技術論文 한국공작기계기술학회지 제 6 권 제 3 호 1997. 9
Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers

절삭가공시 잔류응력에 관한 연구

주 호 윤*, 이 용 성**

A study on Residual stress at Cutting work

Ho Youn Joo*, Yung Sung Lee**

Abstract

The sudden-stop apparatus is made to measure the residual stress of the infinitesimal area at the turning work surface by using the X-ray stress apparatus. This study is tried to make the cutting work the instantaneous stopping state in the normal working state. The behaviour of work material near the tool is estimated. The estimation method is that the distribution of residual stress can be also measured. The object is to clarify and control the mechanism to leave the adequate stress of the finishing surface. It's beginning is due to observe the occurrence state of the residual stress at the cutting work.

The result obtained by this study is as follows.

The chips are not separated from the work materials at all the cutting experiments of built-up edges or the shearing areas etc. which can be precisely observed by using the sudden-stop apparatus. The strain of movable system which can be seen at the part of working layer means the size of strain. This experiment proves that the working strain should be lessened to make the size of strain control the residual stress happened at the cutting surface.

Keywords : Residual Stress(잔류응력), Chuck of Quick Stopping Equipment (급정지장치척)

서 론

잔류응력은 각종 기계 또는 기기의 제조 과정중에 이들의 재료 내부에 발생하는 것이다. 실제로 각종 제품을 가공할 때, 재료에 잔류응력이 발생하지 않는 경우는 거의 없다. 그리고 발생하는 잔류응력의 상태는 그 응력 값과는 별도로 각 가공법 또는 처리 방법에 따라 다르다. 中山[1]은 기계가공으로서는 인발, 압출, 압연, 교정, 절삭, 연삭,

* 단국대학교 기계공학과 대학원
** 단국대학교 기계공학과

표면, 압연 shot blast, 또는 shot peening 등에 의해, 또는 열적인 가공으로서는 용접, 절단, 주조, 담금질, 뜨임을 포함하는 열처리등에 의해서 각각의 특유한 잔류응력이 발생하는 것을 볼 수 있다.

若林三記夫[2]는 잔류 응력에 대하여 관심을 갖는것은 열처리나 기계 가공 후에 있어서 부품의 치수의 변화에 의한 변형 연삭시의 균열 응력 부식이나 주조 용접의 경우 치수 변화, 균열 등과 같이 제조 과정에서 또는 제품으로서 각종의 장애 관계를 갖는 경우이고 이에 대한 잔류 응력의 측정이나 영향에 대한 평가를 하였다.

그러나 李用成[3]은 잔류 응력 존재의 큰 의의는 재료의 기계적 성질에 대한 영향과 그 이용이며, 실제로 기계 사용중에 파괴 사고가 생겼을 경우 재료 자체의 처리나 강도 이외의 잔류 응력에 의한 영향이 지적되는 경우가 많으며, 특히 재료의 피로에 대한 영향은 중요하고, 이는 잔류 응력이 바람직한 응력 pattern인 경우 극히 유효하다고 볼 수 있다. 예를 들면 shot peening을 한 부분에는 압축 응력이 발생하고 있기 때문에 응력이 반복하여 작용하여 이것이 초기 하중으로 작용하여 평균 응력을 저하시키게 된다.

이와 같이 잔류 응력을 유효하게 이용하기 위해서라도 최근 많은 연구가 이루어지게 되었으며 특히 최근에는 computer의 발달과 더불어 유한 요소법을 사용하여 절삭가공의 거동에 대하여 해석이 貴志浩三[4]에 의해 이루어지고 있다. 그 중에서도 가공 표면의 잔류 응력에 대한 해석이 많고 藤原晴夫[5]는 다듬질면에 잔류하는 응력해석을 하고 이들은 제어 할 수 있는 가능성을 제시하고 있다.

