에 依한 測定한 값과 H의 값이 같도록 하기 위하여 方程式中 K의 값은 變化 可能한 常數이다.

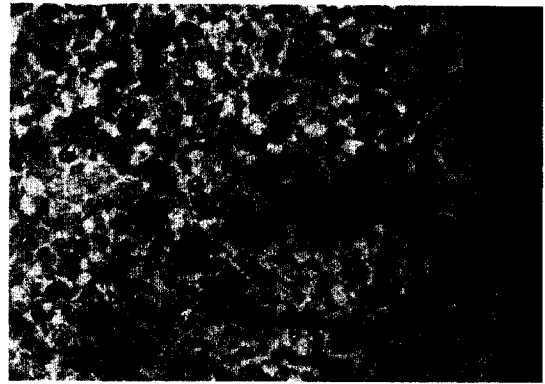
1.2 考 察

만약, 이 Model 이 事實과 一致한다면, GFB 슬립선에 作用하는 應力의 合은 切削力 T의 方向과 크기가 같아야 하며, 이와같은 2 應力을 結合한 方程式은

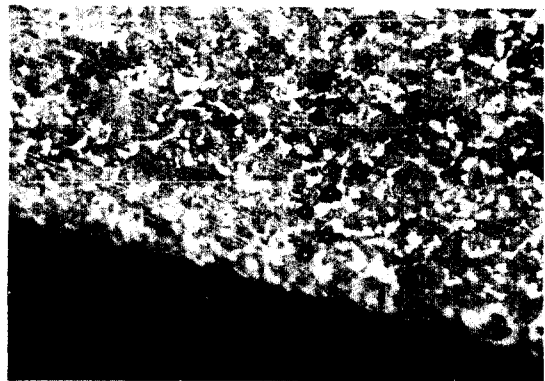
$$P - 2 \int k \frac{\partial \Psi}{\partial s_1} ds_1 + \int \frac{\partial k}{\partial s_2} ds_1 = C \quad (3)$$

이다.

윗 式에서 添字 1은 G點으로부터 移動한 GF B 슬립선 위에 있음을 나타낸 것이고, 添字 2는 FA중 하나인 슬립선의 2次列을 나타낸 것이다. 2次列에 依한 方向의 變化는 GFB線으로 부터 左側에 있다. 角度 Ψ 는 反 時針方向으로 “+”



(a)



(b)

Fig. 6 Micro vickers hardness indentation in cromemolybden steel (SCM4)

角이다. 常數 C 는 $P=k$ 이고, $C=k$ 인 G 點의 경우에는 既知의 負荷로써 點 P 의 값을 찾을 수 있다.

式 (3)의 數學的 積分은 슬립 線 GFB의 微分 分割로 區分하여 求할 수 있다.

한편, 試片의 micro vickers 硬度는 表面 境界面으로부터 $10\ \mu m$ 떨어진 곳으로부터 內側으로 $15\ \mu m$ 씩 移動하며 測定하였으며 (Fig.6 參照) k 의 값과 $\frac{\partial k}{\partial s_2}$ 의 값을 計算機를 利用하여 計算하였다.

2. 實驗 方法

機械 加工 表面 아래에 생기는 塑性 變形을 實驗的으로 研究하는 方法으로는 大략 3가지 方法을 使用한다. 즉, 測定 方法에 따라 分類하면,⁶⁾

- (a) 加工에 依하여 生成하는 殘留 應力을 가진 層의 깊이 7)8)9)
- (b) 表面 밑 部分에 생기는 硬化層의 마이크로 硬度 깊이 10)
- (c) 加工面 아래에서 일어나는 側面에서의 變形層의 깊이 11) 등을 測定하는 方法이 있다. 本 實驗에서는 위에서 說明한 方法을 모두 擇하여 試驗하였다.

