

Clay가공에 있어서 Burr 생성기구에
관한 연구

양 균의*, 고 성림**

A Study on the Burr Formation Mechanism in Clay Machining

Gyun-Eui Yang*, Sung-Lim Ko**

Abstract

A burr has been defined as an undesirable projection of material formed as the result of plastic flow from a cutting or shearing operation. It is Unavoidable in all kinds of machining operation.

This paper describe the burr formation mechanism which is based on the behavior of work-piece material during orthogonal machining of the clay on the milling machine. Specially in this report the rollover burr is dealt as a specific case of the chip formation in the final stage of cutting. The negative shear angle is introduced as an important features of burr formation.

It is found that the burr formation process is divided into three stage-initiation, development of negative shearing, and formation of the burr with appropriate assumptions. Using above the burr formation mechanism, the size of burr can be estimated by cutting conditions.

Key Words

Burr Formation Mechanism (burr 생성기구), Clay Machining (Clay가공),
Negative Shear Angle (음의 전단각), Chip Formation (칩 생성),
Final Stage of Cutting (절삭종료단계), Size of Burr (burr 칫수)

* 전북대학교 공과대학 기계공학과 (총신회원)

** Graduate School of Mechanical Engineering, University of California-Berkeley, U. S. A.

(現) 대한중석광업주식회사, 초경사업부

1. 序 論

最近 NC 및 CNC(Computer Numerical Control) 工作機械의 使用이 增加함에 따라 切削加工이 점차 自動化 및 超精密加工으로 되어가고 있으나 모든 機械加工 및 剪斷作業에서 材料의 塑性流動으로 因해서 發生하는 burr는 製品의 精度向上 및 品質改善이라는 點에서 問題가 되고 있으며 이 burr生成은 궁극적으로 피할 수 없는 實情이다.

대부분의 경우 burr는 製品의 組立過程中에서 各 加工部品이 適切히 機能이 發揮되도록 除去되어야만 한다. 加工部品の deburring은 效率의으로 生産費를 節減하는데 있어서 主要 關心分野의 하나이며, 最近 産業界 뿐만 아니라 學界에서 非常한 關心이 되고 있다. 反面에 加工條件에 關聯시켜 burr生成機構에 對한 研究가 거의 없는 實情이다. burr生成 및 性質을 깊게 理解하는 것이 總生産費를 減縮하는데 主要한 열쇠중의 하나이다. 왜냐하면 deburring하는데 상당한 費用이 消費된다 한다. 그러므로 burr生成機構를 理解하고 費用 節減이라는 面에서 deburring 段階 대신에 生産段階에서 burr size를 豫測하고 制御하는 것이 바람직하다.

機械加工에서 burr生成 및 性質에 關한 研究는 punching에 의해서 生成되는 burr 높이에 對하여 Bi egel¹⁻³⁾ 등이 研究하여 왔다. 이들은 아무도 burr性質을 豫測할 수 있는 model을 開發하지 않았다. Mc Bridge⁴⁾는 EDM(Electrical Discharge Machine)에서 burr를 研究하였고 Zaimas⁵⁾는 drilling burr를 研究하였으나 역시 비슷한 한계에 그쳤다. 最近에 들어 Gillespie⁶⁻¹⁰⁾에 의하여 밀링, 선삭, 드릴링 등에 있어서 burr生成 및 여러가지의 deburring 方法에 對하여 研究하여 burr形態를 4種類로 分類하여 즉 poisson burr, rollover burr, tear burr 그리고 cut-off burr로 구분하여 burr生成機構에 對한 model을 굽힘모우먼트에 의하여 설정하였으나, 陰의 剪斷角에 對한 burr生成에 對해서는 전혀 다루고 있지 않아 실제로 實用化되고 있지 않은 實情이다.

한편 face milling에 있어서 離脫角의 영향이 burr 높이에 함수관계가 된다는 보고가 Pekelharing¹¹⁻¹²⁾ 등에 의하여 알려지고 있다. 또한 Pekelharing¹³⁾은 斷

續切削에 있어서 burr生成은 工具가 加工物 끝단에 다달았을 때 陰의 剪斷角 및 foot生成에 의하여 工具破損에 입각하여 burr生成의 유무를 구별하고 있다.

Klamecki¹⁴⁻¹⁵⁾는 Catastrophe理論을 이용하여 切削工具가 加工物 끝단에 다가왔을 때 剪斷角을 豫測하는 model을 설정하였다. 이는 burr生成基本機構를 정확히 밝히는 데도 미흡한 실정이다. 따라서 本論文에서는 rollover burr를 切削의 最終단계에서 칩生成의 특별한 상황에서 주로 다루고자 한다. 그러므로 칩生成機構가 終結부분에 이르렀을 때 陰의 剪斷角이 開始되어 burr生成이 發生되므로 이 burr生成機構를 규명하기 위하여 밀링머시인에서 2차원 clay 切削實驗의 관찰을 근거로 하여 최소에너지 원리와 變異點에서 에너지 보존법칙을 이용하여 burr生成基本機構를 조사 분석코자 한다.

2. 실험장치 및 방법

本 研究의 實驗裝置로서는 IBM PC(16Bit AT), 밀링머시인(bridgeport Co.) Panasonic video camera, Sony video tape recorder, TV monitor 및 polaroid camera등을 사용하였으며 Fig. 1은 實驗裝置의 개략도를 보여주고 있다.

本 實驗에 使用된 材料는 burr生成에 가장 용이한 시판되는 clay(Joly King plasticine modeling)를 加工材料로 선택하였다.

