

切削油劑가 金屬切削機構에 미치는 影響에 關한 研究

徐 南 燮* · 梁 均 懿**

Effect of Cutting Fluid on the Metal-Cutting Mechanism

Nam Seob Seo and Gyun Eui Yang

Abstract

The object of this study is to discuss the effect of cutting fluid on the mechanism of chip formation in orthogonal cutting.

Rehbinder effect has been known as a phenomenon, the reduction of mechanical strength, when the metal is exposed in a polar organic environment or the surface of metal is coated with some polar organic substances.

About the cause of Rehbinder effect there have been many different ideas by Rehbinder, Merchant, Shaw, Sakakida and etc.

In this report, the effects of surface active medium (magic ink) upon the mechanism of chip formation on the orthogonal cutting of copper and the mechanical properties of the work material are experimentally discussed with constant rake angle.

Under the condition of polar organic environment the experimental results are as follows;

- 1) The chip thickness becomes thinner and slip line pitch on the free surface of chip becomes smaller than that of dried cutting area.
- 2) The order of alternation of cutting ratio was changed.
- 3) The friction angle on the tool face is not affected by the depth of cut.
- 4) The cutting force and shear strain on the shear plane decrease remarkably, therefore the work material must be embrittled under polar organic environment.

* 全北大學校 工科大學 機械工學科 教授

** 全北大學校 工科大學 機械工學科 助教授

1. 序 論

金屬切削의 理想目標인 經濟的이고 精度높은 加工을 위하여서는 切削抵抗과 表面粗度가 작을수록 좋다. 切削力에 影響을 주는 主要因子에는 工作物材質, 工具形狀, 切削油, 切削熱, 切削速度 등으로 생각된다. 특히 切削油는 一般的으로 切削熱의 除去, 工具와 Chip 間的 摩擦減少를 가져오는 潤滑作用을 한다는 것으로 알려져 있다. 이와같은 潤滑作用은 剪斷角의 增加, 切削抵抗의 減少 및 粗度向上을 가져오는 것으로서 重要視되어 왔다.

한편 金屬表面이 極性有機物質(切削油劑)로 塗布되었을 때 機械的 強度가 低下되는 現象이 이른바 Rehbinder 效果¹⁾라 알려져 왔다. Merchant²⁾, Shaw³⁻⁴⁾ 등이 Rehbinder 效果를 研究하는 동안에 많은 相反된 結果가 얻어졌지만 表面效果가 存在한다는 것에 대해서는 의견을 같이 하고 있다. P.L. Barlow⁵⁾ 등은 Rehbinder 效果에 대한 說明을 하기 위하여 表面 microcrack의 存在에 입각한 機構에서 金屬表面과 더불어 轉位の 相互作用에 관련된 機構로 變하고 있다고 밝히고 있다.

또한 最近 Sakakida⁶⁻⁷⁾ 등은 生成되는 Chip의 自由表面위에 極性有機物質을 含有한 切削油劑를 塗布하고 切削實驗을 行하여 切削抵抗 및 加工面粗度에 대하여 考察하였으나 切削抵抗의 減少原因에 대하여는 구체적인 指摘이 없다. 以上에서와 같이 極性有機物質을 함유한 切削油劑의 塗布에 의한 切削抵抗의 減少原因에 대한 機構가 아직까지는 定立되지 않았다.

本 論文에서는 塗布하기 容易한 magic ink ($C_6H_5CH_3 + C_6H_4(CH_3)_2 + C_4H_9OH + C_6H_{12}O_2$)를 切削油劑로 使用하여 Rehbinder 效果가 큰 銅을 低速2次元切削하여 切削機構變化의 觀点에서 切削油劑의 效果를 考察코져 한다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2-1. 實驗裝置

Photo.1에 보인바와 같이 本實驗에 使用된 實

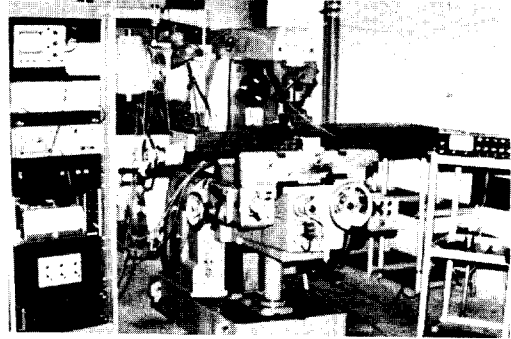


Photo. 1. Experimental apparatus

驗器機는 milling machine, tool dynamometer (Kistler Instrumente type : 9257 A), Charge amplifier(Kistler Instrumente type : 5001), multi-pen recorder (Ricadenki : R-100), 單刃直線 切削工具와 電氣 micrometer, 工具顯微鏡(Nikon) 등이고 工作物(Workpiece) 및 工具動力計(tool dynamometer)用 vise의 形狀과 치수는 Fig.1 및 Fig.2와 같고 2次元切削에 있어서 切削條件은 Table.1과 같다.

