

3次元切削에서 表面環境이 切削機構에 미치는 影響

徐 南 燮* · 徐 大 源**

The Effect of Surface Environment on the Mechanism in Oblique Cutting

Seo Nam-Seob and Seo Dae-Weon

Abstract

The object of the study is to discuss the effect of magic ink as a surface active substance on the mechanism of chip formation in oblique cutting.

The Rehbinder effect has been known as a phenomenon that the mechanical strength reduces when the metal is coated with some surface active substances.

In order to interpret these surface effects defined by Rehbinder, the influence on the shear strength of shear plane by coating surface active substances, cutting force by the depth of cut, surface roughness and hardness ratio were observed.

The results are as follows:

1. By coating the magic ink on free surface of the forming chip, the effective shear angle increases, and the cutting force and the deformed chip thickness decreases.
2. With the large inclination angle the effective shear angle increases, and the specific cutting force and the friction angle decrease.
3. Cutting of the coated surface improves the surface roughness and the hardness ratio drops, which means another Rehbinder effect.

Nomenclature

t : undeformed chip thickness (mm)
 α_n : normal rake angle (deg.)
 ϕ_n : normal shear angle (deg.)
 i : inclination angle (deg.)
 η_c : chip deviation angle (deg.)
 ϕ_e : effective shear angle (deg.)
 α_e : effective rake angle (deg.)
 η_s : shear flow angle (deg.)
 γ : shear strain

F_s : shear force on the shear plane (Kg)
 F_{sn} : normal force on the shear plane (Kg)
 τ : shear stress (Kg/mm²)
 σ : normal stress (Kg/mm²)
 σ_c : specific cutting force (Kg/mm²)
 β : friction angle (deg.)
 V_w : approach velocity in the shear plane (m/sec)
 V_c : chip velocity on the tool face (m/sec)
 V_s : shear velocity in the shear plane (m/sec)
 F : friction force component on the tool face (Kg)

* 全北大學校 工科大學 機械工學科 教授

** 全北大學校 大學院 機械工學科 大學院生

- N : normal force component on the tool face (Kg)
- F_x : cutting force component in x direction (Kg)
- F_y : cutting force component in y direction (Kg)
- F_z : cutting force component in z direction (Kg)
- A_s : shear plane cross sectional area (mm²)

1. 緒 論

材料的 機械的인 性質이 環境의 影響을 받고 金屬切削에 있어서 切削油劑를 使用하면 顯著히 被削性이 改善된다는 것은 이미 잘 알려진 事實이다.

Dry-cutting에 比하여 切削油劑를 使用하면 切削機構에 變化를 가져오나 效果는 切削油劑에 따라 크게 差異가 있다.

한편 Reh binder 등은 切削油劑가 被削材를 둘러싼 것을 表面環境이라 하고 이러한 表面環境에 의하여 機械的 強度가 低下되는 것이 이른바 "Reh binder effect"¹⁾ 라고 알려져 왔다.

또한 被削材의 表面에 切削油劑를 바름으로 해서 切削抵抗의 減少와 表面粗度의 向上에 關한 研究도 進行되어 왔다.^{2, 3, 4, 5)}

一般的으로 表面環境의 影響이라고 하여도 서로 相反되는 現象이 있어 複雜하지만 어떤 油劑도 環境劑로서 作用하는 것은 확실하다.

따라서 이러한 表面效果를 解析하기 위하여 切削油劑를 塗布하고 剪斷面에서의 剪斷強度에 對한 變化, 切削깊이에 따른 切削抵抗의 變化, 表面粗度の 變化 그리고 硬度值의 變化를 觀測하는 것이 必要하다.

以上の 研究는 2次元에서만 行하여 왔기 때문에 本論文에서는 銅의 3次元 切削에 있어서 magic ink를 表面環境劑로 使用하여 이것이 切削機構에 미치는 影響을 實驗的으로 考察해 보고자 한다.

2. 理論的 考察

Fig. 1의 速度 vector에서 剪斷流動角 η_s 를 求하면 다음과 같다.