실험방법으로는 밀링머시인의 테이블 移送에 의해서 절삭속도를 변화시키고 또한 傾斜角이 -10° , 0° , 10° 로 변화시킨 2次元 木材 切削工具를 밀링머시인의 정지된 스펀들 구멍내에 부착 및 고정시키고 또한 clay시편을 테이블 위에 jig에 의하여 고정시켜서 切削하는 동안에 變形을 쉽게 관찰하기 위하여 clay측면에 간격이 0.5mm인 grid를 찍은 후에 program된 各 切削速度 및 切削깊이에 對한 컴퓨터 제어에 의하여 Fig. 1에서 보인바와 같이 테이블 移送에 따라서, 고정된 2次元 木材工具를 利用하여 2次元 切削實驗을 實施하였다. 그리고 각 clay시편마다 오직 1회 切削한 다음에 clay시편을 교체시켰다. 왜냐하면 한번 切削하면 clay시편에 burr가 生成되어 다음 切削實驗에 利用될 수 없기 때문이다. 한편 clay 材料는 취급하는

동안에는 습기를 잃지는 않았다. 왜냐하면 비취발성 석유화학 成分을 내포하기 때문이며 그 強度特性은 허용한도 内에서는 再生할 수 있으며 延性金屬의 強度特性과 유사하기 때문이다. 항온 室内溫度에서 實驗을 실시하였기 때문에 온도변화에 따른 強度變化는 문제가 없었다. Table.1은 본 實驗에 利用된 clay 切削條件을 기술하고 있다. 또한 절삭깊이對 절삭폭의

比는 평면변형도(plane strain) 조건을 유지하기 위하여 1/10이내로 하였다.

切削은 video camera와 Sony video tape recorder를 利用하여 녹화시켰다. 切削동안의 grid의 舉動은 實驗후 녹화된 tape를 再生시킴으로서 TV monitor를 통하여 분석되었다.

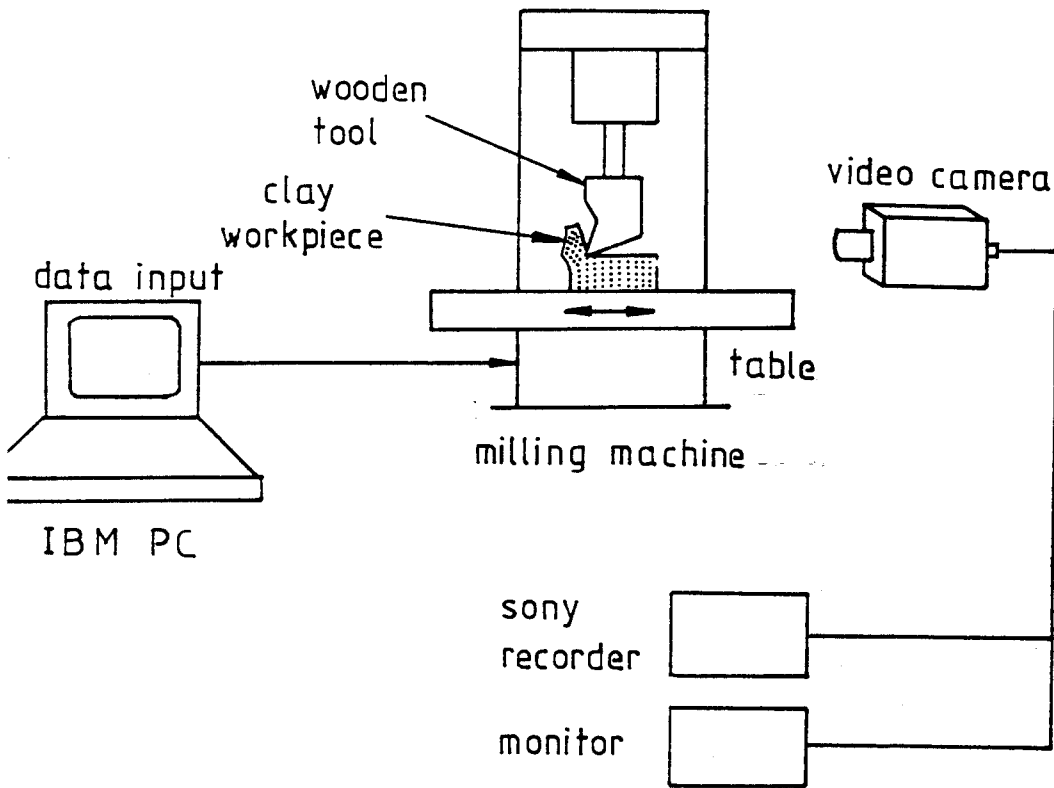


Fig.1 Experimental set-up of clay Machining

depth of cut	0.01", 0.08" (1mm , 2mm)
cutting speed	2,14 m/min (0.01 , 0.07 m/sec)
tool rake angle	10, 0 , -10 (deg)

Table 1. Cutting conditions of clay Machining

3. Clay 切削의 觀察

Burr生成機構를 조사하기 위하여 clay측면에 grid를 박은 후에 2차원 切削을 실시함으로써 切削하는 동안에 TV monitor를 통해서 clay의 舉動을 쉽게 觀察할 수 있었다.

많은 材料들이 塑性舉動을 보이고 있으나 clay만은 수분을 제거함으로써 塑性舉動이 파괴된다 한다. 따라서 oil과 같은 적당한 점성액체(viscous fluid)를 첨가함으로써 비소성적 재질내에서 수정된 형태의 cla

y가 개발될 수 있다고 한다. 그러한 첨가물은 材料의 塑性을 갖고 있지 않다고 한다.¹⁶⁾ 그러나 상업용 clay의 2차원 전단테스트를 利用하여 응력변형을 곡선이 연강의 거동과 비슷하게 clay거동에서도 나타난다고 Johnson¹⁷⁾은 제시하고 있다. 따라서 2차원 clay切削에서 burr생성과정을 정성적으로 觀察할 수 있다. 여러 切削條件에 따라서 많은 절삭실험을 수행했다. Fig. 2는 clay切削의 結果를 polaroid camera로 촬영한 사진을 보여주고 있다. burr生成 과정은 다음과 같이 3부분으로 구분할 수 있다.