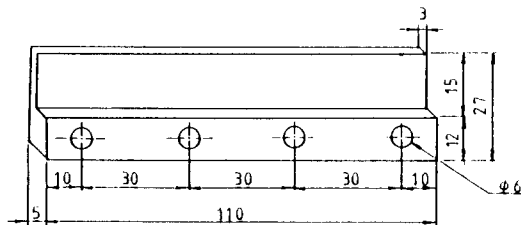


Fig. 1. Workpiece

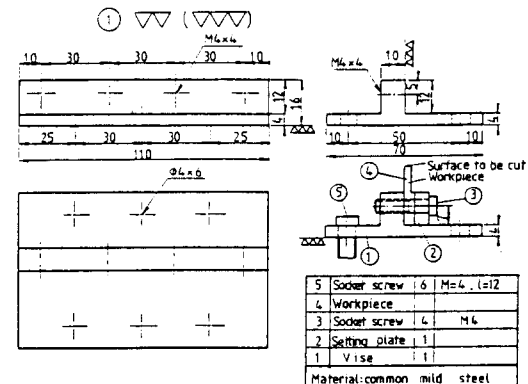


Fig. 2. Vise for tool dynamometer

Table. 1. Orthogonal cutting condition

Work material	: Copper, width, : 3mm
Tool	: Single straight edge SKH9
Rake angle	: 20deg
Clearance angle	: 5deg
Radius of edge	: less than 2μm
Cutting speed	: 0.342m/min
Depth of cut	: 0.010 ~ 0.100 mm
Coating material	: Magic ink (C ₆ H ₆ CH ₃ + C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ + C ₄ H ₆ OH + C ₆ H ₁₂ O ₂)

2-2. 實驗方法

Fig.3에 보인바와 같이 milling machine 의 arbor yoke 에 單刃直線 切削工具를 附着하고 table 위에 工具動力計를 設置한 다음 Fig.2의 小形 vise 를 動力計위에 固定하고 工作物을 vise 에 固定시켜 2次元切削을 行하였다. 切削速度는 bed 의 feed 에 의해서 주어지고 切削抵抗은 工具動力計, charge amplifier 를 거쳐 multi-pen recorder 에 기록되었다. 切削 깊이는 0.2 μm 精度를 지닌 電氣 micrometer 를 使用하여 調整하였다. Chip 의 두께는 工具顯微鏡에 의해 측정하였다.

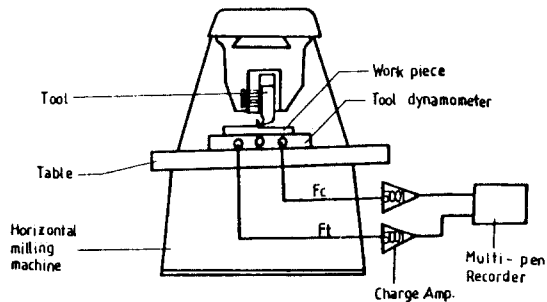


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus

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 交替으로 일어난다. 이 現象은 銅切削에 있어서 더욱 현저하다. 加工物은 切削抵抗이 큰 加工을 하면 그 影響이 다음 切削에서 繼續 나타나게 되므로 이를 除去하기 위하여 切削깊이를 0.05, 0.04, 0.03, 0.02, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01 mm 順으로 減少시키면서 pre-cutting 하였다.

