

<論 文>

極性有機物質이 切削機構에 미치는 影響†

徐南燮* · 梁均誌*

(1985年 10月 28日 接受)

Effect of Polar Organic Substance on Cutting Mechanism

Nam-Seob Seo and Gyun-Eui Yang

Key Words: Polar Organic Substance(極性有機物質), Orthogonal Cutting(2차원切削), Rebinder Effect(Rebinder 效果), Cutting Mechanism(切削機構), Shear Strain(剪斷變形率)

Abstract

Cutting oil cools the chip and a tool as well as lubricates the chip-tool interface, the flank and machined surface. Rebinder effect has been known as a phenomenon, the reduction of mechanical strength, when the metal is exposed to a polar organic environment or the surface of metal is coated with some polar organic substances.

About the cause of Rebinder effect there have been many different ideas by Rebinder, Shaw, Barlow, Sakida and etc. In this report, the effect of polar organic substance ($C_6H_5CH_3 + C_6H_4(CH_3)_2 + C_4H_9OH + C_6H_{12}O_2$) (magic ink) upon the mechanism of chip formation on the orthogonal cutting of copper and mechanical properties of the work material are experimentally discussed with various rake angles. As expected no lubrication action could be noticed, but the shear angle increased and the cutting force and shear strain on the shear plane decreased, therefore the work material must be embrittled under polar organic substance.

1. 序 論

切削油劑의 作用에는 切削工具와 칩의 冷却效果, 工具 傾斜面과 餘裕面의 潤滑效果 등이 있다.

또한 加工物 表面에 表面活性添加劑나 極性有機物質

이 함유한 切削油劑를 吸着시키고 그 表面을 精密하게 切削하면 加工物 表面이 改善되는 것을 흔히 볼 수 있다. 이와같은 사실은 金屬切削機構가 加工物表面의 機械的 化學的 性質에 의존되고 있음을 의미한다.

한편 金屬이 極性有機物質에 접하게 되거나 塗布되었을때 기계적 強度가 低下되는 현상을 Rebinder 效果⁽¹⁾라고 하며 이것은 切削作用과 關聯된 分野에서 應用되어 왔다. 또한, M.C. Show⁽²⁾, P.L. Barlow⁽³⁾, Sakakida^(4~5) 등은 生成되는 칩의 自由表面위에 切削油

† 大韓機械學會 '85年度 生産工學 및 産業機械部門學術講演會(10.5)에서 發表

* 正會員, 全北大學校 工科大學 機械工學科

劑를 塗布하고 Rehbiner 効果에 有關한 切削實驗을 실시하여 切削力의 低下를 인정하였으나 아직까지 切削 抵抗의 減少原因이 되는 切削機構에 대해서는 定립되 지 않은 實情이다.

本 論文에서는 塗布하기가 용이한 極性有機物質인 magic ink ($C_6H_5CH_3 + C_6H_4(CH_3)_2 + C_4H_9OH + C_6H_{12}O_2$) 를 Rehbiner 效果가 큰 銅에 塗布하고, 工具傾斜角을 變化시켜 每 切削깊이마다 反復 2次元切削을 實施하여 切削機構, 切削抵抗의 變化, 剪斷面의 剪斷變形率, 剪斷에너지 및 摩擦에너지 등의 變化를 相互關聯시켜 분석하므로써 切削性의 向上原因을 淸明코져 한다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1 實驗裝置

Fig. 1 에 보인바와 같이 本 實驗에 使用된 實驗器機 는 밀링머시인, 工具動力計(Kistler Instrumente type : 9, 257A), charge amplifier(Kistler Instrumente type : 5, 001), multi-pen recorder(Ricadenki : R-100), 單刃 直線 切削工具, 電氣마이크로미터, 工具顯微鏡(Nikon) 等이고 工作物(workpiece)과 工具動力計(tool dynamometer)用 바이스의 形狀과 치수는 Fig. 2 및 Fig. 3 과 같고, 2次元切削에 있어서 切削條件은 Table 1 과 같다.