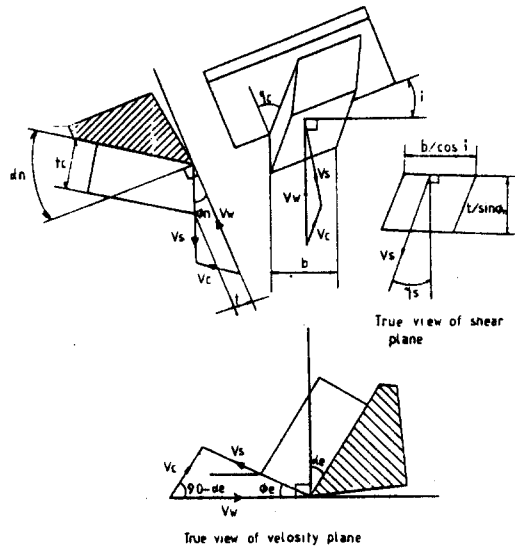


Fig. 1. Chip formation in oblique cutting

$$\tan \eta_s = \frac{\tan i \cos (\phi_n - \alpha_n) - \tan \eta_c \sin \phi_n}{\cos \alpha_n}$$

有效剪斷角 ϕ_e 를 求하면

$$\sin \phi_e = \left(\frac{\cos \eta_s \cos \alpha_n}{\cos \eta_c \cos \alpha_n} \right) \cdot \sin \phi_n$$

Fig. 2에서 摩擦角 β , 剪斷面上的 剪斷應力 τ 를 求하면 다음과 같다.

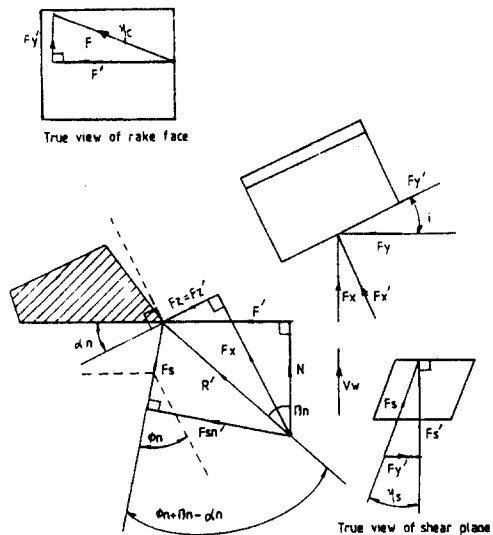


Fig. 2. The force components in oblique cutting

$$\begin{aligned} \mu = \tan \beta &= F / N \\ &= \frac{[\{F_x \cos i + F_y \sin i\} \sin \alpha_n + F_z \cos \alpha_n]^2 + (F_x \sin i - F_y \cos i)^2}{(F_x \cos i + F_y \sin i) \cos \alpha_n - F_z \sin \alpha_n} \\ \tau = \frac{F_s}{A_s} &= \frac{F_s}{b \cdot t / (\cos i \cdot \sin \phi_n)} \\ &= \frac{[\{(F_x \cos i + F_y \sin i) \cos \phi_n - F_z \sin \phi_n\}^2 + (F_x \sin i - F_y \cos i)^2]^{1/2}}{b \cdot t / (\cos i \cdot \sin \phi_n)} \\ \sigma = \frac{F_{sn}}{A_s} &= \frac{F_{sn}}{b \cdot t / (\cos i \cdot \sin \phi_n)} \\ &= \frac{(F_x \cos i + F_y \sin i) \sin \phi_n + F_z \cos \phi_n}{b \cdot t / (\cos i \cdot \sin \phi_n)} \end{aligned}$$

3. 實驗裝置와 實驗 方法

3-1. 實驗 裝置

Photo. 1에 보인 바와 같이 實驗에 使用된 實驗器機는 milling machine, dynamometer, charge amplifier, Single straight edge tool, electric micrometer, tool microscope 等이고 workpiece 와 切削條件은 各各 Fig. 3 과 Table 1 과 같다.

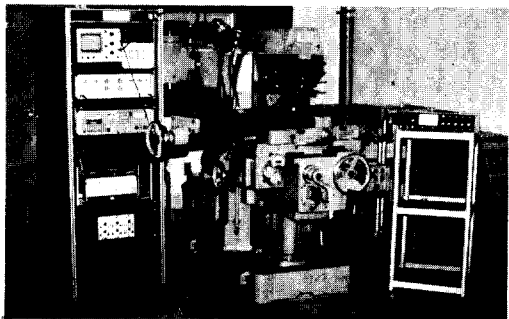


Photo. 1

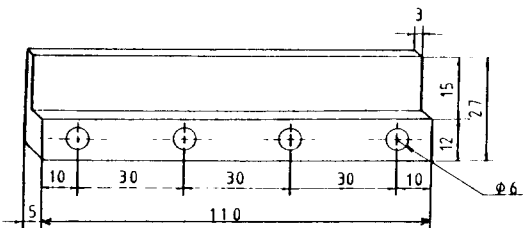


Fig. 3. Workpiece

Table 1. The cutting conditions

Oblique Cutting Conditions	
Work Material	: Copper, width 3 mm
Tool	: Single straight edge SKH 9
	Rake angle : 20 deg
	Clearance angle : 5 deg.
	Radius of angle, less than 2 μm
Inclination angles	: 15 deg. 30 deg
Cutting Speed	: 0.342 m/min
Depth of cut	: 0.010 ~ 0.100 mm
Coolant	: Magic ink.