切削油劑를 塗布하여 Rehbinder 効果에 의한 挙動을 觀察한 다음 Rehbinder 効果試驗을 하기 위해서는 前 Rehbinder 效果를 除去하기 위하여 위의 Pre-cutting 과 同一한 切削깊이로 recorder 에 나타나는 切削抵抗이 均一할때까지 pre-cutting 하였다. 이때 切削油로는 石油를 使用하였다. 最終적으로 acetone 으로 洗滌하여 0.01 mm 의 乾式切削에 依하여 pre-cutting 을 完了하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3-1. 2次元 切削에 있어서 Chip 形狀

Photo.2는 切削깊이 0.04mm로 하여 加工物 길이의 中間部分의 pre-cutting 面에 切削油劑를 塗布 切削 했을때 切削油劑가 Chip 두께에 어떠한 影響을 미치는가를 알아보기 위한 Chip 形狀의 顯微鏡사진이다. Photo.2에서와 같이 塗布部는 Chip 두께가 減少하므로 乾式切削部와 확실히 区

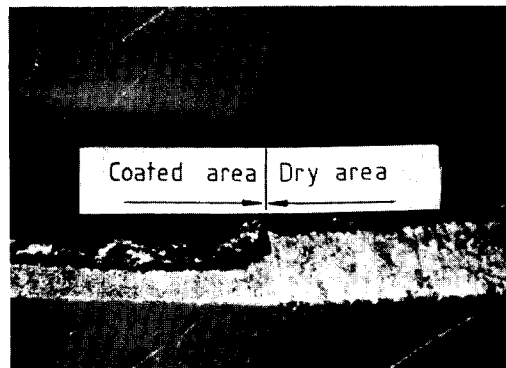
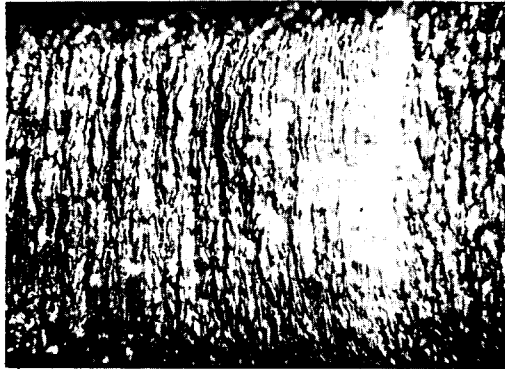
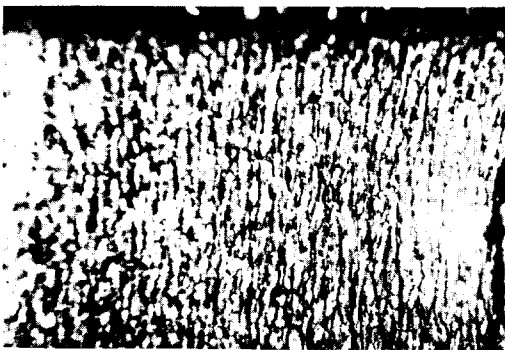


Photo. 2. Chip shape pattern

별된다. 乾式切削部로부터 塗布部로의 Chip 두께의 遷移는 급격히 이루어지는것을 알 수 있으며 이것은 乾式切削에 있어서 剪斷角을 작게하고 있던 拘束이 塗布部에서 減少하거나 除去됨을 알 수 있다.



(a) Dry cutting (t=0.07mm)



(b) Coated cutting (t=0.07mm)

Photo. 3. Slip line change

Photo.3 과 같이 塗布部切削과 乾式切削에서는 Chip 두께 뿐만 아니라 Slip line 變形과 表面의 變形狀態에도 명백한 差異가 나타난다. Chip 生成過程에서 생긴 Chip 收縮으로 인하여 表面積이 減少하는 것은 不可能하므로 乾式切削部와 塗布部の Chip 表面은 다음과 같은 特徵을 갖게 된다.

乾式切削에서 Chip 表面은 Chip 收縮에 따라서 座屈하여 屈曲이 形成되고 Chip 内部에 갇아 들어간 屈曲低部の 원래의 表面은 垂直壓力을 받아서 단단히 壓着되어 있다. 한편 實際의 Chip 表面

을 形成하고 있는 屈曲上部는 自由表面으로의 塑性流動을 억제토록 作用한다고 생각된다. 垂直壓力에 의하여 自由表面의 方向에 交番으로 나타나는 2次的 流動形狀은 表面을 拘束한다고 생각된다. 이러한 심한 變形을 받으면서도 처음의 表面에 거의 龜裂의 發生을 同件하지 않는데 注目이 된다. 屈曲低部에서 切斷된 面을 볼 수 있다.

乾式切削部の Chip 表面은 座屈된 처음의 表面의 一部로 構成되어 있는데 反해 塗布切削部에서는 미끄러짐의 局部的인 集中에 의해 龜裂을 同件하고 齒狀의 表面을 만든다.