試片은 Fig. 7 과 같이 $\phi 75\ mm$, 두께 $25\ mm$ 로 製作하여 面剖部 側面에 $0.025\ mm$ 間隔으로

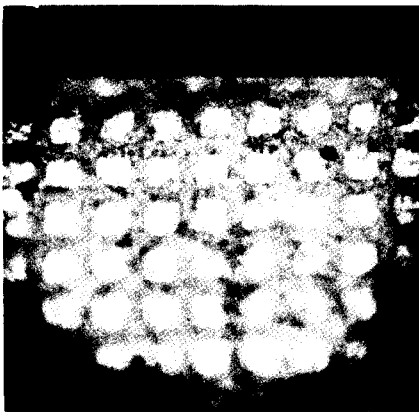


Fig. 7 Strain of specimen on the side grids

交叉하는 grid 를 燒付하였다. 試片의 材料는 SCM 4 種으로 Normalizing 을 實施하였으며, 試片을 旋盤 (Colchester, $7\ \frac{1}{2}$ "Swing, 5 HP)의 척에 불리고, 工具 動力計 (Tool Dynamometer)에 切斷 bite (KSB 43-3)를 裝着하여 乾式으로 切削하였다. 切削中 溫度 上昇의 影響을 적게 하기 위하여 比較的 낮은 切削 速度 ($43\ m/min$)로 하였다.⁷⁾ 切削速度를 固定하고 移送를 $0.254\ m/rev$, $0.22\ mm/rev$ 및 $0.125\ mm/rev$ 로 바꾸어 實驗하였다.

Micro vickers 硬度는 試片의 斷面에서 測定하였으며, 이 때 使用한 負荷는 $200\ g$ 를 使用하였다.

한편, 側面에서 變形率의 測定은 顯微鏡을 利用하여 約 60 倍로 擴大 撮影하고, 그 필름을 光學 投影機를 利用하여 10 倍로 擴大한 다음 μm 單位로 精密 測定하였다. 또한, 殘留 應力의 測定은 電解研磨機를 利用하여 円形 링형 試片의 表面 層의 微細한 層을 除去하면서 試片의 變形을 電氣 micro meter 로 測定하고 이를 殘留 應力으로 換算하여 殘留 應力의 크기와 應力을 갖는 層의 깊이를 調査하였다.

Fig. 7 은 變形된 試片의 側面 grid 의 變形을 나타낸 것이고, Fig.8은 試片을 切削한 때 切削 날끝部 가까이에서 일어나는 現象을 顯微鏡을 通하여 撮影한 것이다.



Fig. 8 The phenomena of cutting action on polished specimen

3. 實驗 結果 및 考察

3.1 側面 擴張(Side Spread) 現象

加工中 試片에 받는 壓縮力에 依한 影響을 받는 部位를 알기 위하여 試片의 加工表面으로부터 試片의 두께 變化를 調査하였다. 이를 測定하기 위하여 試片의 斷面을 注意하여 切斷後 光學 投影器의 Surface illumination을 利用하여 測定하였다. Fig.9는 側面 擴張 크기를 加工表面으로부터 깊이에 따른 變化量을 나타낸 것이다. 移送이 커질수록 表面으로부터 깊이가 낮은 部位에 많은 側面 擴張이 생기며 側面 擴張도 커짐을 알 수 있다.

그러나, 移送이 적어지면 加工 表面에 가까운 部位에서는 큰 變化가 없으나 어느 程度의 깊이에서 最大가 되고 깊이가 깊어짐에 따라 減少하는 傾向이 있다.

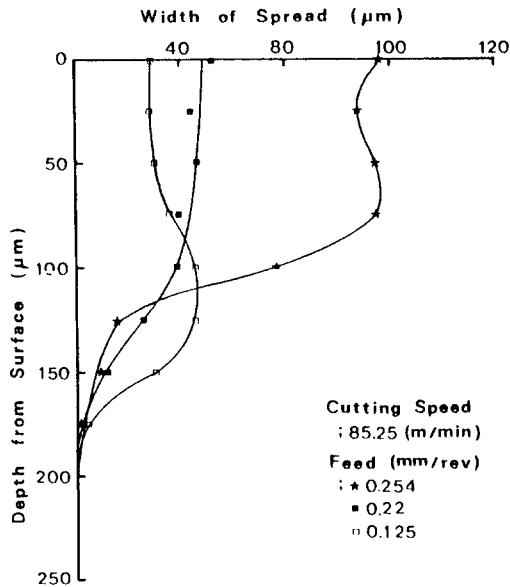


Fig. 9 Side spread plot

3.2 修正 모델에 依한 切削力 計算

3.2.1 칩비(chip ratio)와 剪斷角의 計算¹²⁾

칩비(r_c)란 切削 깊이(t_1)을 切削後 칩의 두께(t_2)로 나눈 값으로

$$r_c = \frac{t_1}{t_2} \dots\dots\dots(4)$$

로 나타낸다.

