

## 기계 가공면의 소성스트레인에 관한 연구

김태영\*, 소울영\*\*, 신희곤\*\*\*

### A Study on Plastic Strain in Machined Surface

Tae-Young Kim\*, Youl-Young So\*\*, Hyung-Gon Shin\*\*\*

#### ABSTRACT

Typical plastic strains in the machined surface are very difficult to measure, since they are located within a very short distance from the surface and they change very rapidly. There is an alternative way to determine the residual strain in plastically deformed materials by measuring the grain size after a subsequent recrystallization process. Although, this technique has been successfully applied by several researchers to find the plastic zone around notches and cracks in various materials and welding beads, few works have been reported using the recrystallization method to determine the residual strains in machined surface. Therefore, the purpose of this investigation is to explore the effectiveness of the recrystallization technique in machining applications, and in particular, to find the effect of cutting parameters, i. e., depth of cut, rake angle, on the plastic strains. As the result, the recrystallization technique was successfully applied to determine the plastic strain in machined surface.

**Key Words :** machined surface(기계가공면), plastically deformed layer(소성변형층), plastic strain(소성스트레인), surface integrity(표면성상), recrystallization technique(재결정법), metal cutting mechanism(금속절삭 메카니즘)

#### 1. 서 론

기계가공면의 품질은 표면조도, 경도의 변화, 조직의 변화, 잔류응력의 존재여부 등에 따라서 좌우되며 이러한 기계가공면(machined surface)의 특성 및 성질을 표면성상(surface integrity) (1, 2, 3)이라 한다. 최근 산업의 발달과 더불어 극심한 응력이나 온도등에서도 견딜 수 있는 기계부품의 사용이 빈번해지고 있으며, 또한 첨단기술이 요구되는 마그네틱 레코딩 헤드(magnetic recording head) 등 전자 부품의 초정밀 가공의 필요성

이 증대하고 있어 기계가공면의 품질향상을 위한 연구가 필수적으로 이루어져야 한다.

금속의 가공면에서 가장 중요시되는 변화중 하나는 소성변형으로써, 가공면에 잔류된 소성변형층(plastically deformed layer)은 피로강도(fatigue strength), 치수불안정(dimensional instability), 미소결함(micro crack), 응력 부식파괴(stress corrosion cracking) 등 기계부품의 물리적 특성에 여러가지 형태로 영향을 주고 있다. 이러한 물리적 성질 즉 표면성상은 높은 응력이나 극한 하중을 받는 부품의 설계시 더욱 중요시 되어

\* 전북대학교 공과대학 정밀기계공학과(정희원)

\*\* 전북산업대학교 기계공학과(정희원)

\*\*\* 전북대학교 대학원

야 한다.

그러므로 기계가공면에 생성되는 가공변형층의 깊이와 정도, 또한 전단 변형영역에서의 스트레인의 분포 및 크기를 정확히 평가하는 것은 기계가공면의 품질향상을 위해 중요한 하나의 과제이다.

지금까지 기계가공면의 표면성상과 기계가공면의 생성 거동, 소성경화층에 관한 많은 연구(4, 5, 6)가 있었고 소성스트레인(plastic strain)의 측정을 위한 많은 방법들이 이용되고 있으나 각기 그 특색을 달리하고 있으며, 여러가지 제한으로 완전한 소성스트레인의 평가에는 미흡한 실정이다. 금속절삭 실험에서 E. G. Herbert(1)가 연성재료의 금속을 절삭했을때 가공표면이 경화된다는 사실을 발표한 이래 C. Rubenstein<sup>2)</sup>은 선삭에 의해 생성된 표면 바로 아래층에서 가공경화층이 존재하고, 주 전단영역의 경계면에서 전단응력이 스트레인에 밀접히 관계됨을 논하였다.

또, A. E. Bayoumi와 M. N. Hamdan<sup>3)</sup>은 잔류 응력의 분포가 표면에서 소성변형에 의해 생성되는 가공경화의 영향과 회복, 재결정과 같은 열에 의해 연화되는 과정에 의존한다고 제시하였다. 또한 Oxley<sup>4)</sup>, Wright<sup>5)</sup>는 금속의 가공경화가 절삭과정에서 전단면각을 결정하는데 밀접한 관계가 있음을 발견했으며, D. Lee<sup>6)</sup>는 절삭 속도가 전단변형에 미치는 영향에 대하여 보고하였다.

표면성상의 측정기술에 관해서는 Field<sup>7)</sup> 등에 의해 보고되었다. 모아레(Moire) 기술, 광탄성 코팅(photo elastic coating), 또는 전기 저항 스트레인 게이지(electric-resistance strain gauge)가 소성스트레인을 측정하기 위한 일반적인 방법들이다. 이 방법들은 비교적 정밀하게 스트레인을 측정할 수 있으나 재료들의 내부 스트레인은 측정할 수 없는 단점이 있다. 가공면에서의 소성스트레인은 표면으로부터 매우 짧은 거리에 위치하여 있고, 매우 빠르게 변화하기 때문에 측정하기가 어렵다. 그러나 이를 측정하기 위하여 R. Ramaswami<sup>8)</sup>는 X-선 회절법(X-ray diffraction method)을 이용하여 재결정된 입자의 크기와 유동층에서 금속학적 변화를 보고했고, 최근에는 금속의 표면성상에 미치는 소성스트레인의 영향이 보고된 바 있다<sup>9)</sup>. 여기서는 금속의 변형을 재결정 과정후에 입자의 크기를 측정함으로써 소성적으로 변형된 재료들의 소성스트레인을 측정하는 방법을 선택하였다.

