

유한요소법을 이용한 2차원 절삭가공면의 소성스트레인에 관한 연구

김기환*, 문상돈, 신형곤(전북대 대학원), 김태영(전북대 기계공학부, 자동차신기술연구소)

A Study on Plastic Strain after Orthogonal Machining using Finite Element Analysis

K. H. Kim, S. D. Mun, H. G. Shin (Grauate school Chonbuk National Univ.),
T. Y. Kim(Chonbuk National Univ)

ABSTRACT

Plastically deformed layer influences the mechanical property of the mechanical element such as creep hardening, microscopical crack and stress corrosion destruction. Therefore, the property so called the surface integrity has to be considered, and the machined surface including plastic deformation, distribution of stress has to be conducted quantitatively. This paper explains the orthogonal cutting, and made an orthogonal cutting model using the finite element method, then analyzed cutting power, plastic deformation of workpiece. It introduces the developed subsequent recrystallizations technique for measurement of the plastic strain of machined surface, and verified the technique.

Key Words : Finite Element Analysis(유한요소법), Plastically deformed layer(소성변형층), Orthogonal cutting(2차원절삭), subsequent recrystallizations technique(연속재결정법)

1. 서론

최근 산업의 발달에 따라 기계요소들이 강도, 경량화, 정밀도와 같은 측면에서 임격한 설계기준을 요구하게 되었다. 또 첨단기술이 적용되는 각종 전자 부품에서 초정밀 가공의 필요성이 증대하고 있기에 기계 가공면의 품질 향상을 뒷받침하기 위한 연구가 필연적으로 이루어져야 한다.

가공 변형층에 잔존하는 피로현상, 치수불안정, 미스크래크, 응력 부식 파괴 등과 같은 요소는 기계 부품들의 물리적 특성에 여러 가지로 영향을 미친다. 따라서 기계 가공면에 남아 있는 이러한 물리적 특성들, 즉 surface integrity는 높은 응력이나 하중을 받는 부품의 설계시 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 이처럼 기계 가공면에 생성된 소성스트레인, 소성 변형역의 크기, 가공 경화층의 깊이 등을 정확히 평가하는 것은 surface integrity를 이

해하는 데 필수 요소이고 절삭기구 해석을 위한 하나의 중요한 과제이다. 그러나 가공면의 소성스트레인을 측정하는 것은 매우 어렵고 결과가 일정하지 않다. 왜냐하면 소성 변형층은 기계 가공면으로부터 매우 얇게 형성되어 있으며 표면으로부터 깊이에 따라 급격한 변화를 보이기 때문이다.

본 연구에서는 난삭재인 STS 304의 절삭가공 후 가공면의 표면에 형성된 소성스트레인을 측정하는데 유한요소 모델을 사용하였다. 이 모델의 타당성을 검증하기 위해 연속재결정법을 사용하여 검증하였고 이 모델로 인해 소성스트레인과 재결정된 소성변형된 깊이와의 관계를 비교하여 소성스트레인 해석의 신뢰도를 높이고 가공후 정확한 응력해석을 행함으로써 보다 향상된 기계적 성질을 얻을 수 있을 것이다. 최근 이런 재료들의 내부 스트레인을 측정 하는 방법으로 Ramaswami¹⁾는 X-ray 회절법을 이용하여 재결정된 입자의 크기와 유동층

에서 금속학적 변화를 보고했고 Shoji³⁾는 크랙주위의 어느 지점에서의 변형률을 측정하고 인장 후 변형역의 분석을 재결정법이 명확하게 나타내준다는 사실을 발표했고 김태영⁴⁾은 금속 가공면의 소성스트레인을 해석하는데 있어서 소성스트레인과 재결정 후 입자의 크기와의 관계를 이용하였으며 Iino, Suzuki⁴⁾ 그리고 김태영⁵⁾은 용접비드 주위에 형성되는 소성영역의 범위를 측정하였다. Iino⁶⁾은 최근 연속재결정법을 이용하여 크랙주변의 소성스트레인을 측정하였다. 여기에 이론적인 소성스트레인 관찰을 위한 절삭모델을 구성하여 실험없이 재료의 가공 후 발생하는 소성스트레인 분포를 얻어 연속재결정법을 통해 이를 비교 검증하였다.