한편 剪斷角(ϕ)의 計算은 칩비(r_c)와 切削工具 Back Rake角(α)를 利用하여 求하며 다음 式으로 表現한다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{r_c \cos \alpha}{1 - r_c \sin \alpha} \dots\dots\dots(5)$$

本 實驗에서 工具의 Back rake角을 3°로 하였으므로 各 試片에 對한 칩비와 剪斷角을 求하면 Table 1과 같다.

Table. 1 Comparison of chip ratio(r_c) and Shear angle(ϕ)

No. of specimen	1	2	3
Depth of cut man	0.125	0.22	0.254
Thickness of chip	0.2038	0.351	0.387
Chip ratio (r_c)	0.6133	0.6274	0.6570
Angle of shear ϕ	32.32°	32.94°	34.19°

3.2.2 剪斷角에 따른 切削 모델 및 硬度 變化

1.2에서 提示된 切削 모델을 各 試片의 剪斷角에 따라 그리면 Fig. 10과 같으며, 各 部位의 硬度는 各 部位에 添記하였다. 그러나 硬度의 變化는 素地의 不均一性 때문에 Fig.10에 나타난 바와 같이 一律的인 變化가 일어나지 않았으나 몇 個所의 測定에 依하여 이들 測定값을 平均하여 나타내었다.

3.2.3 硬度層 깊이 計算값과 實測값과의 比較

硬化層의 깊이는 式(1)에 依하여 計算할 수 있으며, 그 깊이가 實測값과 一致하는 가를 알아보기 위하여 Table 2와 같이 比較 分析하였다.

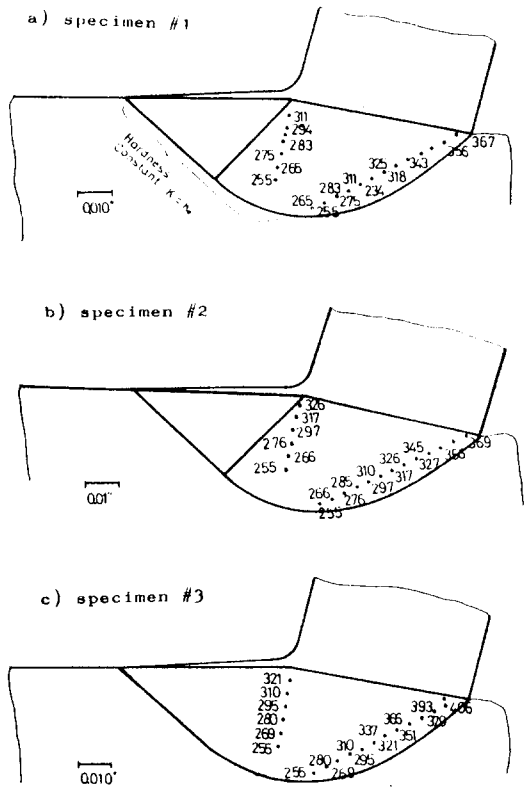


Fig. 10 Model of each specimen and vickers microhardness

Table 2. Comparison of hardening depth

No. of Specimen	Residual Stress		Micro hardness		Side Strain		Side Spread		Computed Value	Remarks
	depth (mm)	error (%)	depth (mm)	error (%)	depth (mm)	error (%)	depth (mm)	error (%)	depth (mm)	
1	0.827	4	0.120	18	0.1016	18	0.1067	14.6	0.125	
2	1.25	16	0.160	6.7	0.1778	6.7	0.175	8.2	0.1905	
3	1.496	1	0.198	0	0.200	0	0.193	3.2	0.200	
Mean error (%)		7		8.23		8.7				

table 2에서 各 測定方法에 依한 塑性 變形 깊이는 약간의 差는 있으나 平均 7~8%의 誤差 以內에서 一致하고 있으며, 實驗 測定 값이 모델에 依하여 計算된 값보다 적음을 나타내고 있다. 이는 測定 技術上 微細한 變形量 測定の 어려움 때문에 起因된 것으로 생각된다. 그러나,

殘留 應力의 存在깊이는 塑性 變形層 깊이의 約 6~7倍 더 깊이 存在한다. 따라서, 提示된 모델에 依한 加工 變形層의 깊이는 剪斷角 ϕ 를 알면 式(1)에 依하여 豫測할 수 있으나, 殘留 應力 存在層의 깊이 計算에는 使用할 수 없다.