T. Shoji<sup>10, 11)</sup>는 금속 재료 크랙 주위에서의 스트레

인을 재결정법(recrystallization technique)을 이용하여 측정하였고, Iino<sup>12)</sup>, Suzuki<sup>13, 14)</sup>, 그리고 Kim<sup>15, 16)</sup>은 용접비드 주위에 형성되는 소성영역을 재결정법을 사용하여 측정하였으며, 노치시험편에서 소성적으로 변형된 영역의 크기를 구하였다.

여러 연구자들이 재결정법을 사용하여 성공적으로 용접비드, 노치, 그리고 크랙주위의 스트레인을 측정하였으나, 기계 가공된 표면과 전단영역에서의 소성스트레인을 측정하기 위해 사용하였다는 보고는 거의 없다.

본 연구에서는 기계가공면의 생성에 직접적인 영향을 미치는 전단영역에서의 소성스트레인의 해석을 재결정법을 이용하여 시도하고, 소성스트레인과 금속절삭 메카니즘과의 관계등을 규명, 검토하여 기계가공면의 소성스트레인을 평가하고자 한다.

## 2. 시험편과 실험장치 및 실험방법

### 2-1 시험편

본 실험에는 두께 25mm인 연강(SS41) 판을 사용하였다. Table 1은 사용된 연강의 화학적 성분과 기계적 성질을 나타내고 있다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of SS41 steel

(a) Chemical compositions (wt. %)

C	Si	Mn	P	S
0.18	0.252	0.84	0.018	0.012

(b) Mechanical properties

yield strength (kg/mm <sup>2</sup> )	tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	elongation (%)
34.8	51.5	43

본 실험에 사용한 시험편은 이차원 절삭을 위한 시험편과 인장시험을 위한 시험편으로 나누어 가공하였고 Fig. 1은 이들의 형상을 나타낸다.

### 2-2 실험장치

Fig. 2(a)는 본 실험에 사용된 실험기기의 외관이며, 급정지장치(quick-stopping device)의 형상을 Fig. 2(b)에 나타냈다.

실험에 사용된 기기로는 만능 밀링머시인(universal milling machine), 공구 동력계(tool-dynamometer), 차지 앰프(charge amplifier), 멀티 펜 기록계

(multipen recorder), 아날로그 디지털 변환기(A/D converter), 단인공구(single straight cutting edge tool), 전기 마이크로미터(electric-micrometer), 컴퓨터(Apple computer), 공구 현미경(tool-microscope), 급정지 장치등이며, Fig. 3는 실험장치의 개략도이다.

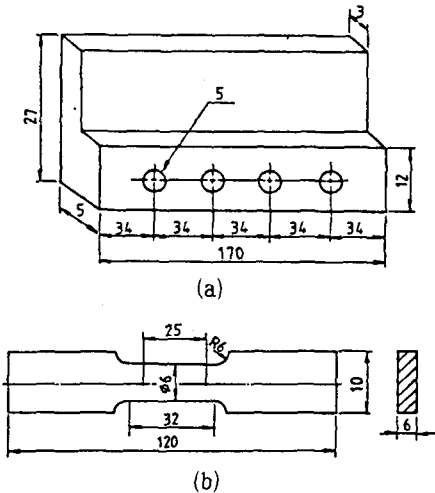
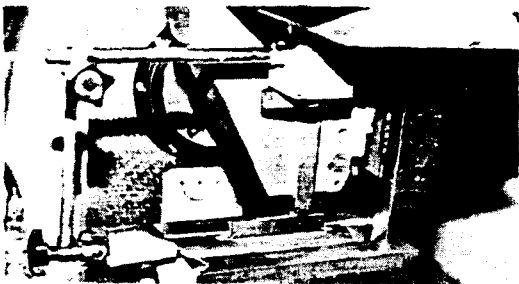


Fig. 1 Specimens of orthogonal cutting (a) and tensile test (b).



(a)



(b)

Fig. 2 (a) Experimental apparatus.  
(b) Quick-stopping device.

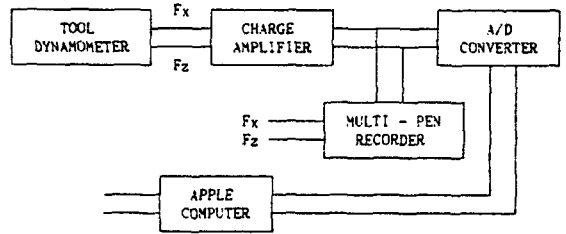


Fig. 3 The schematic diagram of experimental apparatus.

### 2-3 실험방법

#### 2-3-1. 입자크기와 소성스트레인과 관계

재결정법은 재료들을 일정조건으로 재결정 열처리함으로써, 변형된 영역의 소성스트레인을 쉽게 알아낼 수 있는 방법이다. 재결정 현상은 19세기 말 Z. E. Stead<sup>(17)</sup> (1898)가 최초로 발견하였으며, 이 재결정법은 소성변형영역의 크기를 정량적으로 결정하는데 적용되어 왔다<sup>(10-17)</sup>.