본 연구는 다듬질면에 바람직한 응력을 잔류 시키는 mechanism을 제시하고 그 제어를 하는것이 주목적이며 여기서는 그의 일환으로 절삭가공에 있어서 잔류응력의 발생 상태를 관찰 하였다. 즉 본 실험에서는 급정지 장치를 사용하여 절삭가공을 정상적인 가공 상태에서 순간적으로 정지 상태가 되는 장치를 만들어 공구가 피삭재에 물려있는 시편을 제작하여 공구 부근에 있어서의 피삭재의 거동에 대하여 평가하였다.

2. 이론적 배경

2.1 측정 이론

참고) d : 격자면 간격　　M : 직선 구배　　t : 절삭 깊이
ν : 절삭속도　　σ : 응력　　ε : 변형율
λ : 파장　　θ : 입사각

Fig.1에서 원자가 규칙적으로 배열되어 있는 시료에 X선을 통과시키면 X선은 원자에 의해 여러 방향으로 흐트러지지만, 특정한 조건 하에서는 이 흐트러진 X선은 회절현상을 일으킨다.

이 조건을 만족 시키는 것이 Bragg의 법칙이고, 그림에서 입사 X선의 파장을 λ, 입사각을 θ로 하면 Bragg의 식은 다음과 같다.

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad \cdots\cdots (1)$$

X선 회절선의 위치 이동률은 Bragg의 조건에 있어서 격자면 간격 d가 변화하기 때문에 θ의 값이 변화함을 나타낸다.

여기서 X선 응력 측정의 기초식은

$$\varepsilon_{op} = \{\sigma_\chi(1+\nu)/E\}\sin^2\varphi - \{\nu(\sigma_1+\sigma_2)/E \quad \cdots (2)$$

이 식은 φ = const 일 때 O R P Q에 있어서 (Fig.1) ε_{op} 가 $\sin^2\varphi$에 대하여 직선이 됨을 표시한다. 이 직선 구배를 M라고 하면

$$M = \triangle\varepsilon_{op} / \triangle\sin^2\varphi \quad \cdots\cdots (3)$$

로 된다.

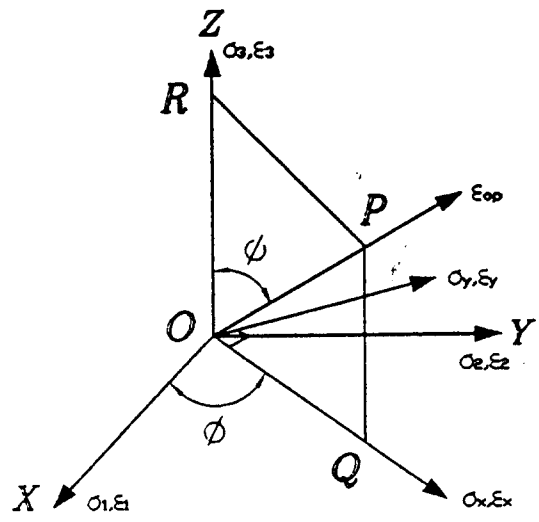


Fig. 1 Directions of Stress and strain

실제로는 여러가지 $\sin^2\varphi$의 값에 대하여 ε_{op}을 구하고, Fig. 2에서와 같이 M을 구하면 응력 σ_χ는 다음 식으로 주어진다.

$$\sigma\chi = \{E/(1+\nu)\} / M \quad \cdots\cdots (4)$$

또 $\varepsilon_{op} = 0$를 대입하면

$$\sin^2\varphi = \{\nu/(1+\nu)\} \{(\sigma_1+\sigma_2)/\sigma_x\} \quad \cdots\cdots (5)$$

로 되고 그 응력 방향 상태에서 strain이 존재하지 않은 방향을 알 수 있다.

또한 $\sin^2\varphi = 0$을 대입하면

$$\varepsilon_{op} = -\nu(\sigma_1+\sigma_2)/E \quad \cdots\cdots (6)$$

여기서 ε_{op} - $\triangle\sin^2\varphi$선도의 $\sin^2\varphi = 0$에 있어서 종축에서 주응력의 합을 구한다.