3.2.4 切削力 豫測

Fig.5에서 提示된 모델에 依하여 各 區間을 微少 等分하고 k의 값이

$$k = 260 \times (\text{VHN}) \dots\dots\dots (6)$$

이라는⁸⁾ vickers 硬度和 靜水壓 (hydrostatic pressure)과의 關係式을 利用하여 다음과 같이 切削力을 豫測하였다.

- 1) Fig.5에서 區間G로부터 F까지 이 區間內의 슬립선(slipline) S_1 에 따라 k의 값은 一定하며 ψ 도 一定함으로 式(3)의 2 째項은 "0"이 되고, 슬립선 S_2 에 따른 k의 값은 變化하므로

$$P = k - \int \frac{\partial k}{\partial s_2} ds_1$$

이 된다. G點에서 $p = k$ 이므로 $C = k$ 가 된다.

$$\sigma_{xx} + \sigma_{yy} = 2 p \dots\dots\dots(7)$$

$$\sigma_{xx} = 2 p \cos^2 \theta \dots\dots\dots(8)$$

$$\sigma_{yy} = 2 p \cos^2(\theta + 90^\circ) = 2 p \sin^2 \theta \dots\dots(9)$$

따라서, 切削力은 應力에 斷面積을 곱한 것으로, xx 方向의 切削力은

$$\begin{aligned} F_x &= D \times C \times \cos \theta \times 2 p \cos^2 \theta \\ &= 2 E \cdot C \cdot P \cos^3 \theta \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

이고,

$$\begin{aligned} &yy \text{ 方向의 切削力은} \\ F_y &= 2 P \cdot D \cdot C \cdot \sin^3 \theta \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

로 計算된다.

2) 區間 F로부터 바닥까지 이 區間의 角度는 45°이며, 이를 15等分하여 各 3°씩 微少 分割하여 計算하였다. 즉, 式(3)에서 k의 값은 S₁流線上에서는 一定하나 S₂流線上에서는 變化한다.

따라서, 式 (3)은

$$P = C + 2 \times k \times \int d\psi - \int \frac{\partial k}{\partial S_2} dS_1 \dots (12)$$

이 되고, X_x 方向의 應力과 Y_y 方向의 應力은 各

$$\sigma_{xxn} = 2P \times \cos(\psi + 3^\circ \times n)^2 \dots (13)$$

$$\sigma_{yy n} = 2P \times \sin(\psi + 3^\circ \times n)^2 \dots (14)$$

따라서, 切削力은

$$F_x = \sigma_{xx} n \times A_x n \dots (18)$$

$$F_y = \sigma_{yy} n \times A_y n \dots (19)$$

로 求할 수 있다.

3) Fig.5에서 바닥으로부터 區間B까지

이 區間에서도 式 (13)을 利用하여, P 값을 求하고, ψ 값이 45°增加하며, 方向性을 考慮하여 90°를 더하여 計算한다. 한편 殘餘ψ는 3等分하여 各各의 切削力을 求한다. 즉

$$\sigma_{xxn} = 2P \times 2 \cos[\psi + 135^\circ + (\frac{45 + \psi}{13}) n]^2$$

$$\sigma_{yy n} = 2P \times 2 \sin[\psi + 135^\circ + (\frac{45 + \psi}{13}) n]^2$$

X_x 方向의 斷面積과 Y_y 方向의 斷面積을 各各 A_{xn} 및 A_{yn} 이라하면 切削力은

$$F_x = \sigma_{xxn} \times A_{xn}$$

$$F_y = \sigma_{yy n} \times A_{yn}$$

으로 計算된다.

以上の 各 區間에 對한 切削力의 豫測은 Computer (Tri-Gem AP-200)을 使用하여 計算하였으며, 使用한 program은 附錄 A와 같다.

Table 3은 本 研究에서 提示된 Model에 依하여 計算한 切削力과 切削力이 工具 移動 方向과 이루는 傾斜角(ψ°) 및 工具 進行 方向에 생

기는 pile up의 距離를 實驗 結果와 比較한 것이다.