재결정된 입자의 크기는 어닐링(annealing) 전 조직의 축적된 에너지에 따라 달라지며, 축적된 에너지는 소성변형에 의해 생성되고, 소성스트레인의 증가에 따라 선형적으로 증가한다.

본 논문에 사용된 재결정법의 주요 세 단계는 다음과 같다.

- 1) 선명한 입자크기 분포를 알기 위해 선택된 재료에 대한 적당한 열처리 온도와 지속시간의 선택.
- 2) 열처리된 재료에서 재결정 입자의 크기와 소성스트레인 사이의 정량적인 관계를 결정하기 위한 인장 시험편의 테스트. 이 단계에서 소성스트레인과 입자크기 사이의 관계를 보여주는 교정곡선을 얻는다.
- 3) 소성적으로 변형된 영역에서 입자크기의 측정과 2) 단계에서 얻어진 곡선을 사용하여 입자크기로부터 소성스트레인 값 결정.

열처리 온도와 지속시간은 몇가지 조건으로 실험함으로써 최적의 것을 선택하였다. 즉 여러개의 시험편들을 로크웰(Rockwell) 경도 시험기로 압흔하여 아르곤(Argon) 중에서 각각 다른 온도들과 지속시간들을 사용하여 열처리하였다.

압흔주위에서 가장 선명한 입자를 확인할 수 있는 열처리 조건을 위의 실험들로부터 선택하였다. Fig. 4는 본 실험에서 최적의 조건으로 선택된 720°C × 6hr으로 열처리한 압흔주위의 재결정된 조직의 사진이다.

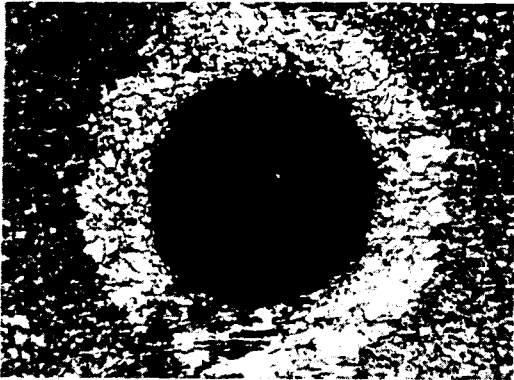


Fig. 4 Recrystallized microstructure around indentation. (SS41 steel, 720°C×6hr)

다음으로 인장실험은 입자크기와 소성스트레인 사이의 관계를 결정하기 위해 실행하였다. 용량이 10ton인 인스트론(Instron) 인장시험기로 상온에서 파괴될 때까지 인장하고, 다음에는 1) 단계에서 선택된 조건들로 재결정 열처리하였다. 그 후 축방향으로 중심부를 절단하여 입자크기 분포를 알기위해 신중히 연마(polishing)하고, 4% Nital로 부식하여 조직을 윤곽 투영기(profile projector)와 금속현미경으로 관찰하였다. 이 관찰로부터 재결정이 생기는 최소의 변형  $\epsilon_{cr}$ , 재결정임도 D와 진스트레인  $\epsilon$ 와의 관계를 정량적으로 구하였다.

진스트레인 (true strain)  $\epsilon$ 는

$$\epsilon = \ln \frac{A_0}{A} = 2 \ln \frac{d_0}{d}$$

로 계산된다.

여기서  $A_0$ ,  $d_0$ : 파단 전 시험편의 단면적과 직경

$A$ ,  $d$ : 파단 후 시험편의 단면적과 직경이다.

측정의 정확성을 위해, 임의의 선분의 길이  $L$ 에 놓여 있는 입자들의 수를 계산하는 선형적 분석을 사용하였다.

입자의 크기  $D$ 는

$$D = L/B \text{이고,}$$

여기서  $L$ : 임의의 선분의 길이

$B$ : 재결정 입자와 임의의 선분이 만나는 점의 수이다.

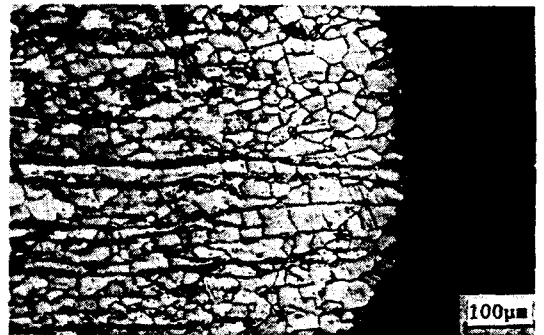
여러 위치들에서 스트레인과 입자크기들의 측정을 반복하므로써 스트레인과 입자들 사이의 관계를 보여주는 교정곡선을 얻을 수 있다. Fig. 5는 이들 인장시험편으로부터 얻은 조직사진들이며 3장에서 상세히 고찰한다.



(a) Plastic strain  $\epsilon=0.109$



(b) Plastic strain  $\epsilon=0.429$



(c) Plastic strain  $\epsilon=1.25$

Fig. 5 Micro-structures in the tensile specimen strained to various amount of true strains  $\epsilon$  and annealed at 720°C for 6hr. (SS41 steel)

Fig. 6은 SS41강의 교정곡선을 나타냈고  $\epsilon$ 의 범위가 0.109~1.25까지였다.