3-2. 實驗 方法

Fig. 4에 보인 바와 같이 milling machine 의 Arbor yoke에 Single straight edge tool 을 附着하고 tool dynamometer 를 設置한 다음 小形 vise 를 dynamometer 위에 固定하고 workpiece 를 vise 에 固定시켜 切削方向을 dial gauge 로 調整한 다음 bed 를 回轉시켜 3次元 切削을 行하였다. Charge amplifier 와 recorder 를 連結하고 dynamometer 에 주어진 Sensitivity 를 check 하여 切削에 適當한 記錄範圍를 recorder

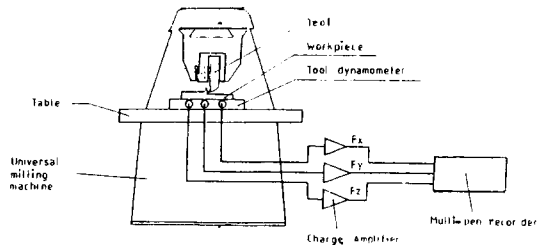


Fig. 4. The schematic diagram of experimental apparatus

에 定하였다. 切削速度는 bed의 feed에 의해서 주고 切削力은 recorder에 記錄하였다. 切削 깊이는 精度가 $1\ \mu\text{m}$ 인 electric micrometer를 使用하였고 切削 두께와 폭은 精度가 $1\ \mu\text{m}$ 인 工具 microscope를 使用하여 測定하였다. 切削 加工 硬化로 인한 材質의 變化를 觀察하기 위하여 Fig. 17에서와 같이 中間部分에 magic ink를 塗布하여 切削方向으로 微小硬度를 測定하였다. 硬度測定面을 冷却水로 冷却해 가며 砂布 (# 1000)로 研磨한 다음 0.1 micro Alpha Alumina로 polishing한 後에 切削方向에 沿하여 0.5mm 間隔으로 微小硬度를 測定하였다. 이 때 硬度計는 Vickers 微小硬度計를 使用하였고 測定荷重은 100 g 으로 하였다. 切削表面의 粗度는 表面粗度計를 (TA-LYSURF 10) 사용하여 切削方向과 直角方向인 面을 測定하였다.

材料에 따라서는 切削現象에 前 加工의 履歷이 明瞭하게 나타난다. 즉 前 段階에서 切削 抵抗이 크고 粗雜한 表面이 나타나면 다음 回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 每回 交代로 일어난다. 이 現象은 구리 切削에 있어서 매우 顯著하다. 따라서 加工物을 일단 切削抵抗이 큰 加工을 하면 그 影響이 다음 切削에서 계속 나

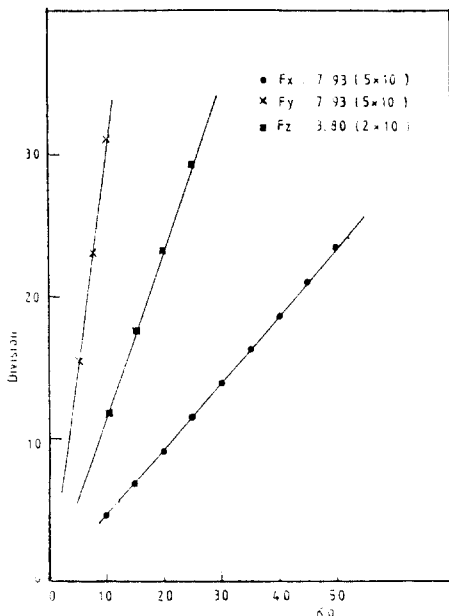


Fig. 5. Calibration curve

타나게 되므로 이를 除去하기 위하여 切削 깊이를 0.05, 0.04, 0.03, 0.02, 0.01... 順으로 減少시키면서 pre-cutting 하였다. 切削油劑를 塗布하여 Reh binder effect인 切削 機構를 觀察한 다음 Reh binder effect 試驗을 하기 위해서는 前 Reh binder effect를 除去하기 위하여 위의 pre-cutting 과 同一한 切削 깊이로 recorder에 나타나는 切削抵抗이 均一할 때까지 pre-cutting 하였다. 이 때 切削油로는 石油를 使用하였다. 最終의 으로 Acetone으로 洗滌하여 0.01mm의 dry-cutting에 의하여 pre-cutting을 完成하였다.