Table 3에서 볼 수 있는 바와 같이 實驗 結果와 Model에 依한 計算값이 어느 程度 一致하고 있음은 提示된 Model의 正當性이 認定된다고 생각된다.

Table 3. Comparison of Results

No. of Specimen	Experimental Date					Computed Data			Remarks	
	T (Kgf)		ψ°		L (mm)		T (Kgf)	ψ°		L (mm)
	Measured	error (%)	Measured	error (%)	Measured	error (%)				
1	46.88	18	23.12	2.1	0.76	3.99	57.42	23.63	0.7916	
2	59.32	1.7	24.3	0.5	0.68	2.8	60.38	24.18	0.6998	
3	65	2.0	26	17	0.878	8.06	63.69	22.17	0.8125	
Mean error %		7.23		6.53		4.95				

4. 結 論

以上の 切削 모델에 依하여 切削後 加工 表面으로부터 硬度 變化와 grid法에 依한 表面으로부터의 變形, 殘留 應力 測定, 加工側面 擴張等の 實驗을 通하여 檢討한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 提示된 Archimedean Spiral 슬립線 切削 모델에 依하여 求한 機械 加工 表面으로부터의 變形層의 깊이와 實驗에 依한 硬度變化・變形・側面 擴張에서 나타난 變形層의 깊이는 平均 誤差 8%로 精度가 좋았다.

2. 加工에 依하여 생기는 殘留 應力 生成層의 깊이는 塑性 變形域의 깊이 보다 훨씬 깊음을 알았다.

3. 加工 表面層으로부터의 깊이에 따른 硬度 變化값을 알면, 硬度和 靜水壓과의 關係를 利用하여 求한 切削力의 理論값과 實驗값은 大體로 一致하였다.

以上の 綜合하여 보면, 實驗에서 알 수 있는 切削 깊이(t)와 剪斷角(φ)만으로 旋削 加工 表面으로부터의 變形層의 깊이를 容易하게 求할 수 있다.

[참 고 문 헌]

1. E.Usui, and R. hoshi, Slip-line fields in metal machining which involve centered fans. International Research in Production Engineering Pub by ASME, Newyork(1963) P.61-71
2. J.A.Bailey, S.E.Becker. On microchip formation during machining of a high strength steel. Journal of Engineering materials and Technology, July, 1974 p 163 ~167.
3. Il Nam Cha, Yoon Jeh Kim, Grid法에 의한 旋削 加工面에 變形에 관한 研究 韓國精密工學會誌 3卷4號 1986. P 43~52.
4. M.C.Shaw, Historic aspects concerning removal operations on metals paper presented at the second Intl International Conference on Materials at Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, Pennsylvania(Mar. 17. 1966)
5. W. Johnson, Some slip-line fields for swaging or expanding indenting, extruding and machining for tools with curved dies intern.J. Mech. Sc. 4 323 (1962).
6. P.L.B. Oxley. Mechanics of metal cutting International Research in production Engineering. Pub. by ASME, Newyork (1963) p. 50
7. N.N.Zorev, Metal Cutting Mechanics, Pergamon press, 1966. p. 6
8. M.M. Barash and W.J. Schoech A Semi-analytical model of the residual stress zone in orthogonal machining M.T.D.R 1970. p.603~613.
9. W. Graham and C. Rubenstein, "An investigation into the degree and depth of work-hardening produced at the surface of a workpiece by turning, 1966 M.T.D. R. p 463-478.
10. Albert Decneut and Jacques Peters. ; Continous Measurement of residual stress in thin cylindrical pieces using deflection-etching techniques. proc. SME. Int. Conf. on Surface Technology. may. 19. p. 262~281.
11. J.Loxham and J. Purcell, Measurement

and control of the residual stress produced by grinding operation the institution of mechanical engineers proceeding 1967~1968. vol. 182. Park 3 K. p.205 ~210.