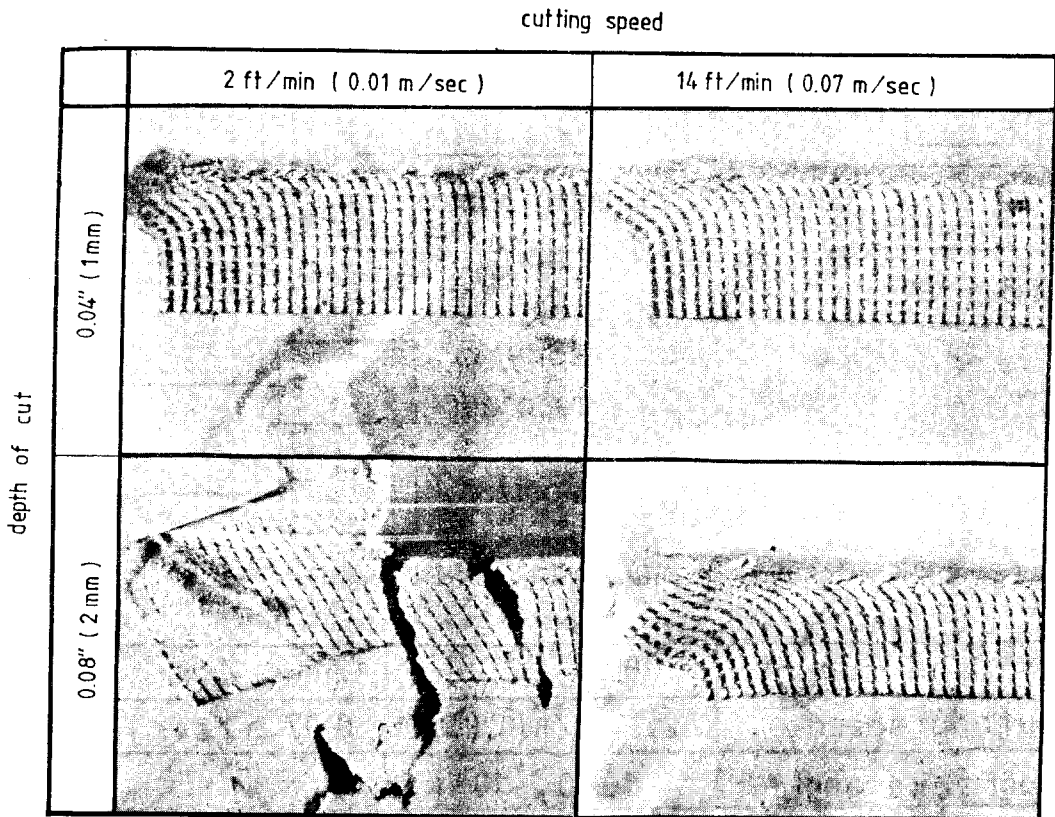


Fig. 2 Burr formation on clay (rake angle=0 deg)

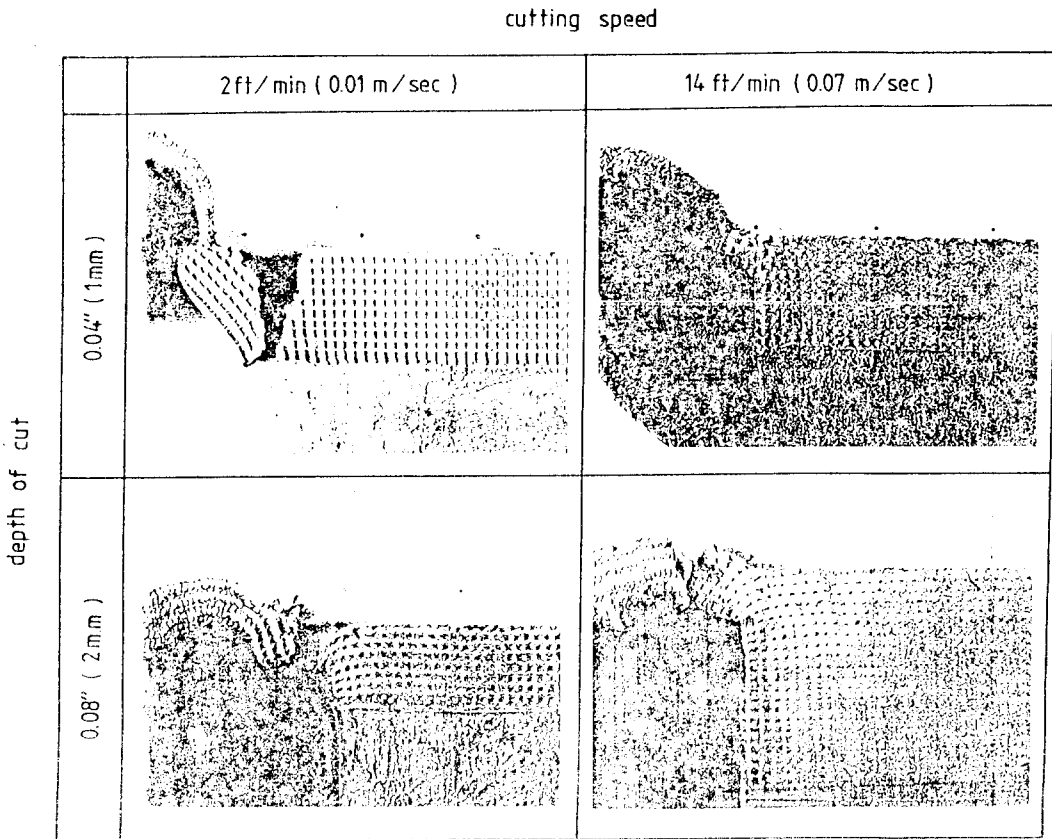
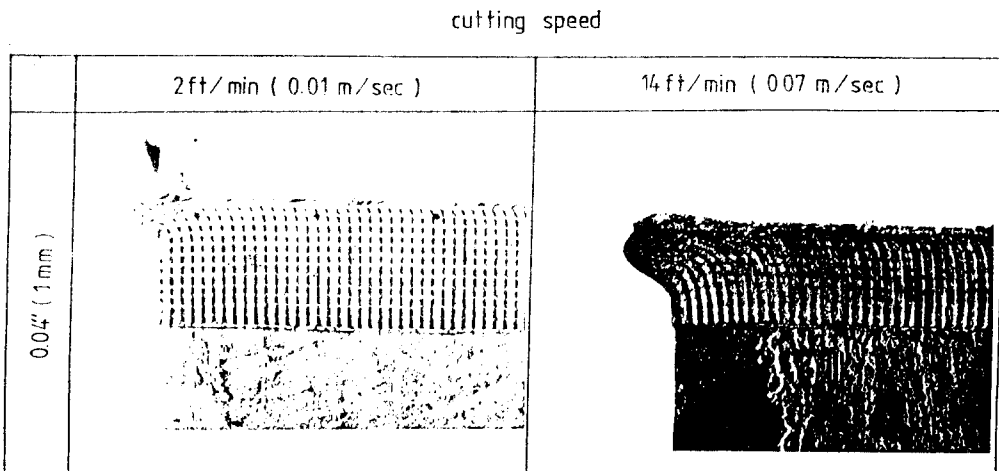