50 kg用 spring 저울을 使用하여 x, y 方向의 힘을 calibration 하고 錘 5 kg, 10 kg, 20 kg 의 靜荷重 狀態에서 Z 方向의 힘을 calibration 하였으며 實驗前後 2回 calibration 하여 그 平均값이 Fig. 5에 나타나 있다. 여기에서 calibration factor는 $f_x = 2.15\ (\text{kg}/\text{div})$, $f_y = 0.31\ (\text{kg}/\text{div})$, $f_z = 0.85\ (\text{kg}/\text{div})$ 을 얻었다.

4. 實驗結果 및 考察

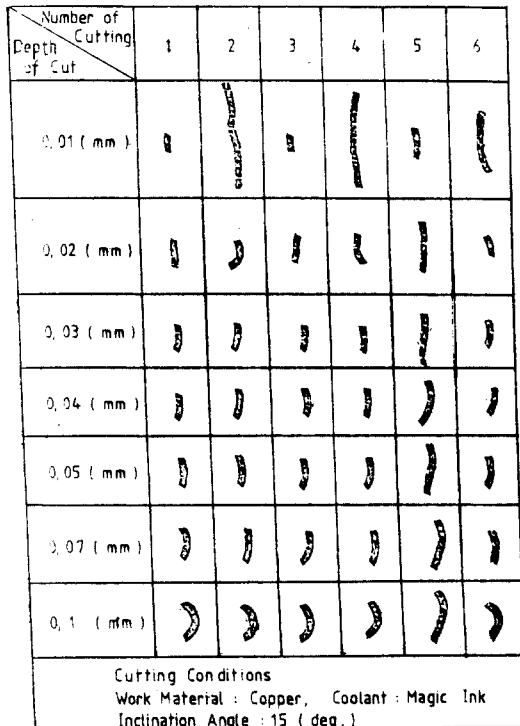


Fig. 6(a). The chip distribution pattern

Number of Depth Cutting of Cut	1	2	3	4	5	6
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, Coolant : Magic Ink Inclination Angle : 30 (deg.)						

Fig. 6(b). The chip distribution pattern

銅을 Table 1 과 같이 주어진 條件下에서 反復 切削하였을 때 Fig. 6 (a-b)는 chip의 形狀을 보인 것으로 long chip과 short chip이 交代로 나타났다. Fig. 7은 기울임角 15°에서의 切削回數에 따른 chip의 두께의 變化를 보이고 있다. 여기에서 5番째의 chip의 두께는 自由表面의 中間部分에 magic ink로 塗布한 部分의 chip의 두께이며 이곳에서 두께 變化의 交番順이 變하였다. chip이 두껍다고 推定될 때 magic ink를 塗布하면 이 chip는 얇게 된다. 따라서 chip이 한번 두꺼워졌다가 다음번은 얇아지는 交番順이 바뀌지게 되었다.

Fig. 8은 기울임角 30°에서의 切削回數에 따른 chip 두께 變化에 對한 그림이다. 기울임角이 클수록 chip 두께는 減少하나 傾向은 기울임角 15°인 때와 아주 類似하게 나타났다. Fig. 9는 切削깊이 0.04 mm에서 기울임角 15°, 30°인 때의 切削抵抗이다. 처음 dry部分에서는 切削抵抗이 徐徐히 增加하여 比較의 一定值를 維持하다가 tool이 塗布部에 다달으면 急激히 切削抵抗이 減

少한다.