12. 横山武人, 橋本文雄; 旋削加工に おける 殘留應力 精密機械 XXVI 10. p 590~595.
13. J.F Kahles, M. field; Surface integrity -A new requirement for surfaces generated by material-removal methods proc. Istrn. Mech, Engr. 1967~1968. vol. 182. pt 3 K p 310~345.
14. Douglas, R. A. Akkog, C. and Pugh, C. C.; strain field investigations with plane diffraction gratings, Experimental mechanics 1965, Vol. 5 No.7 p 233.
15. 安龍善; 機械 材料의 切削性에 관한 研究(切削 깊이의 影響 1983. 2, 工學碩士學位論文 仁荷大學院

附 錄 A Computer program

시 편 # 1

POKE 1657, 132

LIST

```

5 DIM Z (25)
10 A=28.6/57.296
20 B=.0156911579 * (SIN(A)/COS(A)
* 0.1
30 P=2 * 'COS(A) ^ 2 * (255 * 260 -
60 / 0156911579 * 10 * B * 260)
40 Q=2 * SIN(A) ^ 2 * (255 * 260 -
60 / .0156911579 * 10 * B * 260)
50 R=P * B * COS(A)
60 S=Q * B * SIN(A)
65 B1=.0156911579 * (3 / 57.296)
66 B1 = B1 * 0.1
67 A1 = 0
68 X2 = R
69 Y2 = S
70 FORI = 1 TO 15
    
```



```

80  A1 = A1 + 3
90  O1 = 2 * 260 * 255 * (3 / 57,296)
    + 260 * 255
95  O1 = O1 - 60 * 260 * (3 / 57,296)
100 P1 = 2 * O1 * COS ((28.6 + A1)
    / 57,296) ^ 2
110 Q1 = 2 * O1 * SIN ((28.6 + A1) /
    57,296) ^ 2
120 R1 = P1 * B1 * COS ((28.6 + A1)
    / 57,296 )
130 S1 = Q1 * B1 * SIN((28.6 + A1)
    / 57,296 )
131 X2 = X2 + R1
132 Y2 = Y2 + S1
140 NEXT 1
160 FOR I = 1 TO 13
170 READ Z (1)
180 NEXT 1
185 B2=.0156911579 * (73.6 / 13) /
    57.096 * 0.1
190 A2 = 0
200 FOR 1 = 1 TO 13
210 A2=A2 + (73.6 / 13 °)
220 O2=2 * Z(1) * 260 * (73.6 / (13*57.
    296)) + 260 * 255
225 O2=O2 - 60 * 260 * 73.6 / (13 *
    57,296)
230 P2=2 * O2 + COS ((163.6 + A2) /
    57,296) ^ 2
240 Q2 = 2 * O2 * COS ((163.6 + A2) /
    57,296) ^ 2
250 R2 = P2 * B2 * COS ((163.6 + A2)
    / 57,296)
260 S2 = Q2 * B2 * SIN ((163.6 + A2)
    / 57,296)
261 X2 = X2 + R2
262 Y2 = Y2 + S2
270 NEXT I
280 PRINT "SUM(X)", "SUM(Y)"
285 X2 = X2 * 0.453 : Y2 = Y2 * 0.453
290 PRINT X2, Y2

```

```

300 DATA 255, 265, 275, 283, 294,311
    318,325,334,343,355,367,376
310 END

RUN
SUM (X)          SUM (Y)
-48.8278843     21.3582741

시 편 # 2

POKE 1657, 132
LIST
5  DIM Z (25)
10  A=27,687 / 57,296
20  B=01759890 * ( SIN(A) / COS(A) *
    0.1
30  P=2 * COS(A) × 2 * (255 * 260 -
    60 / .01759890 * 10 B * 260 )
40  Q=2 * SIN (A) × 2 * (255 * 260 - 60
    / 01759890 * 10 * B * 260)
50  R=P * B * COS (A)
60  S=Q * B * SIN(A)
65  B1 = .01759890 * ( 3 / 57.296)
66  B1=B1 * 0.1
67  A1=O
68  X2=R
69  Y2=S
70  FOR 1 = 1 TO 15
80  A1 = A1 + 3
90  O1 = 2 * 255 * 260 * (3 / 57.296) +
    255 * 260
95  O1 = O1 - 60 * 260 * (3 / 57.296)
100 P1 = 2 * O1 * COS ((27.7 + A1) /
    57,296) ^ 2
110 Q1 = 2 * O1 * SIN ((27.7 + A1) /
    57,296) ^ 2
120 R1 = P1 * B1 * COS ((27.7 + A1)
    / 57,296 )
130 S1 = Q1 * B1 * SIN((27.7 + A1)
    / 57,296)
131 X2 = X2 + R1