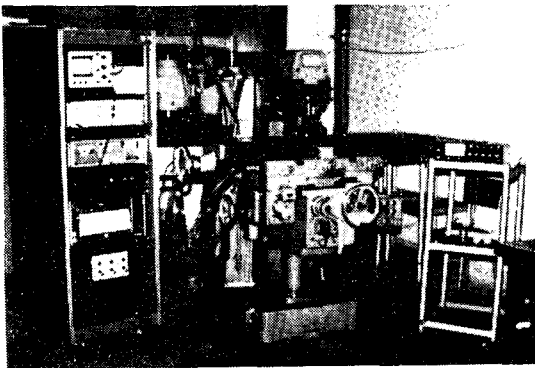


Fig. 1 Experimental apparatus

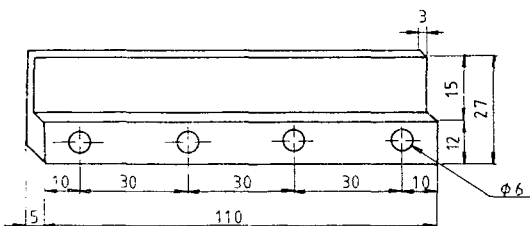


Fig. 2 Workpiece

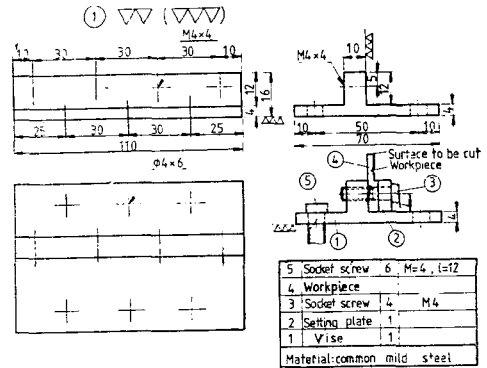


Fig. 3 Vise for tool dynamometer

Table 1 Orthogonal cutting condition

Work material	Copper, width : 3mm
Tool	Single straight edge SKH9 Rake angle : $-10^\circ, 10^\circ, 30^\circ$ Clearance angle : 5deg Radius of edge : less than $2\mu m$
Cutting speed	0.342m/min
Depth of cut	0.010~0.100mm
Coating material	Magic ink ($C_6H_5 CH_3 + C_6H_4 (CH_3)_2 + C_4H_9OH + C_6H_{12}O_2$)

2.2 實驗方法

Fig. 4 에 보인바와 같이 밀링머시인의 arbor yoke 에 單刃直線 切削工具를 附着하고 테이블 위에 工具動力計를 設置한 다음 Fig. 3 의 小形바이스를 動力計 위에 固定하고 工作物을 바이스에 固定시켜 2次元切削을 行하였다.

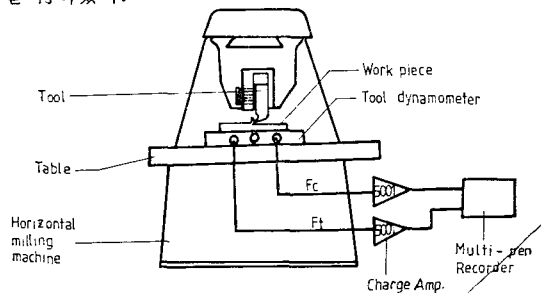


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

切削速度는 베드의 移送에 의해서 주어지고 切削力은 工具動力計, charge amplifier를 거쳐 multi-pen recorder에 기록되었다. 切削깊이는 0.2 μm 精度를 지

년 電氣 마이크로미터를 使用하여 調整하였고 칩의 두께는 工具顯微鏡에 의해 측정하였다. 材料에 따라서는 切削現象에 前加工의 履歷이 明瞭하게 나타난다. 즉 前加工에서 切削抵抗이 크고 粗雜한 表面이 나타나면 다음 番의 切削에 있어서는 同一切削條件에서 前者보다 切削抵抗이 적고 良好한 表面이 얻어지며 이런 現象이 交番으로 일어난다. 이 現象은 銅切削에 있어서 더욱 현저하다. 切削抵抗이 큰 상태에서 加工을 하면 그 影響이 다음 切削에서 계속 나타나게 되므로 이를 除去하기 위하여 切削깊이를 0.05, 0.04, 0.03, 0.02, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01mm 順으로 減少시키면서 前加工하였다. 切削油劑를 塗布하여 Rehbinder 效果에 의한 舉動을 觀察하고 다음 實驗을 위하여 前加工을 하므로써 前 Rehbinder 效果를 除去한다. 前加工의 切削油로는 石油을 使用하였고 最終적으로 acetone으로 洗滌하여 0.01mm의 乾式切削에 依하여 前加工을 完了하였다.