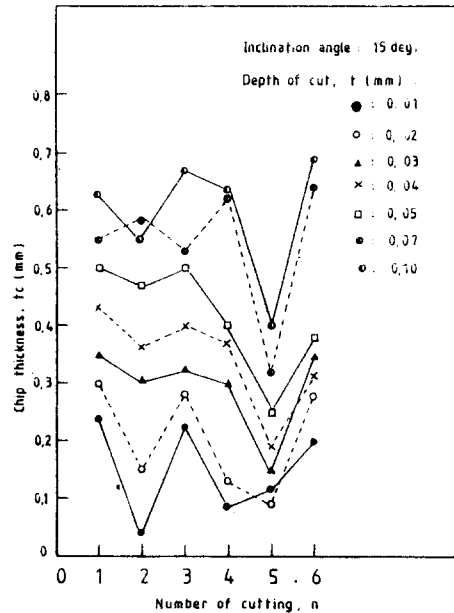


Fig. 7. The relation between chip thickness and number of cutting

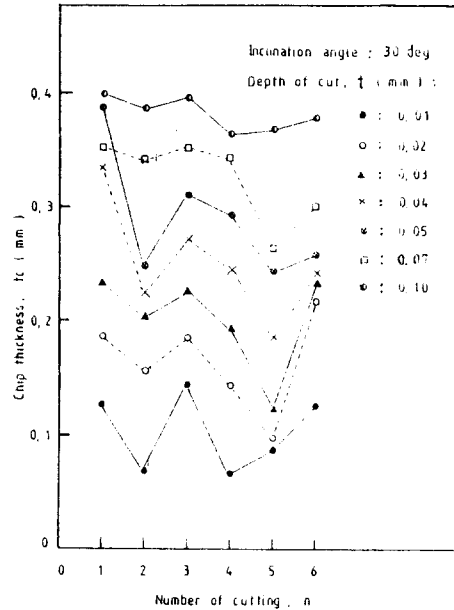


Fig. 8. The relation between chip thickness and number of cutting

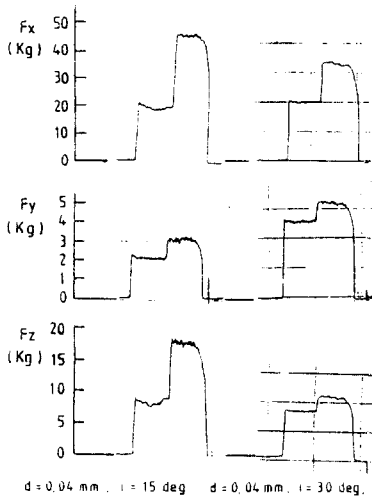


Fig. 9. Variation of cutting force

이같이 magic ink 를 바르면 切削油劑를 사용한 때와 같이 效果를 보인다. 다음에 被削材와 工具面 사이에 摩擦이 摩擦抵抗에 어떠한 影響을 미치는 가를 把握하기 위하여 切削깊이에 따른 摩擦角의 變化를 Fig. 10에 보이고 있다. 그림에서

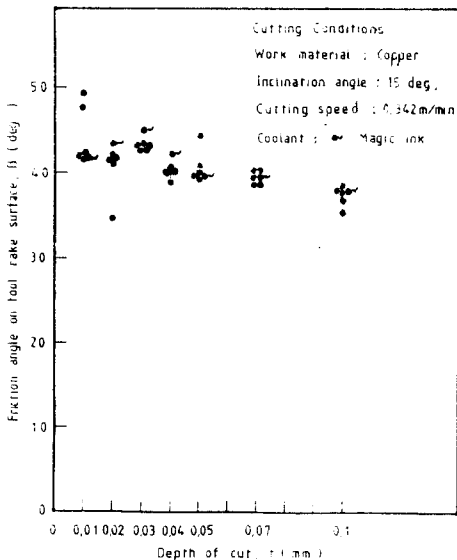


Fig. 10. The relation between friction angle and depth of cut

傾斜面 摩擦係數는 magic ink 의 塗布影響을 받지 않는다는 것을 直觀的으로 알 수 있다.

또한 塗布에 의한 摩擦角 β 가 增加하는 것을 알

수 있다. 그러나 다음에 考察하는 有效 剪斷角의 增加와 같이 생각할 때에 Merchant 式에 의한 解析과 相反되어 이에 對한 研究는 次期로 미루고자 한다.