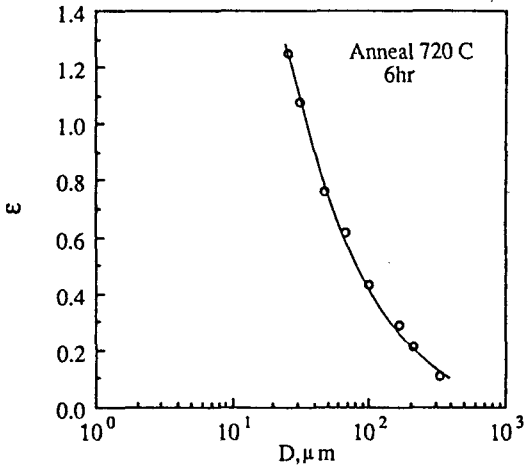


Fig.6 The relation between true strain  $\epsilon$  and recrystallized grain size D. (SS41 steel)

2-3-2 절삭실험

기계 가공면에서의 소성스트레인 측정에 재결정법의 적용성을 평가하기 위해 절삭실험을 행하였다. 절삭변수들, 즉 절삭깊이와 경사각의 변화에 따라 전단영역에 생성된 소성스트레인의 변화를 관찰하였다.

본 논문에 사용된 절삭이론은 F. W. Taylor<sup>(18)</sup>가 금속절삭 메카니즘의 해석에 과학적 방식을 적용한 이래 M. C. Shaw<sup>(19)</sup>, M. Kronenberg<sup>(20)</sup>, M. E. Merchant<sup>(21)</sup> 등에 의해 이론적 및 실험적으로 확립한 이차원 절삭이론을 적용하였다.

a) 절삭변수들의 영향

Fig. 2에서 보는바와 같이 만능 밀링 머시인의 아버 크크(arbor yoke)에 소형 바이스를 고정한 후 2차원 절삭을 행하였다. Fig. 3의 개략도에서 보여주는 것과 같이 공구 동력계에 증폭기를 연결시켜 아날로그 디지털 변환기를 통하여 컴퓨터에서 절삭력을 계산하고 멀티 펜 레코더에서 기록하였다. 컴퓨터에 의해 절삭력을 계산할 때 주분력과 배분력은 보정(calibration)하여 절삭력을 측정하였다.

또 절삭깊이는 정도가 0.1μm인 전기 마이크로미터를 사용하여 0.05~0.2mm로 변화시키면서 절삭하였고 공구의 경사각(rake angle)은 -10°~20°로 변화시키면서 절삭하였다. 실험을 행하기 전에 시험편 가공시 생긴 응력, 불균일등을 제거하기 위해 0.05, 0.04, 0.03, 0.02, 0.01mm의 순으로 절삭깊이를 주어 석유를 절삭

유로 사용하여 각각 가공하고 아세톤(acetone)으로 시험편과 공구에 묻어있는 석유를 제거한 다음 0.01mm의 절삭깊이로 다시한번 가공한 후 절삭 실험을 실시하였다.

전단변형역에서의 소성스트레인을 관찰하기 위해 급정 지장치를 이용하여 칩(chip)을 절삭면으로 부터 분리시키기 전에 보존시켰다. 절삭속도는 0.507m/min로 일정하게 하였고, 재결정 조건은 720°C에서 6시간으로 선택하였다.

Table 2는 본 실험의 절삭조건을 나타낸 것이다.

Table 2 Cutting conditions

Work material	SS41
Width	3 mm
Tool	Single Straight Cutting Edge SKH 9
Rake angle	-10~20 deg
Clearance	5 deg
Radius of cutting edge	less than 2 μm
Cutting speed	0.507 m/min
Depth of cut	0.05~0.2 mm

b) 절삭시험편의 소성스트레인 측정

각 절삭조건으로 절삭전 절삭시험편을 인장시험편과 동일한 재결정 열처리 조건 720°C, 6시간으로 아르곤 분위기에서 열처리한 다음 길이방향으로 가공면에 수직이 되도록 중앙부를 절단한 후 연마하였다. 그 뒤 4%의 Nital로 부식하고 카메라를 부착시킨 현미경으로 100배 확대하여 사진을 촬영하였다. (Fig. 7)

이 사진으로부터 재결정 입도 D를 측정하고, 교정곡선으로부터 진스트레인  $\epsilon$ 를 구하였다.

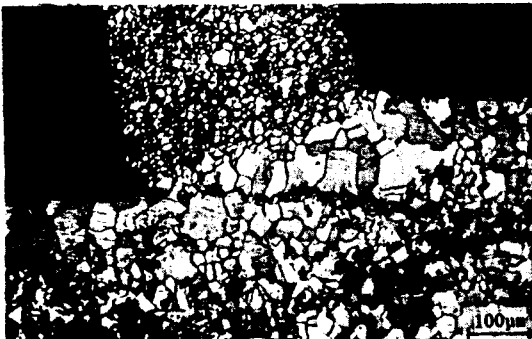
본 실험에서, SS41강은 전단영역에서 칩과 소성변형된 영역의 경계면을 기준으로 각 시험편 공히 약 40μm인 곳의  $\epsilon$ 값을  $\epsilon_a$ 라 하여 자료분석에 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