Fig. 2 Burr Formation on clay (rake angle = 10 deg)



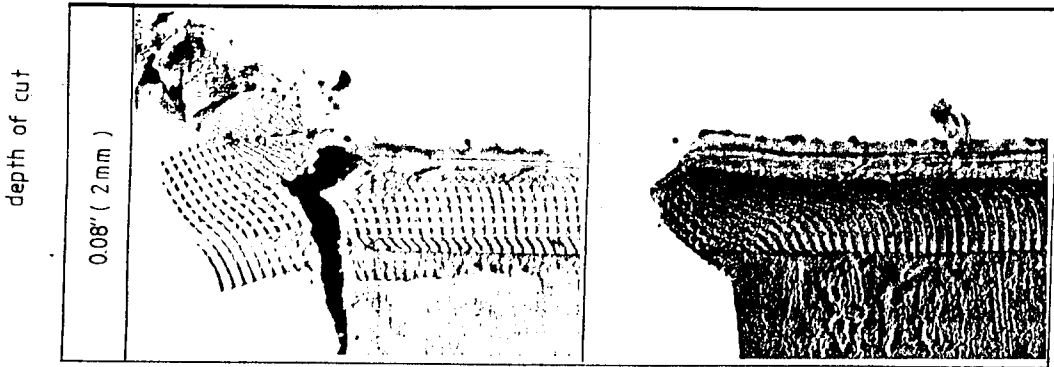


Fig. 2 Burr formation clay (rake angle = -10 deg)

3-1 陰의 剪斷의 開始

工具가 거의 加工物 끝단에 다달았을 때 칩생성이 중지되고 절삭방향 가공면 밑으로 소성변형 즉 陰의 剪斷이 시작되는 變異點이 존재한다. 이와 같은 變異 切削이 burr생성 model을 표현하기 위한 용어와 함께 Fig. 3에 표시되어 있다. 陰의 剪斷角(β_0)과 개시위치 즉 加工物 끝단으로부터 工具이송거리(ω)와 함께 Fig. 4에서 보인바와 같이 정의할 수 있다.

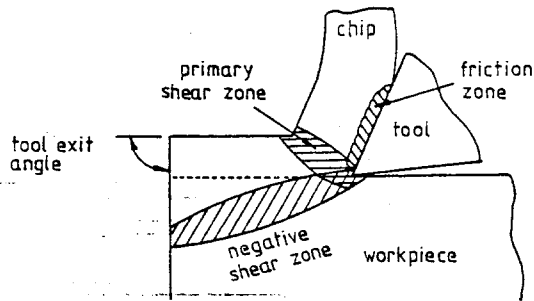


Fig. 3 Schematic Illustration at transient cutting state

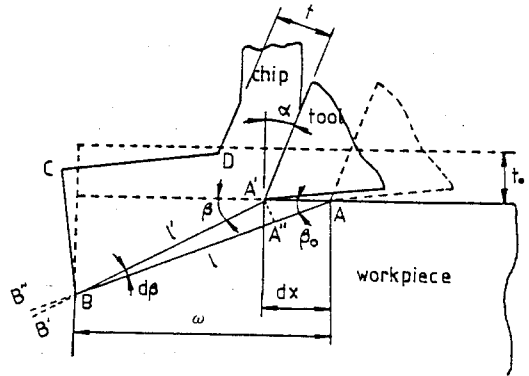


Fig. 4 Initiation of negative shearing

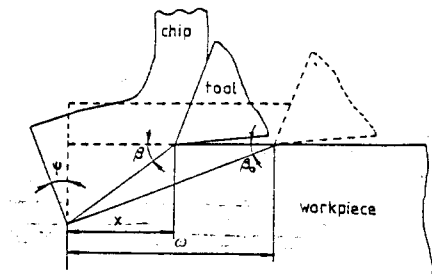


Fig. 5 Development of negative shearing

3-2 陰의 剪斷의 進展

陰의 전단면이 개시후에 공구이동이 계속되면서 음의 전단면은 또한 회전된다. 그래서 음의 전단각과 거리

에 있어서 변화가 있게 될 것이다.

그러므로 음의 전단각 β 는 더욱 음의 방향으로 진행 될 것이며 거리 x 는 Fig. 5에서 보인 바와 같이 감소된 다.

3-3 Burr生成

나지막으로 burr는 破壞를 수반하거나, 혹은 파괴 없이 生成된다. 왜냐하면 工具가 加工物 끝단에 다가왔을 때 變形도가 陰의 剪斷面에 따라서 증가하기 때문이다.