실제로는 X선에 의해 측정되는 것은 격자면 간격이 d이므로 ε_{op}를 d로 바꾸어 놓을 필요가 있다. 즉 Fig. 1의 OP방향의 법선을 갖는 회절면의 격자 간격을 d_{op}, 무응력 상태일때의 격자면간 거리를 d_o라고 하면 strain의 정리에 의해

$$\varepsilon_{op} = (d_{op}-d_o)/d_o \sin^2\varphi \quad \cdots\cdots (7)$$

이므로 (2)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\varepsilon_{op} = \{d_o\sigma_x(1+\nu)/E\} \sin^2\varphi + \{1-\nu(\sigma_1+\sigma_2)/E\} d_o \quad \cdots\cdots (8)$$

실제 측정에는 측정하는 응력 방향과 측정 위치에 세운 시편 표면 법선을 포함하는 면에 있어서 여러 방향의 격자면 간격 d_{op}을 구하고 d_{op} -$\sin^2\varphi$선도를 구한다.

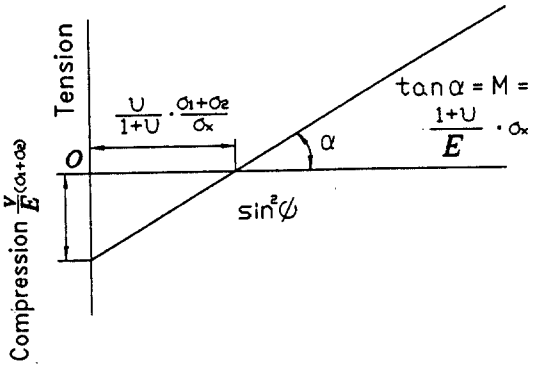


Fig. 2 ε_{op} - $\triangle\sin^2\varphi$ Diagram

3. 실 험

3.1 급정지 장치

고속절삭에 있어서 절삭을 정지 시키는 경우 정상 절삭시보다 그 관성력이 크기 때문에 절삭을 즉시 정지 시키는 것은 사실상 불가능 하다. 여기서 급정지 장치의 일환으로 shear pin에 지지되어 있는 공구가 시편을 어느정도 절삭하면 시편과 더불어 회전하고 있는 Hammer가 공구와 충돌하여 그 충격으로 shear pin이 파손되게 설계하였다.

이에 의해 절삭 과정에서 공구를 분리하고 절삭 동작을 정지 시키는 것이다. 그리고 Fig.3에서는 Hammer와 시편을 특수 고안된 chuck에 설치하고 절삭 중 동심원으로 회전시킨다. Fig. 4는 급정지 장치의 개략도이다.

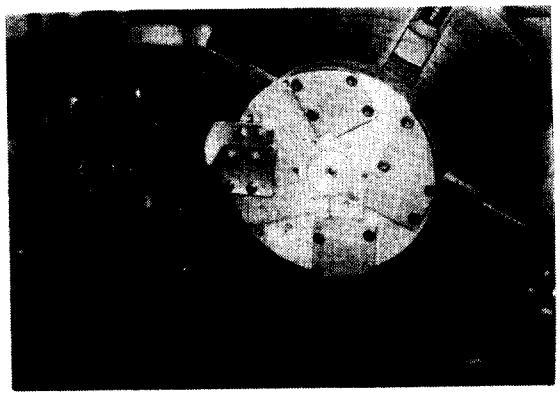


Fig. 3 Chuck of Quick stopping Equipment

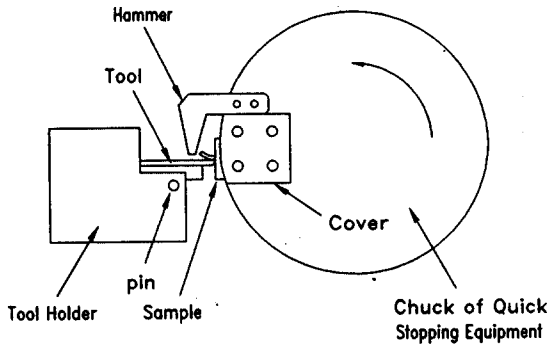


Fig. 4 Outline Diagram of Quick Stopping Equipment

3. 2 절삭조건

본 실험에서 사용한 절삭 조건은 절삭 속도 V는 52.6m/min, 92.7m/min, 165m/min이고 절삭 깊이 t는 0.3mm, 0.4mm, 0.5mm로 하였다.