SS41강의 인장시험편을 재결정 열처리하여 얻은 재결정 조직들을 Fig. 5에서 보여준다. Fig. 5(a)는 파괴된 표면으로부터의 가장 멀리 떨어져 작은 스트레인 값과 가장 큰 입자 구조를 가짐을 보여주며, Fig. 5(b)는 중간 부분, Fig. 5(c)는 파괴표면 부분으로 큰 스트레인 값과 작은 입자를 관찰할 수 있다. 재결정 입자의 크기



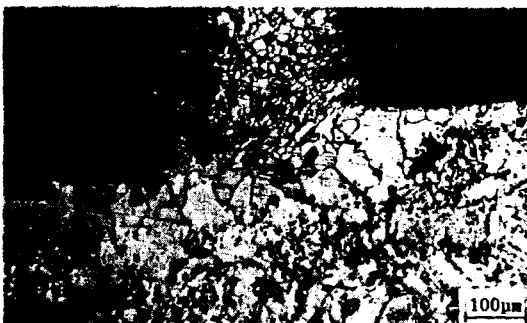
(a) Rake angle = 20° Depth of cut = 0.15mm



(b) Rake angle = 10° Depth of cut = 0.1mm



(c) Rake angle = 0° Depth of cut = 0.15mm



(d) Rake angle = -10° Depth of cut = 0.05mm

Fig. 7 Micro-structures of mechanically strained zone.

와 소성스트레인과과의 관계는 Fig. 6에서 보여준다. 입자 크기와 스트레인 값들 사이의 일대일 대응의 관계에 있으며, 이 교정곡선은 기계가공된 시험편의 전단영역들에서 소성스트레인을 결정하기 위해 사용되었다.

Fig. 7은 절삭시험편을 각 절삭조건으로 급정지장치(quick stopping device)로 절삭한 뒤 720°C, 6시간으로 아르곤 분위기에서 열처리 한 후 길이방향으로 중앙부를 전단휠(cut-off wheel)을 이용하여 절단한 다음 단면을 연마하고 부식시켜 현미경 관찰한 사진으로써, 소성변형을 받은 부분은 재결정이 분명히 나타남을 보여주고, 각 절삭조건에 따라 재결정 조직들이 확실히 다름을 알 수 있다. 절삭깊이가 깊어질수록 변형층이 넓어지고 큰 재결정영역이 생성된다. 또한 이것은 재결정법이 전단영역에서 소성스트레인의 변화를 매우 잘 구별할 수 있다는 것을 증명한다.

Fig. 7에서 보여준 것과 같이 전단영역에서 칩과 소성변형된 영역의 경계면을 기준으로 소성변형된 영역의 크기를  $R_x$ 라 하고, 절삭깊이  $t$ 와  $R_x$ 와의 관계를 도시하면 Fig. 8과 같다. 이로부터 같은 경사각에서 절삭깊이가 증가하면  $R_x$ 도 증가하고, 또 같은 절삭깊이에서 경사각이 작은 경우가  $R_x$ 는 큰 값을 가짐을 알 수 있다.

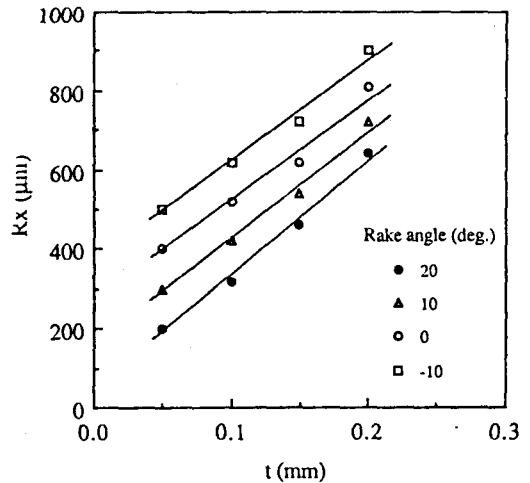


Fig. 8 The relation between plastic zone size  $R_x$  and depth of cut  $t$ .

Fig. 9는 절삭깊이  $t$ 와 전단영역에서의 칩의 입자와 소성변형된 입자의 경계면을 기준으로 40 $\mu\text{m}$ 인 곳에서 구한 진스트레인  $\epsilon_a$ 와의 관계를 도시한 것으로 동일 절삭깊이에서 경사각이 작을수록  $\epsilon_a$ 는 커지며 동일 경사각

에서 절삭깊이가 커지면  $\epsilon_a$ 는 증가한다. 그러나 절삭조건이 본 실험의 절삭조건보다 더 중절삭하는 쪽으로 되어도  $\epsilon_a$ 는 더이상 커지지 않게 되는데 이는 한계치인  $\epsilon=1.25$ 에 수렴하게 되기 때문이다.

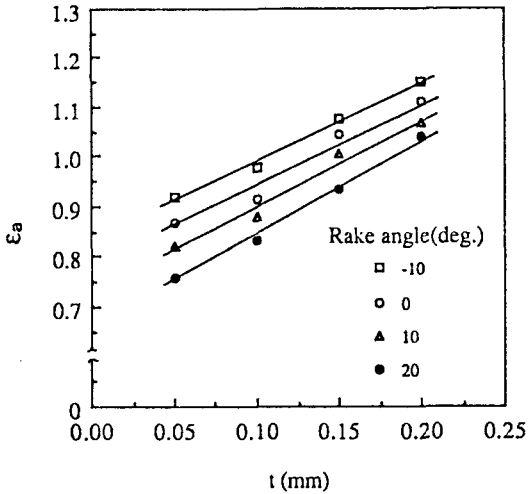


Fig. 9 The relation between true strain  $\epsilon_a$  and depth of cut  $t$ .