Fig. 6으로부터 grid A'BCD는 변형되지 않고 있으며 ABA' 부분에 있어서 A'B線上的 grid가 AB線上的 grid보다 심하게 변형되고 있다는 것을 관찰할 수 있다. 이와같은 관찰로부터 陰의 剪斷面 위의 부분은 剛體의 회전운동을 하고 있고, 陰의 剪斷面上的 變形도는 工具의 이동에 따라서 증가되고 있다고 말할 수 있다.

Burr生成과정 동안에 또 하나의 관찰을 할 수 있었다. 즉 앞서 서술한 바와 같이 初期의 burr生成은 初期의 陰의 剪斷角과 工具거리에 의해서 확인될 수 있다. 그리고 한번 초기 陰의 剪斷面이 形成되면 加工物 끝면을 가로지르는 陰의 剪斷面的 끝점(B)은 소성 hinge로서 작용될 것이다. 그래서 A'BCD부분은 B點 근처에서 회전한다.

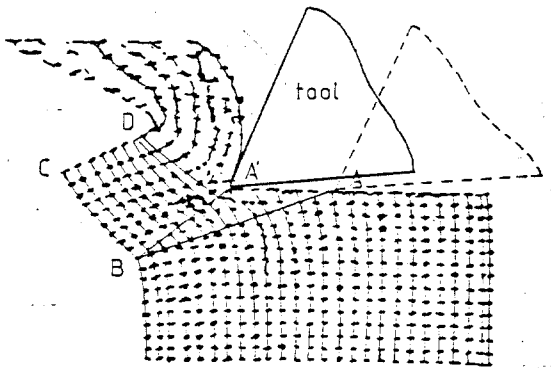


Fig. 6 Observation of Negative Shearing in Clay Machining (rake angle : 10°, 절삭깊이 : 2mm, 절삭속도 : 0.07m/sec)

4. Burr生成 Modelling

Clay切削의 관찰을 근거로 하여 설정된 몇가지의 假定을 이용하여 burr生成의 model을 구하였다.

4-1 Burr生成 開始

Burr形成이 시작될 때에는 burr生成은 初期 陰의 剪斷角과 加工物의 끝면으로부터 工具거리에 의해서 정의를 하고 있다. 그래서 2개의 방정식이 2개의 變數를 얻기 위하여 필요하다. 그러므로 工具가 거의 加工物 끝단에 다달았을 때 칩생성이 중지되고 陰의 剪斷이 시작되면 칩생성 하는데 행한 일량인 Merchant¹⁸⁾가 주장한 切削에 있어서 최소에너지가 陰의 전단에 행한 에너지로 전부 바뀌어지게 된다. 즉 變異點에서의 最少에너지 원리와 에너지 보존의 법칙이 이 값들을 얻기 위하여 이용된다.

칩生成에서 陰의 剪斷으로 變異하는 순간동안 工具에 의한 微少 進展거리 "dx"를 고려하면 칩生成에 행한 일량을 切削力連續性에 의해서 陰의 剪斷에 의해서 행한 일량과 같다고 假定할 수 있어 (1)式과 같이 놓을 수 있다.

$$\Delta W_{chip} = \Delta W_{burr} \quad (1)$$

여기서

ΔW_{chip} : 칩생성에 행한 일량

ΔW_{burr} : burr생성에 행한 일량

칩生成없이 "dx"에 의해서 工具가 움직일때 陰의 剪斷面이 또한 이동하기 때문에 평면 AB는 Fig. 4에서 보인 바와 같이 A'B로 변형된다. Fig. 4의 model을 이용하면 변형은 塑性剪斷變形인 A'B로 그리고 B點에서 hinge가 된 A'로부터 A'로 소성압힘으로 이루어지고 있다고 가정할 수 있다. B"點에서 B"點으로의 이동은 Fig. 7에서 정의한 burr반경 r을 형성케 하는 결과를 가져온다.

여기서 점 B는 剪斷面的 회전에 대한 고정점이라고 가정할 수 있다. 그러므로 陰의 剪斷으로 행한 일량은 다음과 같다.

$$\Delta W_{burr} = \Delta W_{b1} + \Delta W_{b2} \quad (2)$$

여기서

ΔW_{b1} : 塑性剪斷變形으로 인한 일량이다.

그리고, ΔW_{b2} : 塑性압힘으로 인한 일량이다.

절삭폭을 단위절삭폭이라 가정하면, 소성전단변형으로 인한 일량은 다음과 같다.

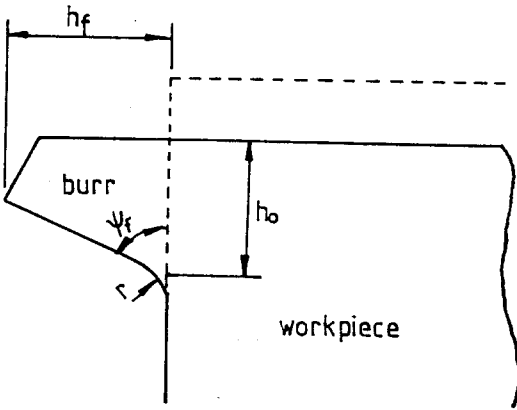


Fig. 7 Characterization of burr

$$\begin{aligned} \Delta W_{b1} &= F_s \cdot d_s \\ &= K_0 \cdot l (l-l') \end{aligned} \quad (3)$$

압힘의 彈性區域을 무시하면, B點에서 hinge가 된 평면 A'B로부터 응력분포는 Fig. 8에서 표시되고 있다. 여기서 소성압힘으로 인한 일량은 다음과 같이 놓을 수 있다.