3. 實驗結果 및 考察

Fig. 5는 工具傾斜角 20°에서 切削깊이에 따른 反復 切削을 實施하였을 때 Chip분포상태를 보이고 있다. Fig. 5에서 보는 바와같이 각 切削깊이에서 긴 칩과 짧은 칩이 交番으로 생성되었으며, 그와같은 傾向은 精密加工에서 더욱 현저하다. 즉 이것은 加工硬化로 因하여 微細切削일수록 加工硬化層의 깊이가 切削깊이에 比하여 相對적으로 크게 되기 때문이다. 또한 塗布하여 切削했을 때는 전 영역에 걸쳐 긴 칩이 生成됨을 알 수 있으며 이는 極性有機物質의 影響을 받고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 工具傾斜角 20°에서 切削깊이 0.04mm로 하여 加工物길이의 中間部分의 前加工面에 極性有機物質을 塗布切削했을 때 切削油劑가 칩 두께에 어떠한 影響을 미치는 가를 알아보기 위한 剪斷面의 현미경 사진이다. Fig. 6에서와 같이 塗布部는 칩 두께가 현저히 減少하여 乾式切削部와 區別된다. 乾式切削部로부터 塗布部로의 칩 두께의 遷移는 급격히 이루어지는 것을 알 수 있으며 이것은 乾式切削에 있어서 剪斷角을 작게 하고 있던 拘束이 塗布部에서 減少하거나 除去되기 때문이다.

Fig. 7(a), (b)는 傾斜角 10°, 30°에서 切削回數와 切削比의 關係를 보이고 있다. 每 切削깊이마다 切削回數에 따라서 切削比의 大小變化가 交番으로 나타났으며 5회째에 極性有機物質을 塗布하고 切削했을 때 切削比는 交番順이 바뀌면서 현저히 增加하고 있는 것을

볼 수 있다. 이는 極性有機物質을 塗布하여 切削했을 때 칩의 두께가 감소되므로 切削比가 增加하기 때문이다.

銅을 反復切削할 때 每 切削깊이마다 切削抵抗의 增減狀態가 交番으로 나타나고 있다. Fig. 8(a), (b), (c)는 各各 工具의 傾斜角이 -10°, 10°, 30°에서 切削回數에 따른 切削抵抗의 變化를 보이고 있다. 여기에서 5회째의 切削抵抗은 工作物의 中間部分의 前加工面에 極性有機物質로 塗布하여 切削했을 때이며 이곳에서 切削抵抗의 交番順이 바뀔 정도로 切削抵抗이 急減하였다. 이는 前述한 바와 같이 塗布하여 切削했을 때 칩 두께 감소, 切削比 증가로 因하여 切削抵抗이 감소하는 것은 당연하다고 생각된다. 工具傾斜角이 증대할수록 回數순에 따른 切削抵抗의 大小變化가 크게 나타나고 있다.

칩의 形狀과 切削抵抗의 變化는 剪斷角 즉 칩의 剪斷變形에 左右된다고 알려져 있다⁽⁸⁾.

Fig. 9(a), (b)는 銅을 傾斜角이 10°, 30°인 공구로 절삭하였을 때 切削回數에 따른 剪斷角의 變化를 보이고 있다. 各 切削깊이마다 切削回數에 따라서 剪斷面 위에서 剪斷角의 大小變化가 交番으로 나타나고 5회째 極性有機物質을 塗布한 部分의 剪斷角은 크게 나타나 있음을 볼 수 있으며, 이것은 단순 進단면 모델에 의해서 前述한 칩 두께 및 切削比와 切削抵抗의 變化를 關聯시킬 때 일치함을 알 수 있다. 즉 油劑를 塗布하여 切削하면 칩이 길게 나타나고 칩이 짧 때에는 剪斷角은 칩의 두께와 단순 進단면 모델에 의해서 크게 계산된다.