2. 유한요소해석 및 실험

2.1 유한요소모델

Fig. 1은 해석에 이용된 유한요소 모델이다. 해석에는 8절점 viscol06요소가 사용되었고 접촉부분에는 contact48요소를 사용하여 모델링 하였다. 총 요소수는 3028개의 node와 2868개의 element가 사용되었다. 해석에 사용된 유한요소 사용프로그램은 ANSYS 5.5이다.

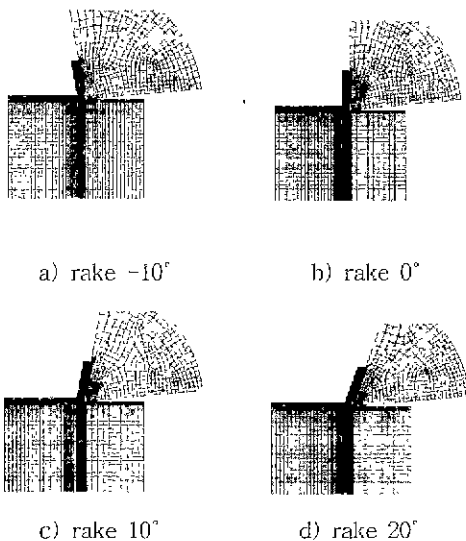


Fig.1 FEM model for analysis with ANSYS

Table 1은 해석과 실험에 사용된 재료의 화학성분이고 Table 2는 재료의 기계적 성질을 나타내었다.

C	Ni	Cr	St	Mn	P	S
0.08	80-105	18.0-20.0	1.00	20.0	0.04	0.03

Table 1 Chemical compositions of STS 304 (wt %)

Yield stress σ_y (N/mm ²)	Ultimate tensile strength UTS (N/mm ²)	Elongation (%)	True failure stress σ_f (N/mm ²)
255	657	1.5	2350

Table 2 Mechanical properties of STS 304

2.2 유한요소해석

본 연구에서는 피삭재의 유동 응력이 변형률, 변형률속도와 피삭재 소성저항 및 온도의 함수라고 보기 때문에 비선형문제가 되며 반복해법에 의해 해를 구하게 된다. 해석하기 앞서 절삭가공의 유한요소해석을 위해서 다음과 같이 가정하였다. 먼저 절삭날이 절삭속도와 수직을 이루는 2차원 절삭에 대해서 해석하였으니 초경공구는 강재로 변형을 고려치 않았다. 둘째로 절삭되는 칩의 형태는 유동형칩(flow type chip)으로 가정하였고 재료는 Von-Mises의 항복조건을 따르며 탄성적 반응을 무시하는 이상화된 강소성 재료로 생각하였다. 마지막으로 표면장력은 피삭재와 공기간에 일정하다. 위의 사항을 바탕으로 절삭속도를 0.507m/min 으로 하고 상면경사각을 -10°, 0°, 10°, 20° 로 변화시켜 simulation을 수행하였고 각각의 상면경사각에 대해 절삭깊이를 0.01, 0.04, 0.07, 0.1 mm로 변화시켜 simulation을 수행하여 결과를 얻었다.

2.3 절삭실험 및 재결정 실험

2차원 절삭실험을 milling machine으로 수행하였고 초경공구를 milling arbor에 부착시켰으며 바이스에 고정된 시험편과 2차원 절삭운동을 하도록 하였다. 절삭공구는 다이아몬드 연삭숫돌과 Arkansas 숫돌을 이용하여 인선을 정밀가공하였다 (인선반경 : 1 μ m이내, 인선폭 : 3mm)

실험을 하기 전에 시험편 가공시 생긴 응력과 불균일 등을 제거하기 위하여 각각 0.05, 0.04, 0.03, 0.02, 0.01mm 의 순으로 절삭깊이를 주고 증유를 절삭유로 사용하여 가공한 시험편에 대하여 2차원 절삭실험을 수행하였다.

절삭실험은 절삭깊이 0.01, 0.04, 0.07, 0.1mm와 상면경사각 -10°, 0°, 10°, 20° 각각 네가지 조건

으로 변화시켰으며 절삭속도는 밀링머시인의 테이블이송을 일정한 속도로 유지시켜 0.507m/min 가 되도록 하였다. 또한 순간 정지장치를 이용하여 칩을 동결시켜 가공면 뿐만 아니라 절삭선단 부근의 소성스트레인 상태를 알아보았다. Fig. 2는 실험장치 구성도이다.