미끄러짐의 局部的인 集中은 물론 乾式切削에서도 座屈의 pitch마다에 나타나 있지만 塗布部에서는 이 不連續한 미끄러짐이 完全히 Chip 表面을 벗겨내어 이 pitch는 乾式切削의 pitch에 比하여 작은것이 特徵이다. 이러한 Chip 形態에는 미끄러운 剪斷變形을 하고 있다는 것을 보여준다. 以上과 같이 乾式切削部와 塗布切削部の 表面의 變形狀態에 커다란 差異가 있고 環境의 效果가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

또 乾式切削에서는 大規模의 屈曲을 同件한 Chip 表面을 보이고 있는데 反하여 塗布의 경우는 톱니形狀을 이루고 있는 것으로 미루어 兩表面은

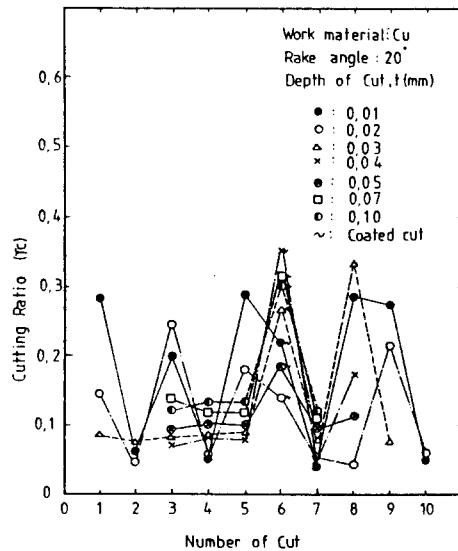


Fig. 4. Relation between cutting ratio

完全히 다른 過程을 通하여 形成되는 것이 分明하다. 이러한 複雜한 變形을 받으면서도 結果적으로 兩者 모두 精確한 平均 두께를 이루는 事實로 보아 表面의 變形機構도 平均 剪斷角의 決定에 重要한 部分이 됨을 알 수 있다.

Fig. 4는 每 切削깊이마다 切削回數에 따른 切削比의 變化를 나타내는데 여기서 6회째는 塗布部의 切削比로서 작게 나타날 것이라고 推定될 때에도 切削油劑의 影響으로 切削比가 크게 되어 切削比의 交番順이 變하였다.

3-2. 2次元切削에서의 切削抵抗

Fig. 5는 前述한 實驗方法에 依해서 加工物길이의 中間部分의 pre-cutting面에 切削油劑를 塗布하고 切削했을 때 乾式切削部와 塗布部와의 切削抵抗을 比較하기 위하여 切削깊이 0.04 mm, 傾斜角 20°에서 切削했을 때 記錄紙위에 나타난 乾式切削部와 塗布部에서의 切削抵抗을 보이고 있다. 乾式切削部에서는 切削抵抗이 서서히 增加하고 소위 過渡現象을 보이며 bite가 塗布部に 接近하면 급격히 切削抵抗이 減少하고 乾式切削部分에 이르면 다시 增加한다. 塗布部에서는 切削抵抗이 減少할 뿐 아니라 smooth한 切削進行現象을 보이고 있다. 이와같이 塗布材를 바르면 常用되는 切削油를 使用하는 것과 같은 效果를 보인다. 여기서 切削油劑의 效果가 엄밀히 被削材의 表面에 限定되는가 하는 점이 重要하다. 肉眼으로 보면 工具傾斜面이나 餘裕面에 侵入한 形跡은 全然 없지만 傾斜面의 潤滑機構가 完全히 解明되어 있지 않은 現 段階에서는 以上과 같은 現象만으로 表面環境의 影響이라고 推定하기는 어렵다. 즉 Chip生成過程에 있어서 Chip表面은 壓縮變形을 받아 橫方向에 平行한 주름이 發生하고, 表面에 液體가 있는 경우에는 毛細管現象에 의하여 傾斜面에 스며드는 現象은 쉽게 觀察된다. 이러한 微細한 주름이 發生되는 경우 表面의 破斷이 일어난다면 工具傾斜面과 같은 極히 活性한 新生面이 露出된다. 新生面의 物理的인 吸着은 10^{-6} 秒 정도 빠른것으로 알려져 있다.⁸⁾