Fig. 10(a), (b), (c)는 傾斜角이 -10°, 10°, 30°에서 의 切削깊이에 따른 칩과 工具傾斜面間의 摩擦角의 關係이며 極性有機物質의 塗布에 따라 어떤 一率의인 變化를 볼 수 없다. 즉 切削油劑의 潤滑作用이 없음을 의미한다. 傾斜角이 增加할수록 摩擦角은 增加하는 것을 알 수 있다.

Fig. 11(a), (b)는 傾斜角 10°, 30°에서 切削깊이에 따른 剪斷面에서의 剪斷變形率을 보여준다. 各 切削깊이에서 數回反復切削하여 긴 칩과 짧은 칩이 交番으로 나타나며, 特別히 微細切削일 때 剪斷變形率의 大小變化가 현저하다. 그리고 極性有機物質을 塗布한 部分의 全 절삭깊이의 領域에 걸쳐 긴 칩이 生成되어 剪斷變形率이 현저히 減少된 것을 볼 수 있다. 한편 Fig. 11(a)와 (b)를 비교할 때 傾斜角이 클수록 剪斷變形率이 減少됨을 알 수 있다. 따라서 前述한 바와 같이 極性有機物質의 塗布에 의해서 긴 칩이 生成되고 긴 칩은 剪斷角

이 큰 경우에 나타나고 剪斷角이 크게되면 剪斷變形率의 식 $\gamma_s = \cot \phi + \tan(\phi - \alpha)$ 에서 變形率이 작게되므로 이는 前節에 있어서 언급한 切削抵抗이 減少하는 경우다. 절삭저항과 變形率이 동시에 감소하는 것으로 보아 절삭재료가 취화되었음을 추정할 수 있다.

DEPTH OF CUT OF CUT	NUMBER OF CUT							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.01 (MM)								
0.02 (MM)								
0.03 (MM)								
0.04 (MM)								
0.05 (MM)								
0.07 (MM)								
0.1 (MM)								

CUTTING CONDITIONS WORK MATERIAL : COPPER
TOOL(SRH3) : RAKE ANGLE 20(DEG)
* : COATED CUT

Fig. 5 Chip distribution pattern

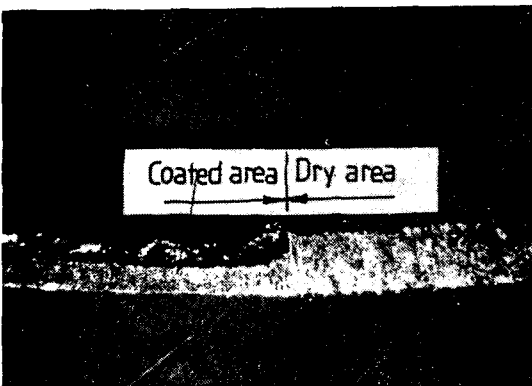
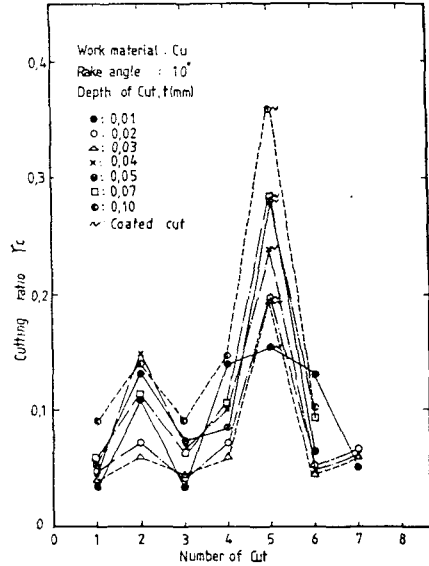
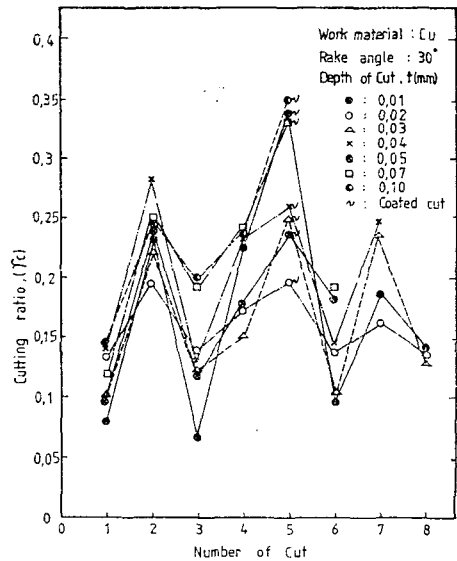


