

절삭가공 시뮬레이션을 이용한 마모 연구 Study on tool wear based on metal cutting simulation

*박경희¹, #Patrick Kwon²

*K. H. Park¹, #P. Kwon(pkwon@egr.msu.edu)²

¹한국생산기술연구원 스마트시스템연구그룹, ²Mechanical Engineering, Michigan State University

Key words : Tool wear, FEM simulation, metal cutting, abrasion

1. 서론

최근 항공 우주 산업의 발전과 함께 초경량 고경도 부품소재의 사용이 급속히 증가하고 있다. 특히 항공 부품소재인 티타늄, 복합재료 등은 가공이 어려운 난삭재로서 공구 수명이 매우 짧아 가공 생산성이 매우 낮다. 이에 가공 생산성 향상을 위해 극저온 및 MQL가공 등 가공 공정기술 개발이 활발히 진행되고 있지만 가공기술에서 가장 중요한 요소인 공구에 관한 연구는 그 중요성에도 불구하고 많이 수행되지 못하고 있다. 공구의 마모는 가공 품질과 생산성에 직접적인 영향을 미치기 때문에 난삭재 가공에서 공구 기술 특히 공구 마모 분석 기술은 매우 중요하다.

공구 마모는 마모 메커니즘에 따라 abrasion 마모, dissolution 및 diffusion 마모 등으로 분류되며 공구 마모에 직접적으로 영향을 미치는 인자는 공구와 피삭재의 경도, 가공 온도, 가공 거리 등이 있다. 공구 마모 메커니즘을 분석하기 위해서는 공구 표면에 발생하는 가공 온도의 측정이 매우 중요하지만 공구 표면 온도는 실험적으로 측정하기가 매우 어렵다. 따라서 유한요소 기반의 가공 시뮬레이션을 통해 가공 온도를 예측하는 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 공구 마모 메커니즘 분석을 위하여 가공 시뮬레이션 연구를 수행하였고 abrasive 마모 모델을 이용하여 공구 마모를 예측하였다.

2. 마모 모델

abrasion 마모 모델은 Rabinowich에 의해 개발된 2-body 와 3-body abrasion 모델이 있는데 본 연구에서는 피삭재의 특성에 따라 2-body abrasion 모델을 사용하였고 식(1)에 표현하였다.

$$V = \frac{l \cdot F \cdot \tan\theta}{\pi \cdot P} \quad (1)$$

식(1)에서, l 은 가공 거리, F 는 가공 하중, $\tan\theta$ 는 피삭재 hard inclusion과의 각도를 나타내고 P 는 공구의 경도를 나타낸다. 그림 1과 같이 공구의 경도는 가공 온도가 높아지면 크게 낮아지는데 식(1)과 같이 공구 경도가 낮아지면 공구 마모가 증가하므로 공구 마모를 예측하기 위해서는 가공 온도의 측정이 매우 중요하다.

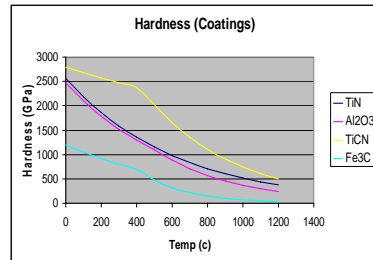


Fig. 1 Hot hardness of material

3. 가공 시뮬레이션

본 논문에서는 가공 온도를 예측하기 위해 Abaqus/Explicit v6.8을 사용하여 가공 시뮬레이션을 수행하였다. 가공 재료는 AISI 1045 소재를 사용하였고 소재의 constitute 모델로 Johnson-Cook 소성 모델을 사용하였다. 모델의 material constant와 가공 조건은 표 1에 나타내었다.

$$\sigma = (A + B\epsilon^n) \left(1 + C \ln \dot{\epsilon}^*\right) \left(1 - \frac{(T - T_r)}{(T_m - T_r)}\right) \quad (1)$$