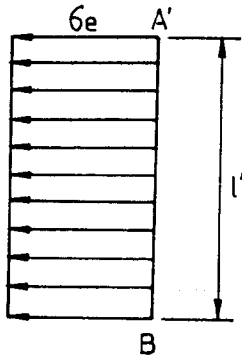


Fig. 8 Stress distribution along negative shear plane

$$\begin{aligned} \Delta W_{b2} &= M \cdot d\beta \\ &= 1/2 \sigma_e l'^2 d\beta \\ &= 1/2 \sigma_e l'^2 (\beta - \beta_0) \end{aligned} \quad (4)$$

그러므로 式(2)는 다음과 같이 (5)式으로 표시할 수 있다.

$$\Delta W_{burr} = K_0 l \cdot (l-l') + 1/2 \sigma_e l'^2 (\beta - \beta_0) \quad (5)$$

Fig. 4으로 부터 l , l' 그리고 dx 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} l &= \frac{\omega}{\cos \beta_0} \\ l' &= \frac{(\omega - dx)}{\cos \beta} \\ dx &= \frac{l}{\sin \beta} d\beta \end{aligned}$$

$\beta = \beta_0 + d\beta$ 이고 $d\beta$ 는 아주 작은값이라 가정하기 때문에 삼각함수의 項은 다음과 같이 대략화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \sin \beta_0 + \cos \beta_0 d\beta \\ \cos \beta &= \cos \beta_0 - \sin \beta_0 d\beta \end{aligned}$$

그리고 l' 와 dx 는 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$\begin{aligned} l' &= \frac{\omega}{\cos \beta_0} - \frac{\omega}{\sin \beta_0} d\beta \\ dx &= \frac{\omega}{\cos \beta_0 \sin \beta_0} d\beta \end{aligned}$$

위 式들을 (5)식에 代入하고, $d\beta$ 의 2차項 이상을 무시하면 (6)式으로 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta W_{burr} &= \sigma_e \cdot \omega^2 d\beta \left(\frac{K_0}{\sigma_0} \frac{1}{\cos \beta_0 \sin \beta_0} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2 \cos^2 \beta_0} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

주어진 절삭조건에서와 임의로 주어진 初期 工具移送거리 W 에서 初期 burr 生成은 最少에너지 원리^{18, 19)}를 만족하는 角度에서 陰의 剪斷面에 따라 發生되며 다음 (7)式과 같이 놓을 수 있다.

$$\frac{dW_{burr}}{d\beta_0} = 0 \quad (7)$$

(7)式은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\beta_0} \left(\frac{K_0}{\sigma_e} \cdot \frac{1}{\cos \beta_0 \sin \beta_0} + \frac{1}{2 \cos^2 \beta_0} \right) &= 0 \\ \text{혹은 (8)式과 같이 놓을 수 있다.} \\ \frac{K_0}{\sigma_0} (2 \sin^2 \beta_0 - 1) \cos^2 \beta_0 + \sin^3 \beta_0 \cos \beta_0 &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

(8)式에서 찾아볼 수 있는 흥미있는 사실은 初期陰의 剪斷角은 降伏剪斷強度對 降伏強度의 比에 左右되고 있다는 것이다.

만일 Von Mises 降伏條件式을 적용한다면 그 比는 $1/\sqrt{3}$ 로 항상 일정하다. 이와같은 경우에 있어서 주어진 재료와 임의의 초기 공구이송거리 ω 에 있어서 (6)式에 나타난 生成에 필요한 功량이 초기 陰의 剪斷角의 變化에 따라 Fig. 9에 나타나 있다. 컴퓨터에서 계산된 최소 功량은 약 34° 이지만 Fig. 9에는 예민하게 표현되어 있지 않다.

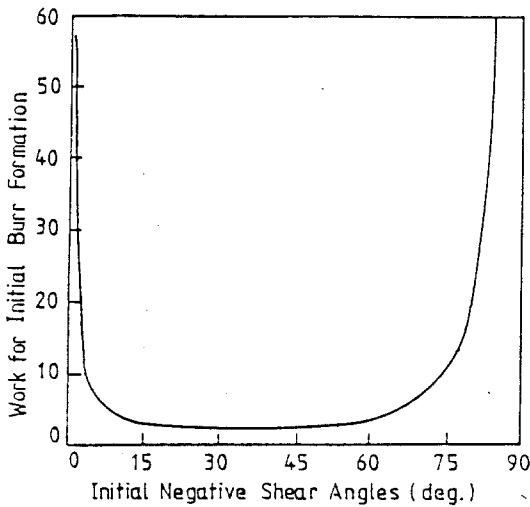


Fig. 9 Variation of work for Initial burr formaton

加工物 끝단으로부터 初期 工具까지의 거리인 ω 는 chip/burr 變異순간에서 切削力連續性의 假定을 이용하여 (1)式으로부터 얻어질 수 있다.

칩生成에 행한 功량은 다음 2부분으로 이루어진다.

$$\Delta W_{chip} = \Delta W_{c1} + \Delta W_{c2} \quad (9)$$

여기서 ΔW_{c1} 은 剪斷變形區域에서 행한 功량이다. 그리고 ΔW_{c2} 는 摩擦區域에서 행한 功량이다.

Merchant의 절삭 model로부터 剪斷變形區域에서 행한 功량(ΔW_{c1})과 마찰구역에서 행한 功량(ΔW_{c2})은 다음과 같다.

$$\Delta W_{c1} = F_s \cdot ds = K_s \frac{t_0}{\sin \phi} \cdot ds$$

$$\Delta W_{c2} = F_f \cdot df = s \cdot K_f \cdot L \cdot df$$

여기서,

ds : 工具가 dx이동할때 剪斷面에서의 移動量

df : 工具가 dx이동할때 工具面上에서의 칩의 移動量

t_0 : Fig. 2에서의 切削깊이

ϕ : 칩 生成의 剪斷角

K_s : 剪斷區域에서의 剪斷降伏強度

K_f : 摩擦區域에서의 剪斷降伏強度

L : 측정되어야 할 工具와 칩 사이의 접촉길이

S : 접촉부분에서 剪斷應力을 의미하는 인자

그리고 이 값은 각각 自由表面과 完全 sticking 摩擦條件에 대응하는 極限值 0과 1을 가진다. 그리고 切削 model의 도형으로부터 ds와 df는 다음과 같다.

$$ds = \frac{\cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} dx$$

$$df = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} dx$$

Wright²⁰⁾는 極限剪斷強度를 지닌 초기 剪斷面이 材料의 加工硬化로 인하여 降伏強度를 지닌 面으로 回轉하게 될 것이라는 사실을 이용하여 다음과 같이 剪斷角을 계산하였다.²⁰⁻²²⁾

$$\phi = 1/2 \sin^{-1} \left[\frac{2K_0}{K_1} \sin(45^\circ + \frac{\alpha}{2}) \cdot \right.$$

$$\left. \cos(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) - \sin \alpha \right] + \frac{\alpha}{2} \quad (10)$$

여기서 α 는 傾斜角이다. K_0 는 降伏剪斷強度이다.