Fig. 6 Chip shape pattern

또한 剪斷面의 剪斷變形에너지와 傾斜面 擦摩에너지에 대해서 極性有機物質의 영향을 檢討하고자 한다. 工作物을 단위길이 切削할때 剪斷面의 剪斷에너지 E_s 는 다음과 같다.



(a)



(b)

Fig. 7 Relation between cutting ratio and number of cut

$$E_s = \tau_s \cdot \gamma_s \cdot b \cdot t \tag{1}$$

단, τ_s : 剪斷面의 剪斷應力 γ_s : 剪斷面의 剪斷變形率 b : 칩의 幅 t : 切削깊이

$$\gamma_s \text{와 } F_s \text{는 } \gamma_s = \frac{\cos \alpha}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \alpha)}, F_s = \frac{b \cdot t}{\sin \phi} \cdot \tau_s \text{ 이}$$

므로 이 式을 式(1)에 代入하면 剪斷에너지 E_s 는 다음과 같다.

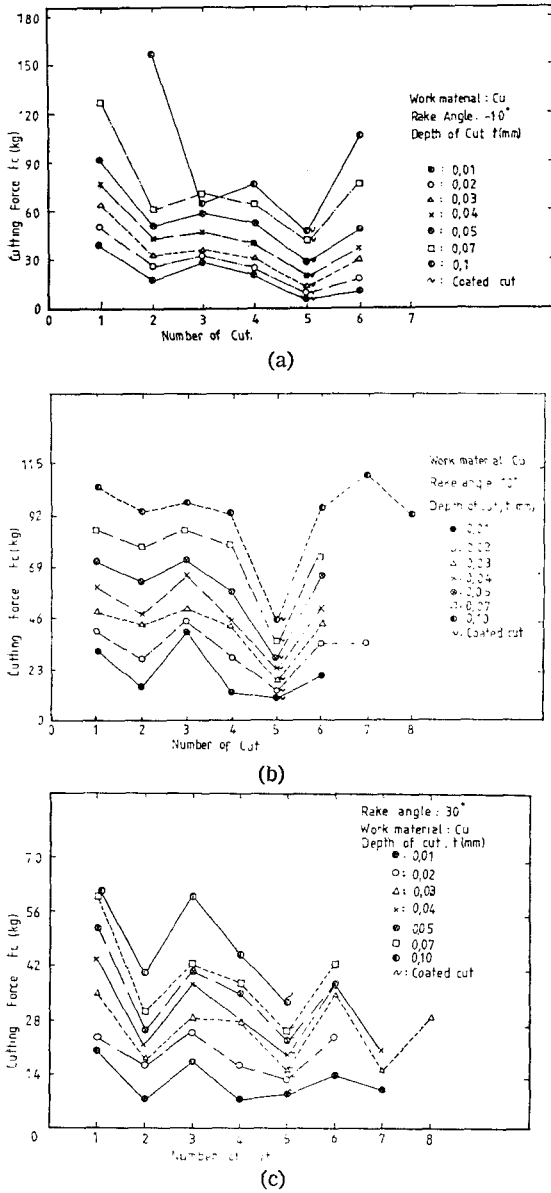


Fig. 8 Relation between cutting force and number of cut

$$E_s = F_s \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2)$$

단, α : 工具의 傾斜角 F_s : 剪斷面에서의 前斷力
 ϕ : 剪斷面上的 剪斷角
 한편 傾斜面 摩擦率을 F_f , 切削比를 r_c 라 하면 工具 傾斜面の 摩擦에너지 E_f 는