예를들어 流動性이 없는 脂肪酸과 같은 吸着性이 強한 物質은 活性한 新生面을 擴散시켜 工具傾

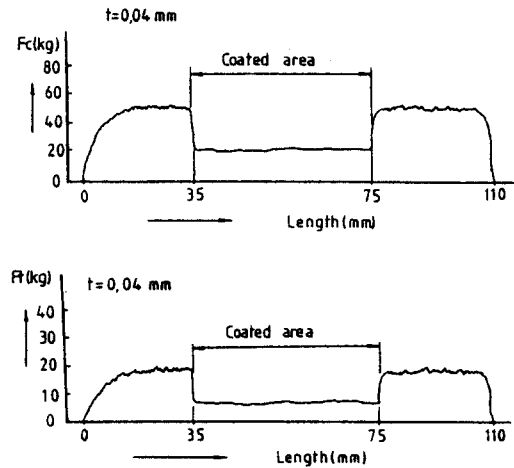


Fig. 5. Patten or cutting force in dry and coated cutting

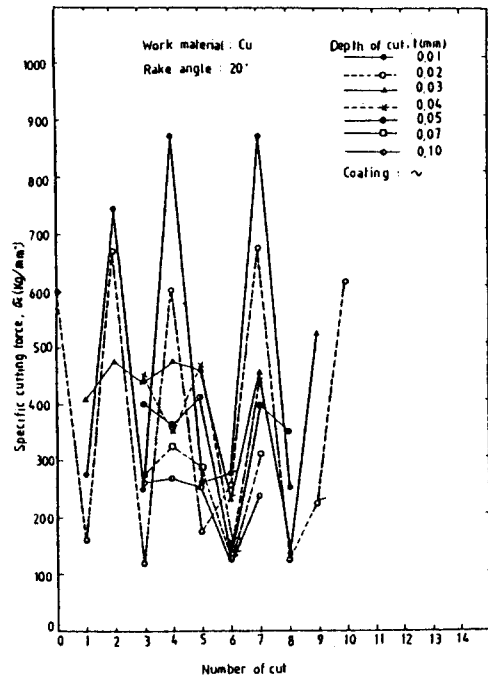


Fig. 6. Relation between specific cutting force and number of cut

斜면에 致達할 可能性을 豫상할 수 있다. 그러나 Fig. 5에서 切削抵抗이 급격히 減少하는 것은 위

같은 機構에 의한 浸入可能性이 작은 것을 나타낸다고 생각한다. 이 切削抵抗의 減少가 工具傾斜面 摩擦의 減少에 의한 것이라고 한다면 工具傾斜面의 매우 큰 領域에 걸쳐서 순간적으로 油劑가 浸入이 되어야 할 것이다. 우선, 그러한 浸入이 可能하다고 하여도, 역으로, 塗布部로부터 乾式切削으로 移動하는 경우, 吸着의 速度와 같이 순간적으로 切削油劑가 除去되어 깨끗한 傾斜面이 되기는 어렵다. 塗布材가 傾斜面에 影響을 미치는 가를 確認하기 위해서는 摩擦角 關係에서 後述하기로 한다.

Fig. 6은 切削回数에 따른 比切削抵抗과의 關係를 보이고 있다. 各 切削깊이에서 反復切削함에 따라 比切削抵抗의 變化가 交番順으로 나타나고 있다. 여기서도 切削깊이가 작아질수록 比切削抵抗은 현저히 減少되고 있음을 볼 수 있다.

3-3. 2次元切削에서의 切削機構

一般的인 切削油의 가장 重要한 效果는 工具傾斜面에서 摩擦係數를 減少시키는 것이다. 그러므로 加工物의 길이方向의 中間部分의 pre-cutting面에 切削油劑를 塗布하고 이 塗布劑가 工具傾斜面의 摩擦係數에 影響을 미치는 가를 調査하기

위하여 摩擦角과 切削깊이 사이의 關係를 觀察하였다.