Fig. 10은 경사각  $\alpha$ 와 진스트레인  $\epsilon_a$ 와의 관계를 도시한 것으로 경사각이 증가하면 동일 절삭깊이에서  $\epsilon_a$ 가 감소함을 보이고 동일 경사각에서는 절삭깊이가 커질수록  $\epsilon_a$ 가 증가하는 것을 볼 수 있다.

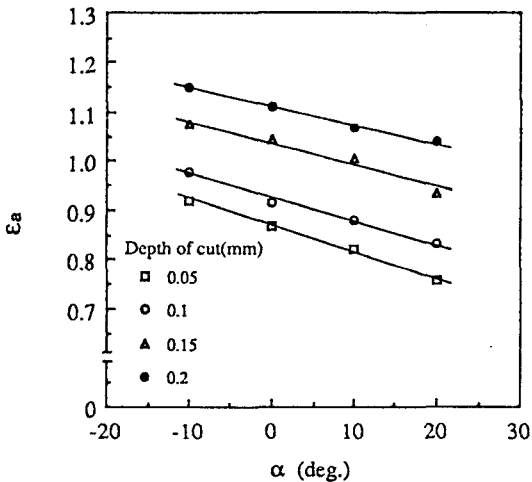


Fig. 10 The relation between true strain  $\epsilon_a$  and rake angle  $\alpha$ .

Fig. 9와 Fig. 10은 절삭변수들과 소성스트레인 사이의 관계가 둘 모두 선형적이며 깊은 절삭이 전단영역에서 큰 스트레인과 깊고 넓은 소성층을 생성한다. 큰 경사각과 작은 절삭깊이 둘 다 절삭공구 앞쪽의 주 변형영역에서 소성변형의 영역을 감소하고 소성적으로 변형된 층의 깊이를 감소시킨다. 이 발견들은 앞서 발표된 논문의 결과들과 일치한다. Haslam과 Rubenstein<sup>(22)</sup>은 표면경도와 가공경화층의 깊이가 칩 두께의 증가와 경사각의 감소로 인해 증가한다는 것을 발견하였다.

Fig. 11은 절삭력  $F_c$ 와 진스트레인  $\epsilon_a$ 와의 관계도 도시한 것으로  $F_c$ 가 증가하면  $\epsilon_a$ 도 따라서 증가하고  $F_c$ 가 감소하면  $\epsilon_a$ 도 작아짐을 볼 수 있다.

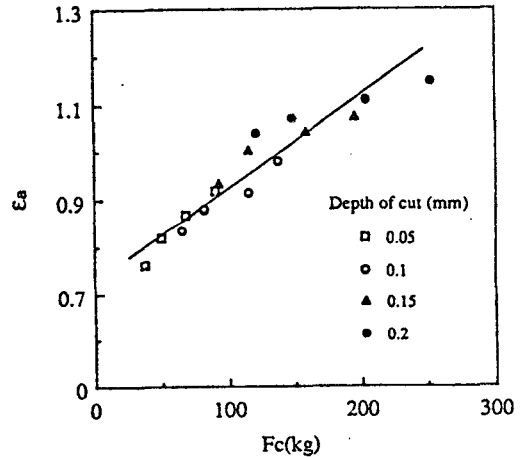


Fig. 11 The relation between true strain  $\epsilon_a$  and cutting force  $F_c$ .

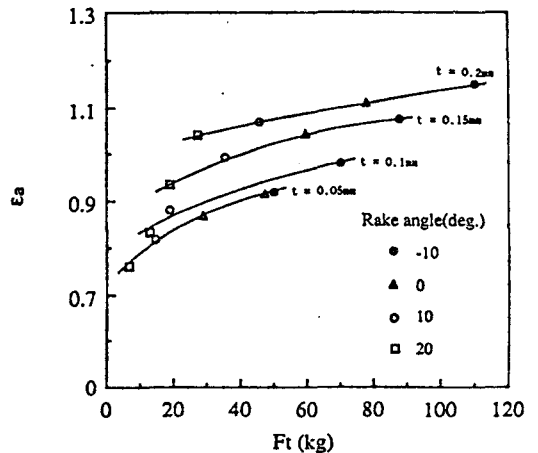


Fig. 12 The relation between true strain  $\epsilon_a$  and thrust force  $F_t$ .

Fig. 12는 배분력(thrust force)  $F_t$ 와 진스트레인  $\epsilon_a$ 와의 관계를 경사각과 절삭깊이에 대해 도시했는데  $F_t$ 가 커지면  $\epsilon_a$ 도 커지고  $F_t$ 가 작아지면  $\epsilon_a$ 도 작아진다. 또 절삭깊이가 0.05mm인 곡선보다 0.2mm인 경우가 수평선에 근접하게 된 것은  $\epsilon$ 의 한계치에 근접하는 절삭조건이기 때문이다.