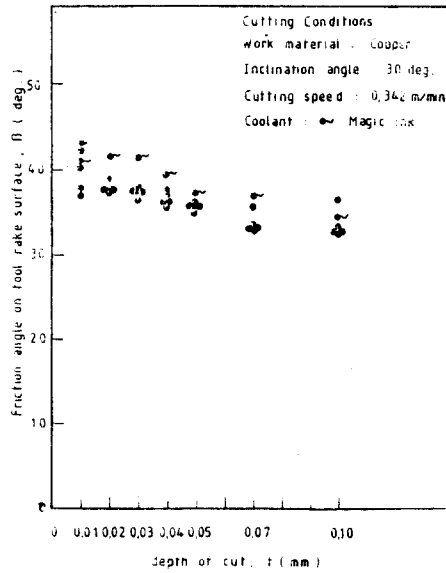


Fig. 11. The relation between friction angle and depth of cut

Fig. 11 은 기울임角 30°인 때의 切削깊이에 따른 摩擦角의 變化를 보이고 있으며 그 變化는 極히 微小하다. Fig. 10과 Fig. 11을 比較할 때에 工具傾斜面의 摩擦係數는 기울임角의 增加와 더불어 減少한다는 事實도 알 수 있다. Fig. 12, 13 은 各各 기울임角 15°, 30°에서의 切削깊이에 따른 有效剪斷角의 變化를 나타낸 그림으로 切削 깊이에 따라 有效剪斷角은 增加하고 그것은 magic ink 를 塗布함으로써 顯著히 增加하고 있다. Fig. 12, 13을 比較할 때에 기울임角의 增加와 더불어 有效剪斷角이 增加됨을 알 수 있다. 즉 3次元 切削에서도 有效剪斷角과 摩擦角과의 關係에서 Merchant 式에 一致한다. Fig. 14, 15는 各各 기울임角 15°, 30°에서의 切削 깊이에 따른 比切削抵抗의 變化를 보이고 있다. 各 切削깊이에서 比切削抵抗은 切削回數에 따라서 交代로 變化하고 있다. 이러한 現象은 size effect에 의한 것으로 考慮된다. Magic ink 를 塗布함으로써 比切削抵抗은 減少하는 것을 알 수 있다. Fig. 14, 15를 比較할 때 기울임角이 增大하면 比切削抵抗은 減少

하는 것을 알 수 있다.

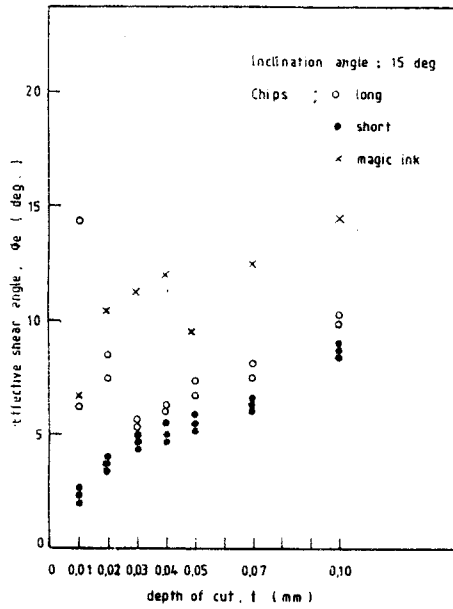


Fig. 12. The relation between effective shear angle depth of cut

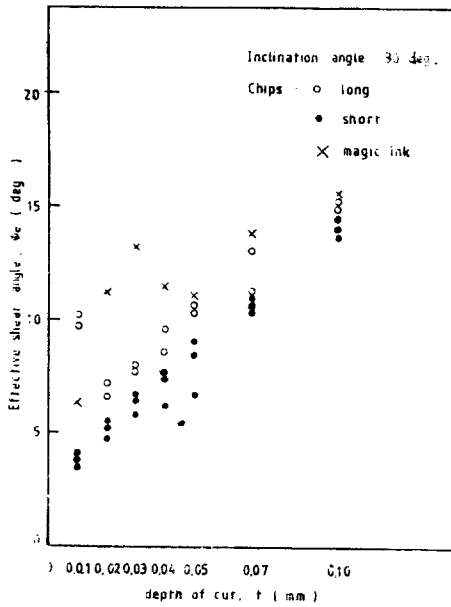


Fig. 13. The relation between effective shear angle and depth of cut

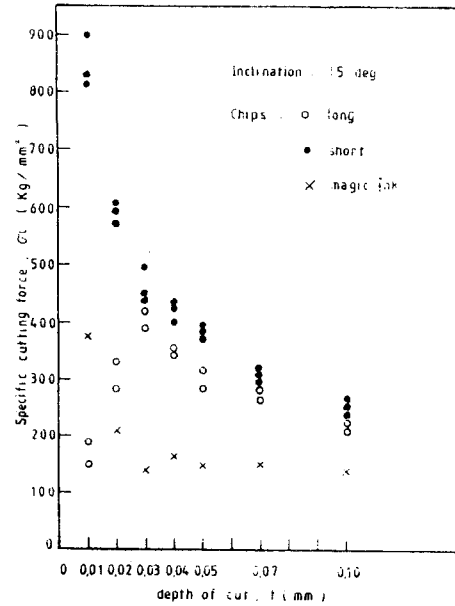


Fig. 14. The relation between specific cutting force and depth of cut

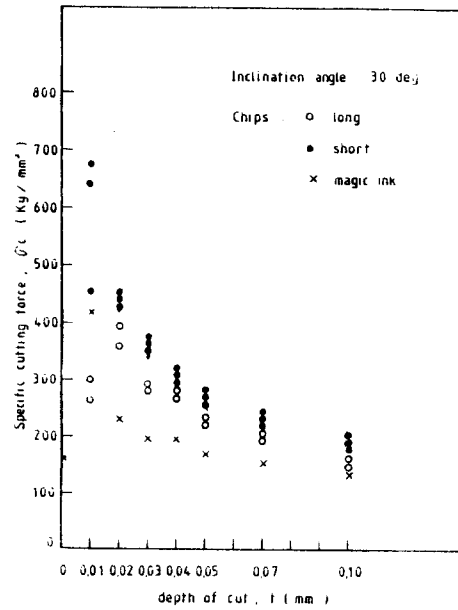


Fig. 15. The relation between specific cutting force and depth of cut

Fig. 16은 表面粗度の 形狀을 나타내고 있다.