Fig. 7은 摩擦角과 切削깊이 사이의 關係를 보이고 있다. Fig. 7에서와 같이 摩擦角은 切削

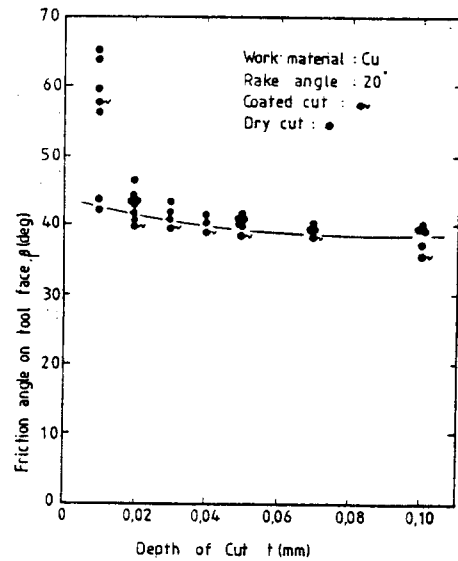


Fig. 7. Relation between friction angle and depth of cut

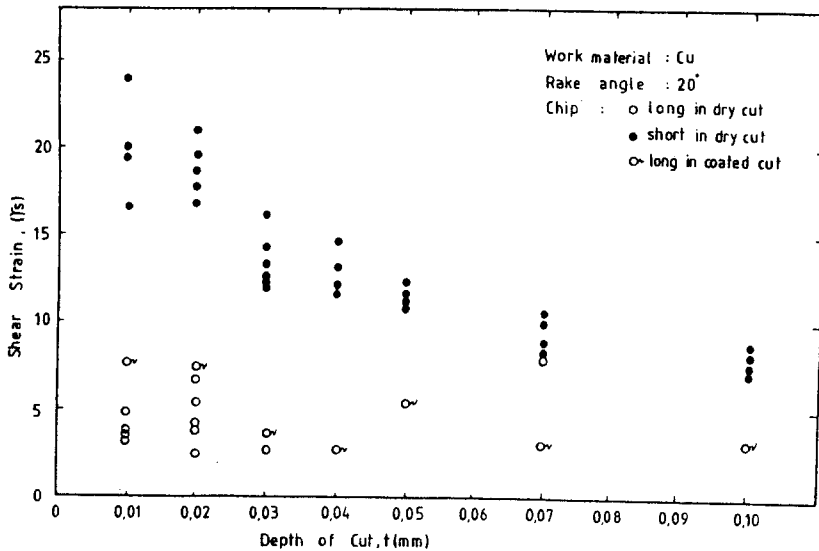


Fig. 8. Relation between shear strain and depth of cut

깊이의 影響이 거의 없고 切削油劑의 影響도 무시할 수 있을 정도이다. 즉, 油劑의 塗布가 工具傾斜面 潤滑에 도움을 주지 않음을 알 수 있다.

Fig.8은 切削깊이에 따른 剪断面에서의 剪斷變形率 變化關係이다. 各 切削깊이에서 數回 反復 切削하여 긴 Chip과 짧은 Chip이 交番으로 나타나 특히 微細切削일때 大小의 差가 현저하게 나타난다. 그리고 切削油劑를 塗布한 部分의 全領域에 걸쳐 剪斷變形率이 현저히 減少된것을 알 수 있다.

그러므로 전절에 있어서 切削抵抗이 減少하는 原因은 剪斷變形率이 減少하기 때문이라고 볼 수 있다. 즉 被削材의 脆化를 의미한다.

4. 結 論

本 研究에서는 Reh binder 效果가 큰 銅에 切削油劑를 表面塗布하고 低速 2次元 切削하여 考察한 切削機構의 變化는 다음과 같다.

1. Chip의 두께가 減少하고 Chip의 自由表面의 Slip Line Pitch가 乾式切削部에 比하여 작게 나타났다.
2. 切削比의 大小變化의 交番順이 變하였다.
3. 工具傾斜面의 摩擦角은 切削깊이와 切削油劑의 影響을 거의 받지 않았다.
4. 切削抵抗과 剪斷變形率이 현저히 減少하며, 이는 被削材의 脆化를 推定케 한다.

參 考 文 獻

1. Reh binder, P. A., "New Physico-Chemical Phenomena in the Deformation and Mechanical Treatment of Solids" Nature, Vol. 159, pp. 886, 1947
2. Merchant, M. E., "Fundamentals of Cutting Fluid Action" Lubrication Engineering, pp. 163, 1950(August)
3. Shaw, M. C., "On the Action of Metal Cutting Fluids at low Speeds Wear", Vol. 2, pp. 217, 1958
4. Eiji Usui, Amod Gujral and Shaw, M. C., "An Experimental study of the action of ccl in cutting are other processes involving Plastic Flow" Int. J. Mech. Tool Des. Res. Vol. 1, pp. 187, 1961
5. Barlow, P. L., "Influence of Free Surface Environment on the Shear Zone in Metal Cutting" Proc. Int. Mech. Engne. Vol. 181, pp. 687, 1967
6. 榊田勝美, 渡辺善次郎 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) 日本機械學會論文集 Vol. 38, pp. 3246, 1972.
7. 榊田勝美 外 2人 Ibid Vol. 42, pp. 307, 1976.
8. 山本鈴木, 切削油劑의 效果 pp. 42, 朝倉書店 (昭41).