σ : flow stress, ϵ : equivalent strain,

$\dot{\epsilon}^* = \dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_0$: dimensionless strain rate ($\dot{\epsilon}_0 = 1.0s^{-1}$),

A, B, C, n, m: material constants
 Tr: reference temperature (25°C),
 Tm: melting temperature

Table 1 Material constants and cutting conditions

Material constants					
A(MPa)	B(MPa)	C	n	M	Tm(°C)
553.1	600.8	0.0134	0.234	1	1460
Cutting conditions					
Cutting speed		Feed rate		Depth of cut	
250m/min		0.3175mm/rev		1.905mm	

Fig. 2는 ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) 방법을 사용한 유한요소 모델과 경계조건을 나타내었다.

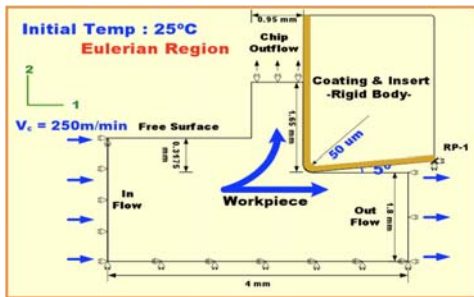


Fig. 2 FEM model and boundary conditions

4. 결과

Fig. 3은 가공 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 가공 시뮬레이션을 통해 가공 표면, 특히 flank 마모에 따른 가공표면 온도를 획득하였다. 획득된 가공 온도와 abrasion 마모 모델을 통해 가공에서 발생될 공구 마모 (flank wear)를 예측하였다. Fig 4는 가공 시간에 따른 예측된 공구 마모 progression을 보여주고 있다. 이 예측 결과를 Fig. 5의 실험 결과와 비교했을 때 예측 결과와 실험 결과가 서로 매우 유사한 것을 확인할 수 있다. 따라서 유한요소를 통해 가공 온도를 구하고 이론적 마모 모델을 사용하여 공구의 마모를 비교적 정확히 예측하는 것을 확인할 수 있었다.

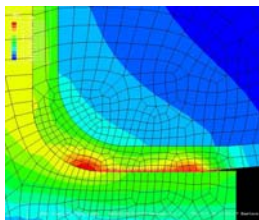


Fig. 3 Cutting temperature distribution

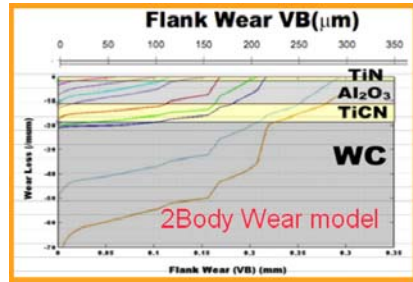


Fig. 4 Tool wear prediction by abrasive wear model

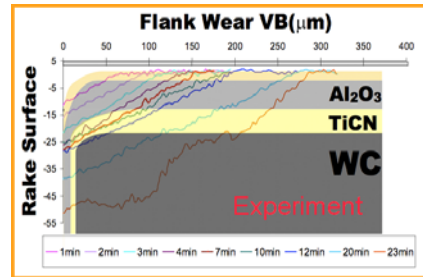


Fig. 5 Tool wear evolution by experiment

5. 결론

본 논문에서는 유한요소를 이용하여 실험적으로 측정하기 어려운 가공 온도를 계산하였고 획득된 가공온도와 abrasion 마모 모델을 이용하여 공구의 마모를 예측하였다. 예측된 공구 마모량은 실험 결과와 비교하였고 마모 예측이 매우 정확한 것을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 한국생산기술연구원의 “스마트 가공 및 검사 시스템 개발” 과제의 지원을 받아 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, K.-H. and Kwon, P., “Flank wear of multi-layer coated tool and wear prediction using abrasive wear model,” MSEC 2009, USA.
2. Rabinowicz, E., “Friction and wear of materials,” John Wiley and Sons Inc., 2nd Edition.
3. Johnson, G.R. and Cook, W.H., “A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperature,” Proceedings of 7th International Symposium on Ballistics, Netherland, 1983.