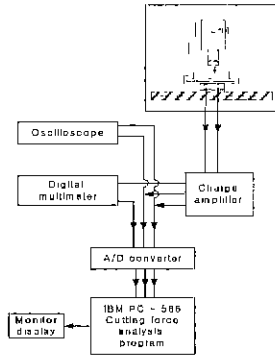


Fig. 1 Experimental set-up

2차원 절삭과정을 유한요소법을 이용해 simulation 한 후 소성변형된 깊이를 검증하기 위해 연속재결정법을 이용하여 수행하였다. 2차원 절삭을 실시한 시편을 변형률 $\epsilon = 0.5$ 를 나타내는 750°C에서 24hr을 가열하고 폴리싱 한 후 부식액을 사용하여 부식시키고 현미경으로 소성변형된 깊이를 관찰하였다. 그리고 다시 같은 시편으로 연속하여 750°C, 24hr + 900°C, 24hr로 열처리하고 폴리싱, 부식, 시편의 촬영을 반복하여 수행하였다. 또 동일한 시편으로 다시 연속하여 750°C, 24hr + 900°C, 24hr + 950°C, 24hr로 열처리하고 위와 동일한 과정으로 처리, 시편의 소성변형된 깊이를 측정하였다. 소성변형된 깊이를 구하는데 있어서 신뢰도를 높이기 위해서 10군데에서 소성변형된 깊이들을 측정하였다. 이와 같은 실험을 통해 소성스트레인(ϵ)과 소성변형된 깊이(d)와의 관계를 정량적으로 구할수 있었고 그 결과를 유한요소 모델을 이용한 simulation 결과값과 비교하여 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 절삭력비교

Fig. 3은 절삭깊이가 0.1mm 이고 절삭속도가 0.507m/min 일 때 상면경사각이 -10°, 0°, 10°, 20° 로 변할 때 발생하는 절삭력의 변화를 나타낸 그래프이다. 상면경사각이 음(-)에서 양(+)으로 변할

수록 절삭력은 작아지는 경향을 보였다. 마찬가지로 simulation을 통한 실험에서도 상면경사각이 증가할수록 절삭력이 작아지는 경향을 보였으며 실험치와 거의 비슷한 경향을 보이고 있다.

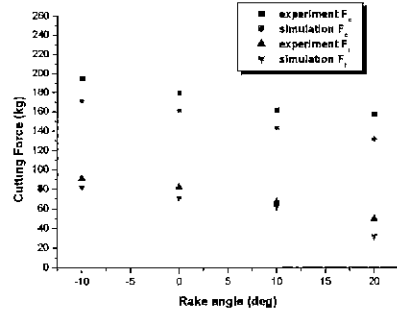


Fig. 3 Comparisons of predicted and measured principal force and thrust forces with rake angle at depth of cut 0.1mm (cutting speed 0.507 m/min)

Fig. 4 는 상면경사각이 10° 이고 절삭속도가 0.507m/min 일 때 절삭깊이가 변함에 따른 절삭력 변화를 도시한 그림이다. 절삭깊이가 0.01mm에서 0.1mm 까지 변화할 때 절삭력은 증가함을 알 수 있다. 마찬가지로 simulation을 통해 얻은 데이터값들도 거의 유사한 경향으로 증가하고 있다.

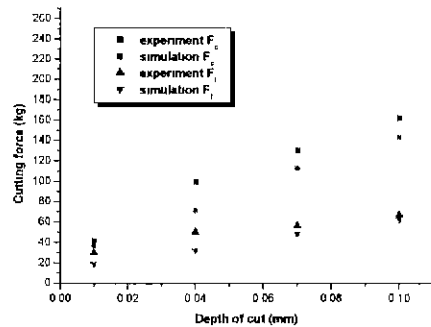


Fig. 4 Comparisons of predicted and measured principal force and thrust forces with depth of cut for rake angle 10° (cutting speed 0.507 m/min)

3.2 소성변형층 깊이

Fig. 5는 절삭깊이가 0.1mm이고 상면경사각이 10° 일 때 절삭속도 0.507 m/min 으로 가공된 표면에서의 재결정된 모습을 simulation과 연속재결정 실험으로 얻어진 사진을 나타낸 그림이다. 이 두

실험을 수치로 비교하여 나타낸 그래프가 Fig. 6이다. Fig. 6은 가공표면 근처에서의 재결정 크기가 크고 멀어질수록 재결정크기가 작아짐을 알 수 있고 simulation을 통해 얻어진 값들이 실험치와 비교적 같은 경향을 보이고 있다.