```

□ 論 文

```

132 Y2 = Y2 + S1
140 NEXT I
160 FOR I = 1 TO 13
170 READ Z (I)
180 NEXT I
185 B2 = .01759890 * (72.687 / 13) /
    57.296 * 0.1
190 A2 = 0
200 FOR I = 1 TO 13
210 A2 = A2 + (72.687 / 13)
220 O2 = 2 * Z(I) * 260 * (72.687 / (13 *
    57.296)) + 255 * 260
225 O2 = O2 - 60 * 260 * 73.3 / (13 *
    57.296)
230 P2 = 2 * O2 * COS((162.687 + A2) /
    57.296) ^ 2
240 Q2 = 2 * O2 * SIN((162.687 + A2) /
    57.296) ^ 2
250 R2 = P2 * B2 * COS((162.687 + A2)
    / 57.296)
260 S2 = Q2 * B2 * SIN((162.687 + A2)
    / 57.296)
261 X2 = X2 + R2
262 Y2 = Y2 + S2
270 NEXT I
280 PRINT "SUM(X)", "SUM(Y)"
285 X2 = X2 * 0.453 : Y2 = Y2 * 0.453
290 PRINT X2, Y2
300 DATA 255,266,276,285,297,310,
    317,326,337,343,356,359,376
310 END

RUN
SUM(X)          SUM(Y)
-55.0909045     24.7341999

시 편 #3

DATA
POKE 1657,132
LIST
5 DIM Z(25)
10 A=28.3 / 57.296
20 B=.01816600163 * (SIN(A) / COS(A))
    * 0.1
30 P=2 * COS(A) ^ 2 * (255 * 260 -
    B2 / .01816600163 * 10 * B * 260)
40 Q=2 * SIN(A) ^ 2 * (255 * 260 -
    B2) / .01816600163 * 10 * B * 260)
50 R=P * B * COS(A)
60 S=Q * B * SIN(A)
65 B1=.01816600163 * (3 / 57.296)
66 B1=B1 * 0.1
67 A1=0
68 X2=R
69 Y2=S
70 FOR I=1 TO 15
80 A1=A1 + 3
90 O1=2 * 260 * 255 * (3 / 57.296)
    + 260 * 255
95 O1=O1 - B2 * 269 / .01816600163 *
    .01816600163 * (3 / 57.296)
100 P1=2 * O1 * COS((28.3 + A1) /
    57.296) ^ 2
110 Q1=2 * O1 * SIN((28.3 + A1) /
    57.296) ^ 2
120 R1=P1 * B1 * COS((28.3 + A1)
    / 57.296)
130 S1=Q1 * B1 * SIN((28.3 + A1)
    / 57.296)
131 X2=X2 + R1
132 Y2=Y2 + S1
140 NEXT I
160 FOR I=1 TO 13
170 READ Z (I)
180 NEXT I
185 B2=.01816600163 * (73.3 / 13) /
    57.296 * 0.1
190 A2 = 0
200 FOR I=1 TO 13
210 A2 = A2 + (73.3 / 13)
220 O2 = 2 * Z(I) * 260 * (73.3 / (13

```

```

    * 57.296)) + 260 * 255
225  O2 = O2 - B2 * 260 * 73.3 / (13 *
    57.296)
230  P2 = 2 * O2 * COS((163.3 + A2) /
    57.296) ^ 2
240  Q2 = 2 * O2 * SIN((163.3 + A2) /
    57.296) ^ 2
250  R2 = P2 * B2 * COS((163.3 + A2)
    / 57.296)
260  S2 = Q2 * B2 * SIN((163.3 + A2)
    / 57.296)
261  X2 = X2 - R2
262  Y2 = Y2 + S2

```

```

270  NEXT I
280  PRINT "SUM(X)", "SUM(Y)"
285  X2 = X2 * 0.453 ; Y2 = Y2 * 0.453
290  PRINT X2, Y2
300  DATA 255,269,280,295,310,324,337
    351,366,379,393,406,420
310  END

```

```

RUN
SUM(X)      SUM(Y)
-58.9780819  24.0528245

```

CAT-