$$E_f = F_f \cdot r_c \quad (3)$$

$$F_f = F_s \cdot \frac{\sin \beta}{\cos(\phi + \beta - \alpha)}$$

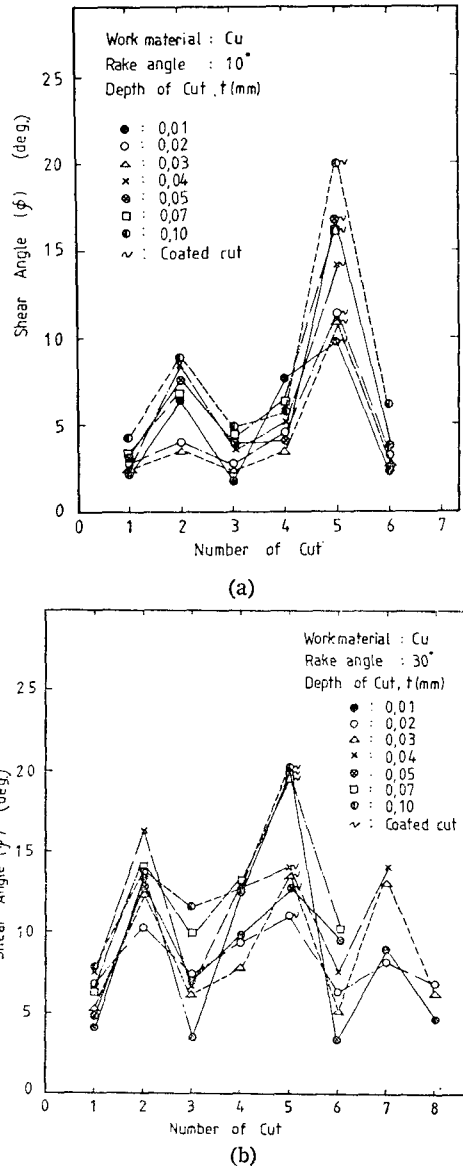


Fig. 9 Relation between shear angle and number of cut

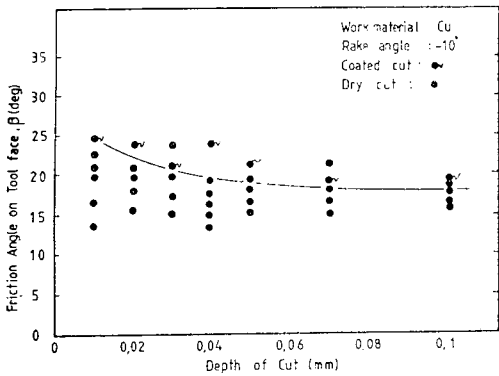
$$r_c = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \text{ 이므로}$$

$$E_f = F_s \cdot \frac{\sin \beta \cdot \sin \phi}{\cos(\phi + \beta - \alpha) \cdot \cos(\phi - \alpha)} \quad (4)$$

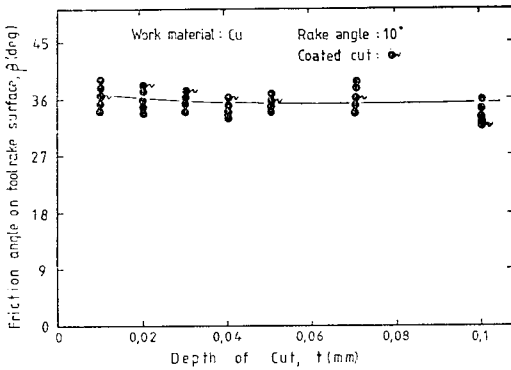
이 된다.

단, β : 工具傾斜面の 摩擦角

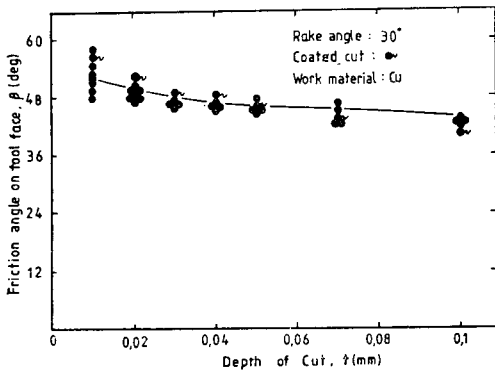
Fig. 12(a), (b)는 式 (2)를 이용한 工具傾斜角 10°, 30°일때의 切削깊이에 따른 剪斷面에서 剪斷變形에너지 (E_s)이다. 每 切削깊이 마다 切削回數에 따라서 剪