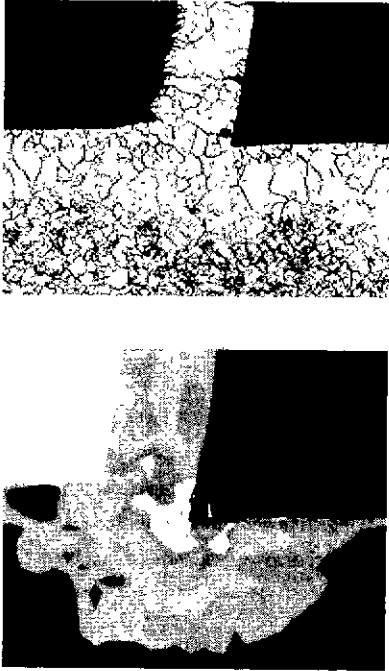


Fig. 5 Comparisons of simulated and measured distance from machined surface for rake angle 10° and depth of cut 0.1mm (cutting speed 0.507 m/min, $\epsilon = 0.02$)

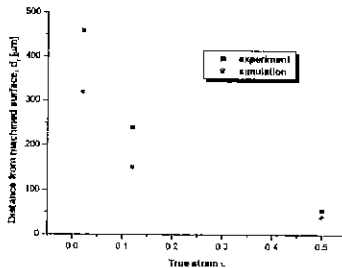


Fig. 6 Comparisons of simulated and measured distance from machined surface for rake angle 10° and depth of cut 0.1mm (cutting speed 0.507 m/min, $\epsilon = 0.02$)

4. 결론

본 논문에서는 피삭재를 2차원 절삭가공후 발생하는 가공면으로부터의 소성변형된 깊이를 측정하는 방법으로 피삭재를 소성체로 가정한 유한요소법을 사용하였다. 이를 연속재결정법을 사용하여 검증하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 절삭모델의 타당성을 검증하기 위해 절삭력의 경우 절삭실험을 수행하여 실험치와 계산치를 비교하였으며 대체적으로 절삭깊이가 증가할수록 절삭력은 증가하였고 상면 경사각이 (-)에서 (+)로 갈수록, 즉 증가할수록 절삭력은 감소하는 경향을 보임을 알 수 있었다. 실험치와 계산치가 거의 유사한 경향을 보임을 알 수 있다.

2. 각각의 절삭조건에 따른 소성스트레인의 분포 및 변형역의 크기 등을 유한요소모델을 사용하여 구하고 이를 연속재결정법을 통해 검증하였다. 절삭깊이가 증가할수록 같은 소성 변형율을 나타내는 층의 깊이는 커짐을 알 수 있었다. 또 상면각이 증가할수록 감소하고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Ramaswami, R., "A Study on Recrystallization in Metal Cutting by Fourier Analysis," Proc. 13, MTDR conf. 1972.
2. Shoji, T., "Determination of Crack Tip Energy Dissipation and Electric-plastic Fracture Toughness Parameter with Ductile Crack Extension," American Society for Testing and Materials. 1981.
3. 김태영, 공학연구. 제 15 집, 1984.
4. Iino, Y., and Suzuki, K., "Notched Tensile Strength and Plastically Deformed Zone of type 304 Stainless Steel at 4K," Proceeding of the VI International Congress of Experimental Mechanics, June, 1988.
5. Iino, Y., Kim T. Y. and Chung, S. H., "Recrystallization technique of Plastic Deformation in Weld of Mild Steel," Preprinted from Trans, Japan Welding Society, vol. 13, No 2, 1982.
6. Iino, Y., "Subsequent Recrystallizations Technique of local Plastic Strain in 304 Stainless Steel" Journal of Material Science Letters, pp. 1253-1256. November 1992.