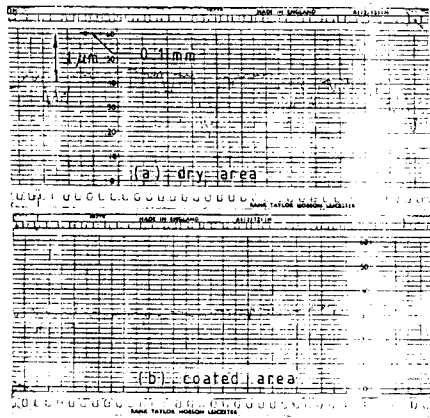


Fig. 16. The profiles of surface roughness

3-2에서 叙述한 方法으로 pre-cutting 한 後 (a)는 0.03 mm로 切削한 面의 粗度를 나타내고 (b)는 (a)와 同一 條件下에서 magic ink를 塗布한 後 切削面의 粗度를 나타내며 (a)에 比해서 粗度가 적다. 따라서 切削油劑를 使用하면 表面粗度가 向上된다는 것을 알 수 있다. Fig. 17 (a-d)는 切削回數에 따른 硬度測定値를 나타내며 (a)는 塗布한 狀態에서의 硬度를 나타내고 塗布部에서 약간 硬度가 높다. 1回, 2回, 3回 切削에서 各各 magic ink 塗布에 의한 硬度 低下를 볼 수 있고 Fig. 18에서와 같이 1回 切削에서 硬度値가 最小이고 다음回的 切削에서 增加하여 硬度의 差는 微小하나 増減이 交替으로 나타났다. 따라서 Reh-binder effect가 硬度에도 미침을 알 수 있다. 즉 magic ink를 塗布함으로써 材料가 脆化되는 것으로 생각된다.

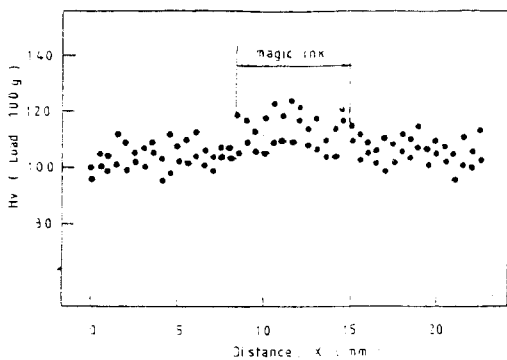


Fig. 17(a). Hardness distribution in dry and coated area (coated by magic ink)

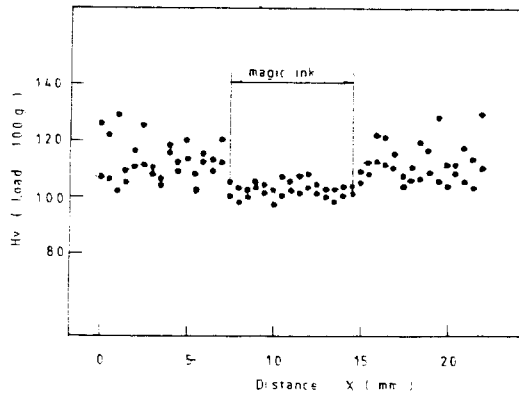


Fig. 17(b). Hardness distribution in dry and coated area (1st cutting)

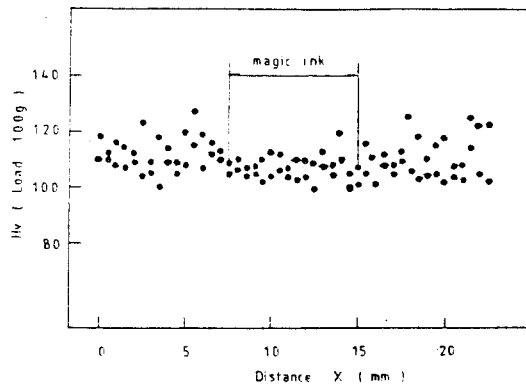


Fig. 17(c). Hardness distribution in dry and coated area (2nd cutting)