(a)



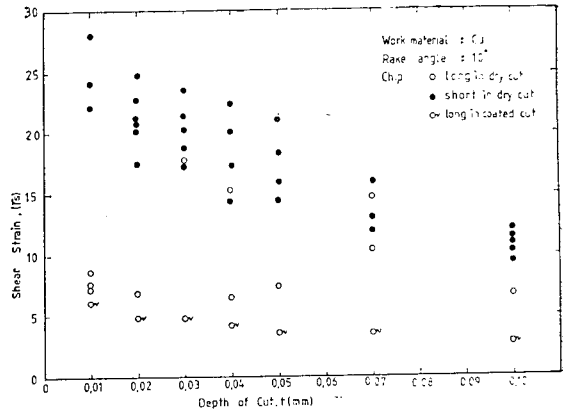
(b)



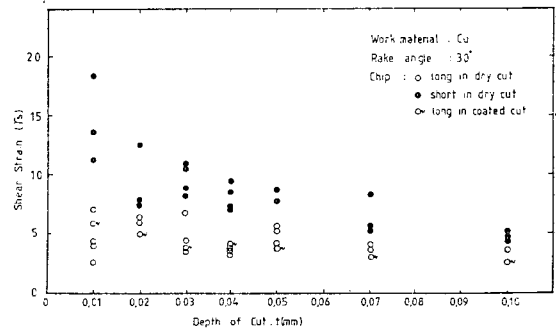
(c)

Fig. 10 Relation between friction angle and depth of cut

斷變形에 너지 (E_s)의 大小變化가 交代로 나타나고 切削 깊이가 增加함에 따라 E_s 는 增加하고 있는 것을 알 수 있다. 極性有機物質을 塗布했을 경우는 全領域에 걸쳐 E_s 가 減少한다. 이는 塗布하여 切削했을 때 前述한 剪斷變形率의 감소로 인하여 E_s 가 감소된 것으로 생각 된다. 傾斜角 10° 와 30° 에 있어서 그 傾向은 類似하나



(a)

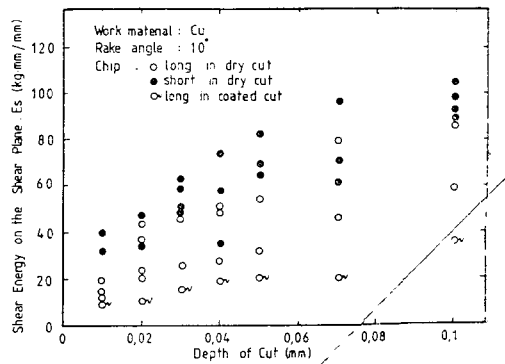


(b)

Fig. 11 Relation between shear strain and depth of cut

10° 에서 보다 30° 일때 E_s 가 보다 작게 나오고 있음을 알 수 있다.

Fig. 13(a), (b)는 式 (4)를 이용한 各各 傾斜角 10° , 30° 에서의 切削깊이에 따른 傾斜面의 摩擦에너지 E_f 의 變化를 보인다. 乾式切削과 塗布切削에서의 差를 거의 볼 수 없다. 즉 이러한 事實은 極性有機物質이



(a)