그리고 K_1 는 Von Mises 降伏($K = \sigma/\sqrt{3}$)에 의하여 얻을 수 있는 極限剪斷強度이다.

이제, ΔW_{chip} 은 오직 한 변수 s로서 다음과 같이 (9)'式으로 놓을 수 있다.

$$\Delta W_{chip} = \frac{K_s \cdot t_0 \cdot \cos \alpha}{\sin \phi \cos(\phi - \alpha)} dx + \frac{K_f \cdot s \cdot L \cdot \sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} dx \quad (9')$$

剪斷變形區域에서變形은降伏剪斷強度와 같은 평면에 따라서 이루어지기 때문에²⁰⁾ K_s 는 K_0 와 같다. 왜냐하면 K_s 는 칩의剪斷強度이기 때문이다. 그것은加工物 材料의加工硬化效果로 인하여 K_0 보다 크다.

剪斷區域에서剪斷變形率 γ 는 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{\cos \alpha}{\sin \phi \cos(\phi - \alpha)}$$

그리고相當變形率은 다음과 같다.

$$\epsilon^p = \frac{\gamma}{\sqrt{3}}$$

일반적으로加工硬化式²³⁾은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_0 (\bar{\epsilon}_w + \bar{\epsilon}_x)^m \quad (11)$$

여기서 $\bar{\epsilon}_w$ 는前冷間加工硬化率이다. 그리고 $\bar{\epsilon}_x$ 는變形에 있어서 추가된變形率이다. 이와같은 경우에 있어서 만일 풀림이 된 材料를 사용한다면 $\bar{\epsilon}_w$ 는 무시될 수 있다. 그리고 $\epsilon_p = \epsilon_x$ 이며 m 은 각 材料에 따라實驗的으로 결정되어야만 된다. 그러므로 (11)式은 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_0 (\bar{\epsilon}^p)^m = \bar{\sigma}_0 \left(\frac{\gamma}{\sqrt{3}} \right)^m$$

그리고 대응되는剪斷強度는 다음과 같다.

$$K_f = \frac{\bar{\sigma}}{\sqrt{3}}$$

이 값을代入하고 $x = \omega$ 에서 칩生成에서 burr生成으로變異하는 순간에 있어서微小異量 dx 를 고려하면 (6)式과 (9)式을 (1)式에代入하여 정리하면 (12)式으로 놓을 수 있다.

$$\omega = \frac{\left[\frac{K_0 \cdot t_0 \cos \alpha}{\sin \phi \cos(\phi - \alpha)} \right] + \left[\frac{s \cdot L \cdot \bar{\sigma}_0 \cos^m \alpha \sin^{(1-m)} \phi}{3^{(1+m)/2} \cdot \cos^{(1+m)}(\phi - \alpha)} \right]}{\left(K_0 + \frac{1}{2} \sigma_e \tan \beta_0 \right)} \quad (12)$$

위式에서 s 는 오직 미지의 값이다. sticking區域에서 s 는 1이 된다. 그리고 sliding區域에서는 Fig. 10에서 보는 바와 같이 1보다 작게 될 것이다.

s 는 다음과 같이 서술할 수 있다.

$$sL = L_0 + \frac{1}{2}(L - L_0)$$

여기서 L_0 는 sticking區域의 길이이다.

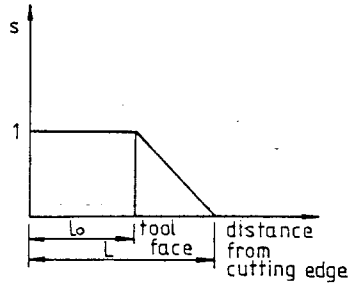


Fig. 10. Shear stress coefficient along tool chip interface

4-2 음의 전단면의 진전

Clay 切削實驗의觀察을 근거로 하여 한번陰의剪斷面이生成되고,加工物 끝면과 더불어陰의剪斷面이 교차하는 점을 하나의 소성 hinge로 작용한다고 가정할 수 있다.

끝단구역에서剛體回轉으로 인해 burr生成 동안에 비록 칩생성이 조금 존재한다고 가정할 수 있지만 그것은 무시될 수 있다.陰의剪斷面이進展하는 동안에 그面위의 burr부분은 소성 hinge에서 고정되어剛體로서回轉되고 있다.

Fig. 5 및 7의 도형으로부터 β , Ψ 그리고 h_r 는 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\omega}{x} \tan \beta_0 \right) \quad (13)$$

$$\Psi = \beta - \beta_0 \quad (14)$$

$$h_r = (t_0 + \omega \tan \beta_0) \sin \Psi \quad (15)$$

여기서 β_0 와 ω 는初期值이다.

4-3 Burr 生成

陰의剪斷面의進展결과로서 burr는 파괴를 수반하

든가 혹은 파괴없이 생성된다. burr는 파괴가 없는 경우에서 burr는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 높이 h_r , 두께 h_0 , 그리고 burr기울임각 Ψ 으로 명시될 것이다. burr높이와 두께는 소성hinge에 관한 가정을 이용하여 초기단계에서 다음과 같이 이미 결정된다.

$$h_r = (t_0 + h_0) \sin \Psi_r = (t_0 + \omega \tan \beta_0) \sin \Psi_r \quad (16)$$

여기서 t_0 는 절삭깊이이다.