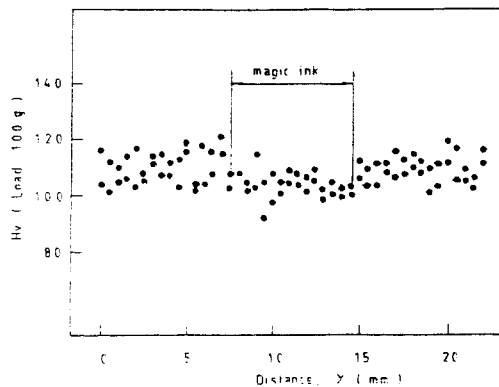


Fig. 17(d). Hardness distribution in dry and coated area (3rd cutting)

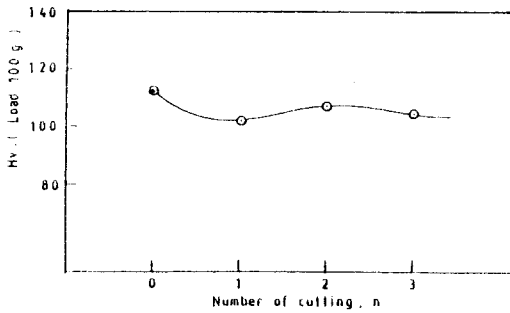


Fig. 18. Relation between Hv and number of cutting in coated area

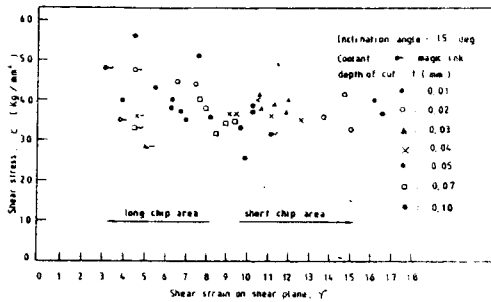


Fig. 19. The relation between shear stress and shear strain

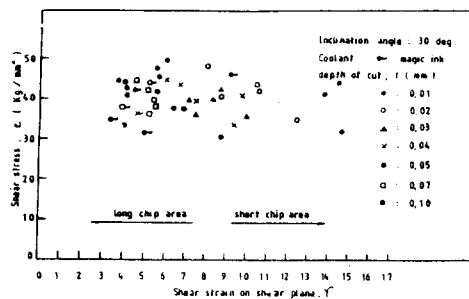


Fig. 20. The relation between shear stress and shear strain

Fig. 19, 20 은 各各 기울임角 15°, 30° 인 때의 剪斷面上에서 剪斷應力과 剪斷變形率의 關係를 보이고 있다. 剪斷應力の 變化는 거의 없는 것으로 看做할 수 있고 切削깊이가 클수록, 同一 切削깊이에서 long chip 일 때 剪斷變形率이 적은 部分에 集中되어 있다. 따라서 剪斷變形率이 적은 것은 材料의 脆化(embrittlement)를 意味하는 것으로 推定할 수 있으며 이는 硬度值의 比較에서 32

얻은 結果와 같다.

5. 結 論

1. Magic ink 를 塗布함으로서 有效剪斷角이 增加하고 切削抵抗과 chip 의 두께가 減少한다.
2. 기울임角이 增加함에 따라 有效剪斷角이 增加하고 比切削抵抗과 摩擦角은 減少한다.
3. Magic ink 를 塗布한 後 加工한 切削面의 粗度는 向上되고 硬度는 低下되며 切削回數에 따른 硬度 變化는 Reh binder effect 의 影響을 받는다.

Reference

1. Reh binder, P. "New Physico-Chemical Phenomena in the Deformation and Mechanical Treatment of Solids", Nature, Vol. 159, pp 866-867, 1947.
2. Usui, E., Gujral, A., Shaw, M.C. "An Experimental Study of the Action of CCl₄ in Cutting and Other Processes Involving Plastic Flow", Int. J. MTD., Vol. 1, pp 187-197, 1961.
3. Balow, P.L. "Influence of Free Surface Environment on the Shear Zone in Metal Cutting", Proc. Int. Mech. Engng. Vol. 181, pp 687-701, 1966-1967.
4. 榊田勝美, 波邊善次郎, 益子正己
被削材表面環境の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, 切削比仕上面あらさについて) 機械學會論文集, Vol. 38-316, pp 3246~3254, 1972.
5. 上 同
(第2報, せん斷角, すくい面摩擦角, 切削仕事について) 機械學會論文集, Vol. 42-353, pp 307~315, 1976.
6. R.H. Brown, E.J.A. Armarego "The Machining of Metals" Prentice-Hall, Ins., 1969, pp 74-94.
7. Gopal Chandra Sen, Amitabha, "Principles of Metal Cutting" J.N. Sen, 1969, pp 101-104,