이상과 같은 결과들은 절삭조건에 따른 절삭 에너지의 변화로 인한 결과라고 생각되어  $\epsilon_a$ 와 절삭에너지와의 관계를 도시하면 다음과 같다. Fig. 13은 전단면상의 단위 전단에너지  $u_s$ 와 진스트레인  $\epsilon_a$ 와의 관계를 경사각과 절삭깊이에 대해 도시했는데 경사각이 일정할 때 절삭깊이가 증가하면  $u_s$ 는 감소하나  $\epsilon_a$ 는 증가하는데  $u_s$ 가 감소하는 것은 크기효과(size effect) 때문이라 추정된다. 또 절삭깊이가 일정할 때 경사각이 감소하면  $u_s$ 도  $\epsilon_a$ 도 증가한다. 소성스트레인의 크기에는 경사각과 절삭깊이가 다같이 큰 영향을 미친다는 것을 볼 수 있다.

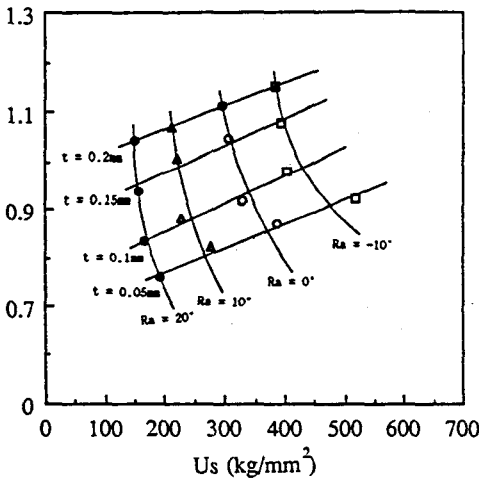


Fig. 13 The relation between true strain  $\epsilon_a$  and unit shear energy on the shear plane  $u_s$ .

Fig. 14는 단위체적을 절삭하는데 필요한 전에너지  $u_t$ 와 진스트레인  $\epsilon_a$ 와의 관계를 도시한 것으로 경사각이 일정할 때 절삭깊이가 증가하면  $\epsilon_a$ 는 증가하나  $u_t$ 는 감소하는데 이 역시 크기효과 때문이라 추정된다. 또 절삭깊이가 일정할 때 경사각이 감소하면  $u_t$ 도  $\epsilon_a$ 도 공히 증가하게 된다.

Fig. 15는 단위체적을 절삭하는데 필요한 전에너지  $u_t$ 와 소성변형된 영역의 크기  $R_x$ 와의 관계를 도시한 것으로 경사각이 일정할 때 절삭깊이가 증가하면  $u_t$ 는 감소

하나  $R_x$ 는 증가하고, 절삭깊이가 일정할 때 경사각이 감소하면  $u_t$ 와  $R_x$ 는 공히 증가하게 된다.

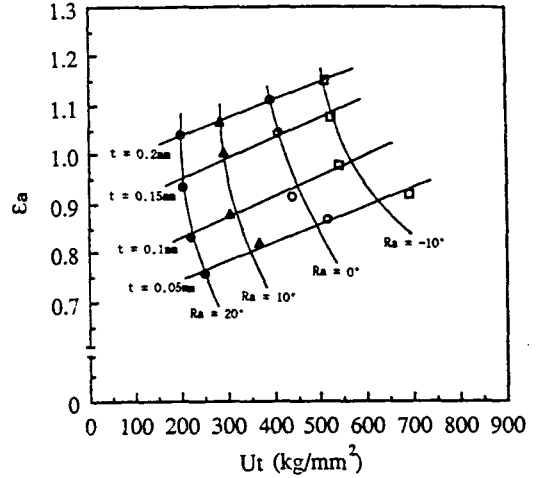


Fig. 14 The relation between true strain  $\epsilon_a$  and unit total energy  $u_t$ .

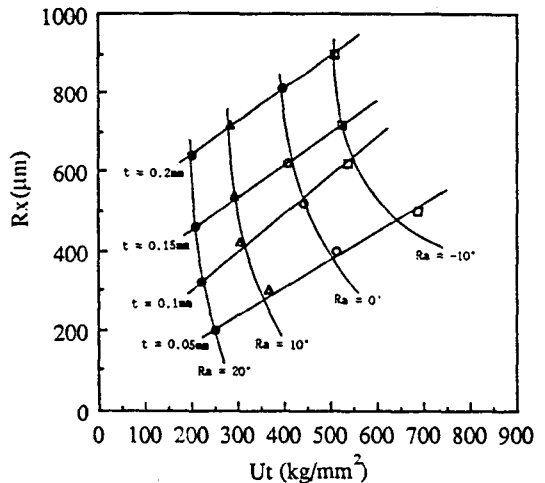


Fig. 15 The relation between plastic zone size  $R_x$  and unit total energy  $u_t$ .

이상의 결과들을 종합해 보면 기계가공시 형성되는 소성스트레인은 각 절삭조건에 따라 크게 영향을 받으며, 본 연구에서 시도한 재결정법을 이용하여 쉽게 측정할 수 있음을 알 수 있다. 아울러 전단 변형역 등에서의 좀 더 신뢰성 있는 소성스트레인들이 측정될 때 기계가공면의 정확한 평가가 이루어지리라 생각된다.