또, 공구는 Mitsubishi CFT3-UTi20T를 사용하였

고 피삭재는 기계구조용 탄소강 SM45C를 사용하였다.

3.3 잔류 응력의 측정

잔류 응력의 측정을 X선 회절선의 검출방법을 X선의 강도를 전기신호로 변하여 검출하는 계수관법을 사용하였다. 이 PSPC검출 방식의 미소부위 X선 응력 측정 장치의 계통 개략도는 Fig. 5이다.

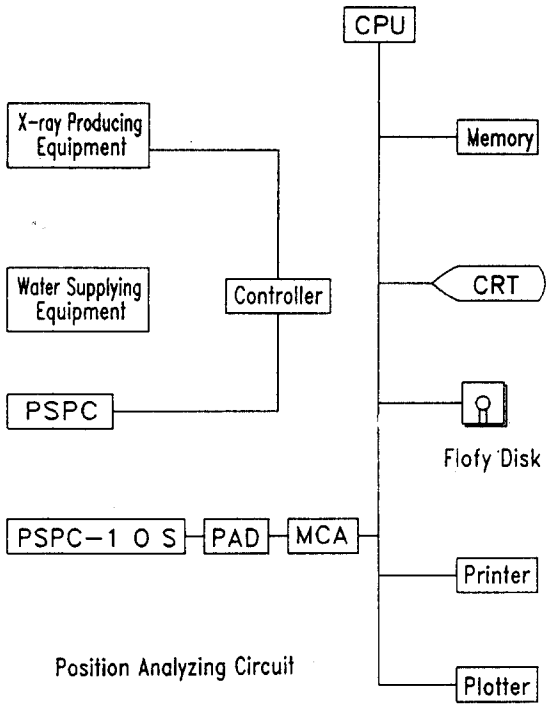


Fig. 5 System Diagram of Stress Equipment by X-rays at Infinite Small part