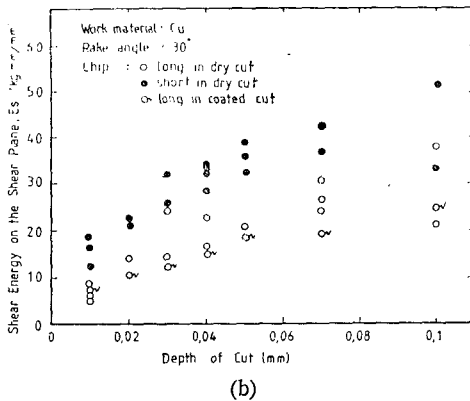


Fig. 12 Relation between shear energy and depth of cut

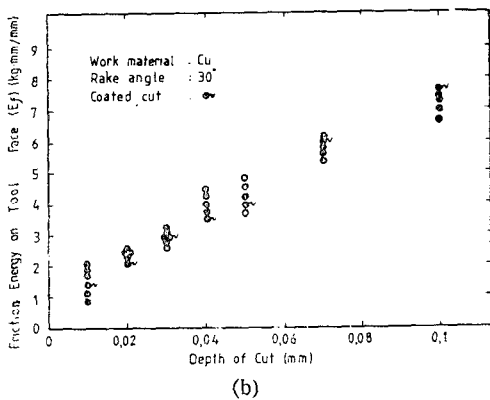
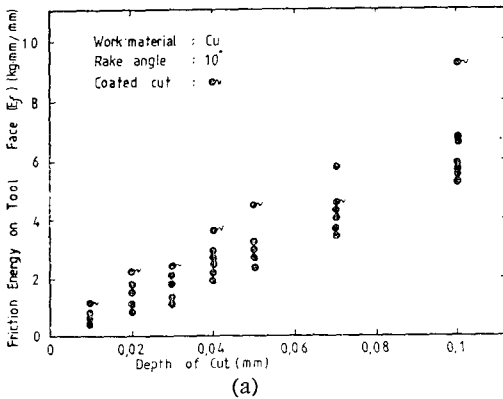


Fig. 13 Relation between friction energy and depth of cut

傾斜面摩擦에너지 E_f 에 어떤 影響을 미치지 않고 있음을 의미한다. 이상 실험결과 및 고찰에서 極性有機物質을 加工物 表面에 塗布하여 油劑가 傾斜面에 침입하지 않아도 切削比, 剪斷角의 증가 칩의 두께, 切削抵抗 및 剪斷變形率, 剪斷變形에너지의 감소등 보통의 습식절삭을 행한 경우와 같은 효과를 얻었으며, 切削抵

抗의 감소원인은 剪斷變形率이 현저히 감소하는 것으로 보아 油劑에 의한 加工材의 脆化效果라고 볼 수 있다.

4. 結論

本 研究에서 Rehbinder 效果가 큰 銅의 自由表面에 極性有機物質을 表面塗布하고 每 切削깊이 마다 反復 2 次元切削에 의하여 考證하여 얻은 結論은 다음과 같다.

- (1) 銅의 微細乾式切削에 있어서 긴 칩과 짧은 칩이 交番으로 나타났으며, 油劑塗布時는 交番順이 바뀔 정도로 油劑의 效果가 현저하다.
- (2) 極性有機物質을 塗布한 部分의 剪斷角은 증가하였으나 工具傾斜面의 摩擦角에는 거의 變化가 없다.
- (3) 切削油劑를 塗布하면 切削抵抗과 剪斷變形率이 크게 減少하며, 이것은 切削材料의 脆化를 의미한다.
- (4) 油劑塗布를 하면 全領域에 걸쳐 剪斷變形에너지가 減少하나, 摩擦에너지에는 影響을 주지 않는다.

參 考 文 獻

- (1) Rehbinder, P. "New Physico-Chemical Phenomena in the Deformation and Mechanical Treatment of Solids", Nature, 159, 866, 1947
- (2) Usui, E., Gujral, A., Shaw, M.C. "An Experimental Study of the Action of CCl_4 in Cutting and Other Processes Involving Plastic Flow", Int. J. MTDR. 1, 187, 1961
- (3) Barlow, P.L. "Influence of Free Surface Environment on the Shear Zone in Metal Cutting," Proc. Int. Mech. Engrg., 181, 687, 1966~67
- (4) 樺田勝美, 渡邊善次郎, 益子正己 "被削材表面環境의 切削現象におよぼす影響(第1報, 銅の切削における 切削力, 切削比, 仕上面あうさにつて)", 日本機械學會論文集, 第38卷, 第316號, p. 3246, 1972
- (5) 上同(第2報セム斷角, すくい面摩擦角, 切削仕事につて), 日本機械學會論文集, 第42卷, 第353號, p. 307, 1976
- (6) Boothroyd, Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, McGraw-Hill, 1975
- (7) Brown, R.H., Armarego, E.J.A., The Machining of Metals, 1969
- (8) Merchant, M.E., "Mechanics of the Metal Cutting Process II, Plasticity Conditions in Orthogonal Cutting." Vol. 16, No. 6, p. 318, 1945