#### 4. 결 론

이상의 실험결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 재결정법은 가공된 표면뿐만 아니라 전단영역에서도 소성스트레인을 측정하는데 사용되며, 이 방법은 가공시 생성되는 소성변형된 영역의 크기를 아는데 성공적으로 적용된다.
2. 절삭 변수들, 즉 절삭깊이와 경사각등이 전단영역에서의 소성스트레인에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.
3. 소성영역의 크기  $R_x$ 는 절삭깊이가 커짐에 따라 증가하고 경사각이 커짐에 따라 감소하며, 절삭깊이가 커질수록  $u_t$ 는 감소하나  $R_x$ 는 증가하고 경사각이 커짐에 따라  $u_t$ 와  $R_x$ 는 감소한다.
4. 진스트레인  $\epsilon_a$ 는 다음 절삭조건과 관련되어 있다.
  - 1)  $\epsilon_a$ 는 절삭깊이가 커짐에 따라 증가하고 경사각이 커짐에 따라 감소하며,  $F_c$ 와  $F_t$ 가 커질수록 증가한다.
  - 2) 경사각이 작아짐에 따라  $u_s$ 와  $\epsilon_a$ 값이 증가함을 보였고, 절삭깊이  $t$ 가 감소함에 따라  $u_s$ 는 증가하였으나  $\epsilon_a$ 는 감소한다.
  - 3) 절삭깊이가 커질수록  $u_t$ 는 감소하나  $\epsilon_a$ 는 증가하고 경사각이 커짐에 따라  $u_t$ 와  $\epsilon_a$ 는 감소한다.

#### 후 기

본 연구는 91년도 한국 과학재단 연구비 지원에 의한 결과 (과제번호: 911-0909-035-1)이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. E. G Herbert, Trans. Am. Soc. Mech. Engrs. Vol. 48, pp.705, 1926
2. C. Rubenstein, "Influence of Strain Rake in Orthogonal Cutting", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 12, pp.105~120. Pergamon Press, 1972
3. A. E Bayoumi and M. N Hamdan, Characterization of Dynamic Flow Stress-Strain Properties Through Machining Tests, Manufacturing, ASME, Vol. 1, No. 2, pp.130~135, 1988

4. P. L. B. Oxley, "Mechanics of Metal Cutting", Int. Mach. Tool Des. Res. Vol. 1, pp.89~97, Pergamon Press, 1961
5. P. k. Wright, "Prediction the Shear Plane Angle in Machining from Workmaterial Strain-Hardening Characteristics", ASME, pp.285~292, 1982
6. D. Lee, "The Effect of Cutting Speed on Chip Formation under Orthogonal Machining", ASME, Vol. 107, pp.55~63, 1985
7. Field. M, J. F. Kahles and J. J. Commett, "A Review of Measuring Methods for Surface Integrity", Annals of the CIRP, Vol. 21, No. 2, pp.219~238, 1972
8. R. Ramaswami, "A Study on Recrystallization in Metal Cutting by Fourier Analysis", Proc. 13, MTDR Conf., pp.253~259, 1972
9. 김태영, "금속의 Surface Integrity에 미치는 소성스트레인의 영향", 한국정밀공학회지, 제6권, 제4호, pp.94~102, 1989
10. T. Shoji, "Crack-Tip Blunting and Crack-Opening Displacement under Large-Scale Yielding", Metal Science, pp.165, May 1976
11. T. Shoji, "Determination of Crack Tip Energy Dissipation and Elastic-Plastic Fracture Toughness Parameter with Ductile Crack Extension", American Society for Testing and Materials, pp.324~334, 1981
12. Y. Iino, "Accumulated Plastic Zone Around Fatigue Crack in Type 304 Stainless Steel", Paper No. MS 509, pp.159~164, 1975
13. Y. Iino and K. Suzuki, "Notched Tensile Strength and Plastically Deformed Zone of Type 304 Stainless Steel at 4K", Proceeding of the VI International Congress on Experimental Mechanics, pp.106~111, 1988
14. Y. Iino and M. Suzuki, "Thermally Strained Plastic Zone Caused by Welding in Type 304 Stainless Steel", The Technology Reports of the Tohoku University, Vol. 44, No. 1,

pp. 151~162, June, 1979

15. 김태영, 전북대학교 박사학위논문, 1983

16. Y. Iino, Tae-Young Kim and Se-Hi Chung, "Recrystallization Technique of Plastic Deformation in Weld of Mild Steel", Reprinted from Trans, Japan Welding Society, Vol. 13, No. 2, pp.27~31, 1982

17. Stead, J. E., "The Crystalline Structure of Iron and Steel", Journal of Iron Steel Institute, Vol. 1, 1898

18. F. W. Taylor, "On the Art of Metal Cutting", Trans. ASME, Vol. 28, No. 119,

pp. 31~297. 1907

19. M. C. Shaw, "Metal Cutting Principles", 1954

20. M. Kronenberg, "Machining Science and Application", 1965

21. M. E. Merchant, "Mechanics of Metal Cutting Process", J. Appl. Phys., Vol. 16, No. 5, pp.267 and No. 6, pp.318, 1945

22. Haslam. D. and Rubenstein, "Surface and Sub-Surface Work-Hardening Produced by the Planning Operation", Annals of the CIRP, Vol. 18, pp.369~381, 1970