4. 결과 및 고찰

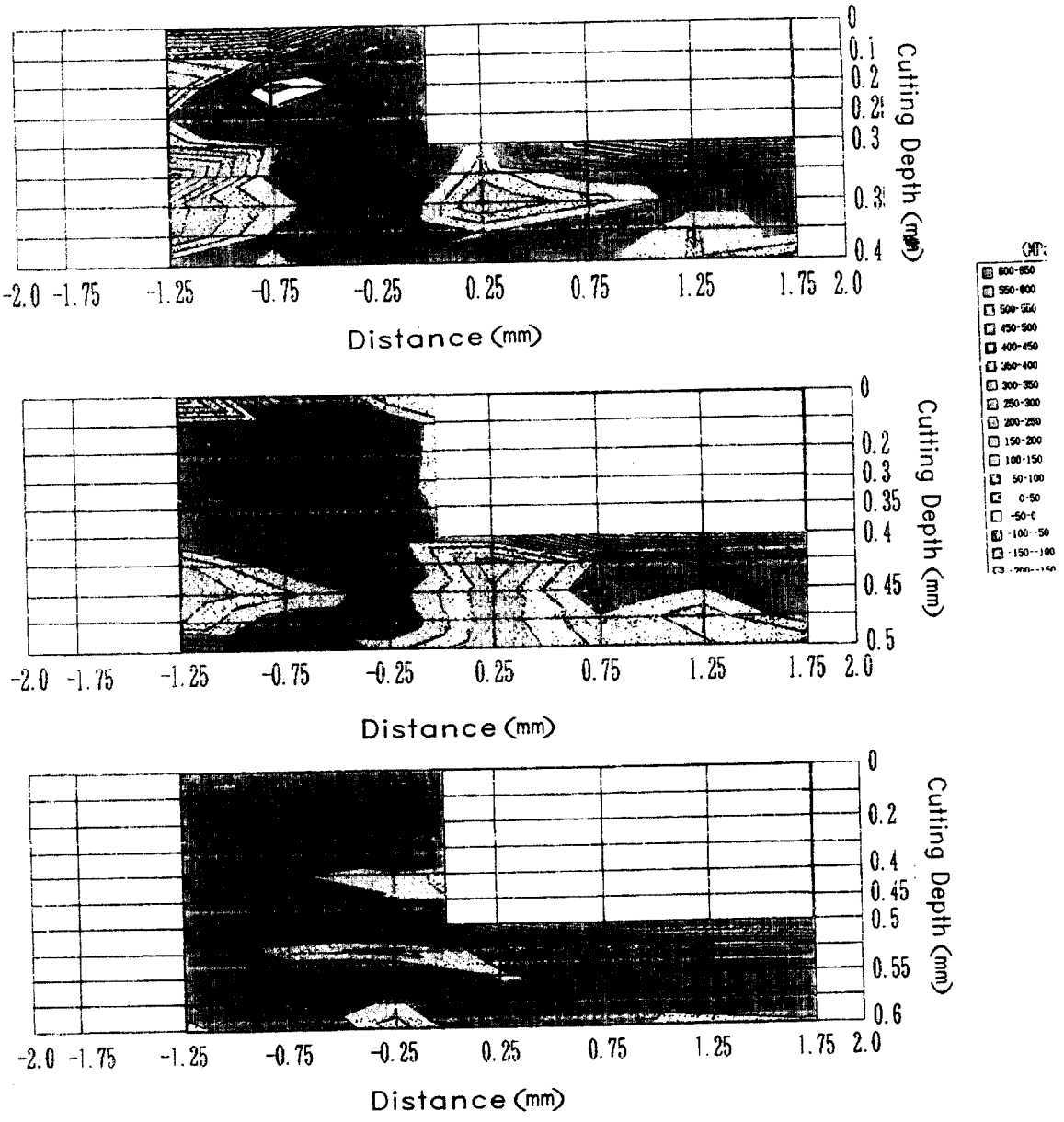
급정지 장치를 이송한 결과 실제 절삭 중에 발생하는 칩의 근원을 피삭재로 부터 분리시키지 않고 거의 정확히 관찰할 수 있었다. 그리고 응력 측정 결과(응력 분포)를 Fig. 6 및 Fig. 7에 표시한다.

측정점은 모두 격자점이다.

Fig. 6에서 절삭 깊이량이 증가함에 따라 가공 표면층에 발생하는 잔류 응력의 분포는 깊이 방향으로 넓어짐을 알 수 있고 Fig. 7에서 보는 바와 같이 절삭 깊이량이 같고, 절삭속도가 달라도 같은 경향을 나타내고 있다.