工具가 $x < 0$ 에서 burr生成에 아무 영향을 미치지 않을 경우에 burr의 角度 Ψ_r 는 같은 가정을 이용하여 다음 (17)式으로 결정될 수 있다. 여기서 x 는 加工物 끝단에서 工具까지의 거리이다.

$$\Psi_r = [\beta - \beta_0]_{x=0} = 90 - \beta_0 \quad (17)$$

(12)式을 (16)式에 代入하면 절삭깊이 t_0 가 증가함에 따라 h_r 와 h_0 는 또한 증가한다.

만일 陰의 剪斷面에 따른 變形率을 變形하는 동안에 알고 있다면 파괴가 발생하지 않을지를 결정할 수 있다. 파괴의 경우에 있어서는 $\epsilon_{max} > \epsilon_r$ 가 된다.

여기서 ϵ_{max} 는 陰의 剪斷面에서 最大變形率이다. 그리고 ϵ_r 는 加工物의 破壞變形率이다.

5. 결 론

본 연구에서는 切削의 최종단계에서 재료의 거동을 관찰하기 위하여 2차원 clay 절삭실험에서 얻어진 결과를 바탕으로 하여 burr生成에 관한 機構를 해석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. clay 절삭의 관찰을 근거로 하여 burr 생성과정은 陰의 剪斷開始, 進展 그리고 burr生成의 3단계로 이루어지고 있다는 것을 알 수 있었다.

2. burr크기는 절삭조건, 공구형상 그리고 가공물 재료에 의해서 추정될 수 있다.

3. clay 절삭관찰을 근거로 한 burr모델은 실제가공에 있어서의 burr의 크기가 陰의 초기전단계와 가공물 끝단으로부터 결정될 것임을 제시하고 있다.

4. clay 절삭의 정성적인 관찰로부터 정량적인 burr 모델링이 이루어졌기 때문에 여러 가정의 정당성을 입증하기 위해서는 공구/칩 접촉길이를 측정할 수 있는

실제 재료에서의 2차원 절삭실험이 앞으로 이루어져야 할 것이다.

參考文獻

- 1) J. E. Biegel and R. e. Holmes, "Development of a Punchability Rating Method for Electrical steels", ASTM Research Report No. 30, Mar. 1, 1961.
- 2) H. Buhler and F. Pollmar, "The Formation of Burrs in the Cutting of Thin Sheet", Bander-Bleche-Rohre, Vol. 12, No. 3, Mar. 1971, pp. 105-111.
- 3) F. Strasser, "How Control of Burrs Aids Sheet Metal Samping", The Iron Age, Vol. 185, No. 3, Jan. 21, 1960, pp. 90-92.
- 4) J. N. Mc Bride, "The Mabnitude of Burrs Caused by Electrical Discharge Machning", MS thesis, Utah State University, Logan, Utah, 1969.
- 5) S. Zaima, A. Yuki and S. Kamo, "Drilling of Aluminium Alloy Plates with special Type Point Drill", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. No. 5, May, 1968, pp. 269-276.
- 6) L. K. Gillespie, "Deburring Capabilities and Limitations", SME, 1976.
- 7) L. K. Gillespie, "Advanced in Deburring", SME, 1978.
- 8) L. K. Gillespie, "Deburring technology for Improved Manufacturing", SME, 1981.
- 9) L. K. Gillespie, "Design Parts for Economical Deburring", handbook of production design for manufacturing, 1982.
- 10) L. K. Gillespie, and P. T. Blotler "The formation and properties of machining burrs", Tran, ASME, Feb. 1976.
- 11) A. J. Pekelharing, "The exit failure of cemented carbide face milling cutters, Part I-fundamentals and phenomenae", CIRP Vol. 33, 1984, pp. 47-50.

- 12) A. J. Pekelharing, "The exit failure of cemented carbide face milling cutters, Part II -testing of commercial Cutters" CIRP Vol. 33, 1984, pp. 51-54.
- 13) A. J. Pekelharing, "The exit failure in interrupted cutters", CIRP Vol. 27, 1987, pp. 5-10.
- 14) B. E. Klamecki, "Catastrophe theory model of Chip formation" Tran ASME, Vol. 104, Nov., 1982, pp. 369-374.
- 15) B. K. Klamecki, "Experimental verification of a catastrophe Theory Model of Metal Cutting Chip Formation", Trans, ASME J. of Eng. for Industry, Vol. 107, Feb., 1985, pp. 77-80.
- 16) Searle, A. B., "The Chemistry & Physics of Clays", D. Van Nostrand Company, New York, 1924.
- 17) Johnson, W. D., "Stress Vs Deformation Characteristics of Saturated Clay Adjacent to a Friction Pile", MS Thesis, University of California, Berkeley, CA, 1960.
- 18) M. E., Merchant, "Mechanics of the Metal Cutting Process II Plasticity Conditions in Orthogonal Cutting", J. of Applied physics, Vol. 16, June, 1945, pp. 318-324.
- 19) Dautzenberg, J. H., "The Minimum Energy Principle for the Cutting Process in Process and Experiment", Annals of CIRP, Vol. 30, 1981, pp. 1-4.
- 20) P. K. Wright, "Predicting the Shear Plane Angle in Machining from Workmaterial Strain-Hardening Characteristics", Trans, ASME J. of Eng. for Industry, Vol. 104, Aug, 1982, pp. 285-292.
- 21) G. W. Rowe., F. Wolstencroft, "A Mechanical Approach to the Metallurgy of Cutting", J. of the Institute of Metals, Vol. 98, 1970, pp. 33-41.
- 22) G. W. Rowe, P. T. Spick, "A New Approach to Determination of the Shear Plane Angle in Machining", Tran of the ASME, Aug, 1967, pp. 530-538.
- 23) J. Datsko, "Material Properties and Manufacturing Process", John Wiley & Sons, 1967.