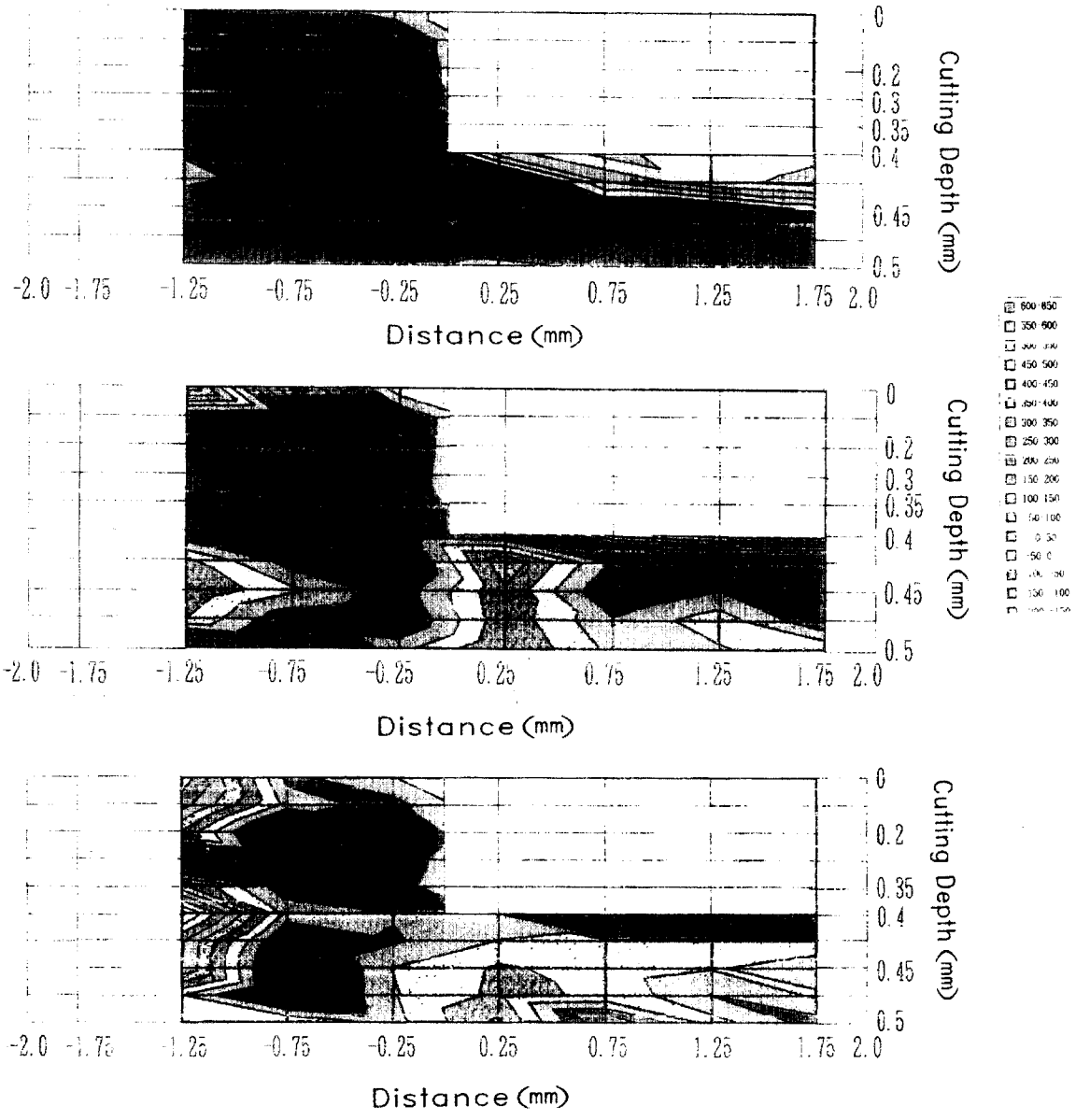
Fig. 8은 Fig. 6의 거리 1.25mm에 있어서 깊이 방향의 응력 변화를 조건별로 비교한 것으로 절삭 깊이가 증가하면 각 점에 있어서 잔류 응력의 값은 증가하고 있다. 또 graph의 좌측 즉, 가공면에서 가장 가까운 곳에서 두 점의 기울기는 t=0.5mm보다 t=0.3mm가 크다. 이 기울기는 strain량을 표시한다. 이로부터 후자는 전자보다 가공 표면에 범위가 작은쪽이 응력격차에 있어 큰 응력 분포를 형성하고 있음을 알 수 있다.

이는 절삭 깊이가 같고 절삭 속도가 다른 응력 분포의 비교(Fig. 7)에서도 같은 모양을 하고 있다. 이 경우에 절삭 속도가 감소하면 가공면의 응력 분포는 깊이 방향으로 넓어지고 응력 변화도 적게 된다고 본다. 따라서 가공면에 있어서 잔류 응력은 절삭 깊이량이 적어 질수록 또한 절삭 속도가 커질수록 깊이 방향의 응력 변화는 크고 그 분포 범위는 적어짐을 알 수 있다.



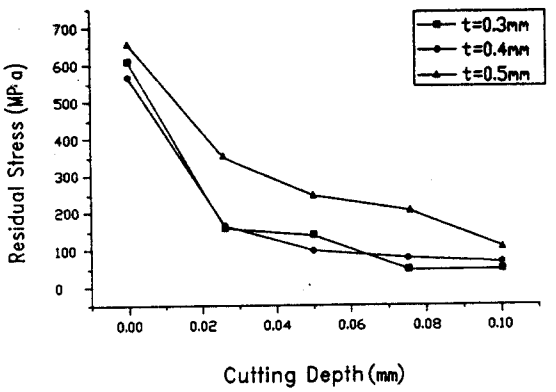
Cutting Speed V=92.7m/min
Depth of Cut t=0.3mm(상), 0.4mm(중), 0.5mm(하)

Fig. 6 Distributed Diagram of Residual Stress



Depth of Cut t=0.4mm
Cutting Speed V=52.6m/min(상), 92.7m/min(중), 165m/min(하)

Fig. 7 Distributed Diagram of Residual Stress



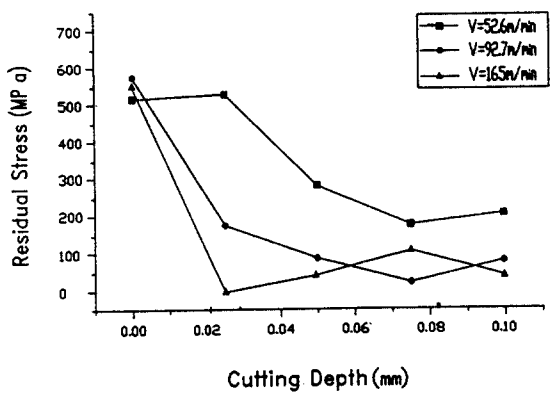


Fig. 8 Relation between Stress and Depth

5. 결 론

급정지 장치를 사용하여 절삭가공을 정상적인 가공상태에서 순간적으로 정지상태가 되는 장치를 만들어 공구가 피삭재에 물려있는 시편을 제작하여 공구부근에 있어서의 피삭재의 거동을 규명한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 급정지 장치를 이용하면, 구성 인선이나 전단 영역 실험등 모든 절삭 실험에서 chip을 피삭재로부터 분리시키지 않고 거의 정확히 관찰 할 수가 있다.

(2) 가공 표층부에 보여지는 유동적인 조직의 변형량 즉 strain의 크기가 절삭 표면에 발생하는 잔류응력에 영향을 준다.

(3) 잔류 응력을 제어하기 위해서는 가공 strain(가공변질층)을 적게 할 필요가 있다.

參 考 文 獻

1. 若林三記夫, 中山 守, 永田彰信, "研削加工層におけるX線的殘溜ひずみ の 加工向き 依存性", 精密機械, Vol. 43, No. 6, pp 661, 1977
2. 若林三記夫, 中山 守, "巨視的 および微視的 殘溜應力の 解析 有向性加工層の 殘溜 應力に 關する 基礎的研究(제1報)", 精密機械, Vol. 44, No. 4, pp 710, 1978
3. 李用成, "切削 및 研削理論", 東明社, pp 128-144, 1977
4. 江田 弘, 貴志浩三, 大久保昌典, "有限要素法による研削加工層の 殘溜應力のシミユレーシヨン 解析", 精密機械, Vol. 45, No. 11, pp 1347, 1979
5. 英 崇夫, 藤原晴夫, "X線應力測定における有向性加工層の 殘溜應力とd- $\sin^2\psi$ 曲線", 材料, Vol. 30, pp 338, 1981
6. M.Wakabayashi & M.Nakayama(1979), "Experimental Research on Elements Composing Residual Stresses in Surface Grinding", Bull, JSPE, Vol. 13, No. 2, pp 75, 1979