

마이크로 엔드밀 공구를 이용한 SUS316L소재의 미세 채널 가공조건 선정실험 Machining Condition for Channel Structure of SUS316L Materials Using Micro Endmill

*노진석¹, 김병두¹, 윤재성¹, 김재구¹, 최두선¹, #제태진¹

*J. S. Noh¹, B. D. Kim¹, J.S. Yoon¹, J.G. Kim¹, D.S. Choi¹, #T. J. Je(tjj@kimm.re.kr)¹

¹ 한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : Micro endmill, SUS316L, Micro Channel, Feed per tooth

1. 서론

SUS316L 소재는 경도(HV 320)가 높아 마이크로 엔드밀 공구로 가공하면 소재의 특성상 마모가 심하고 파손이 쉽기 때문에 가공에 많은 문제가 있다. 본 실험에서는 SUS316L소재에 마이크로 엔드밀을 이용한 미세채널 가공 시 발생하는 공구의 파손 및 마모 상태를 파악하고 최적 절삭 조건을 설정하는 실험을 수행코자 하였다. 본 실험에 사용된 공구는 $\varnothing 100\mu\text{m}$ 마이크로 엔드밀이고, 스피들 회전수를 50,000rpm으로 고정하고 이송속도와 절삭 깊이를 변화시켜 가공하며 공구의 안전성과 가공표면의 문제점을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치 구성도

마이크로 엔드밀링 가공을 위한 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같다. 가공시스템은 X-Y-Z의 기본 3축으로 이루어 졌으며, X-Y축은 일반적으로 5nm의 정밀도를 가지며, Z축은 상하로 움직이며 기본 40nm의 정밀도로 제어된다. Z축에는 회전공구를 장착할 수 있는 70,000 RPM의 고정밀 에어스핀들이 부착되어 있다. 공작물 밑에는 0.002N의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치하여 가공 중 발생하는 절삭력을 분석하였다.

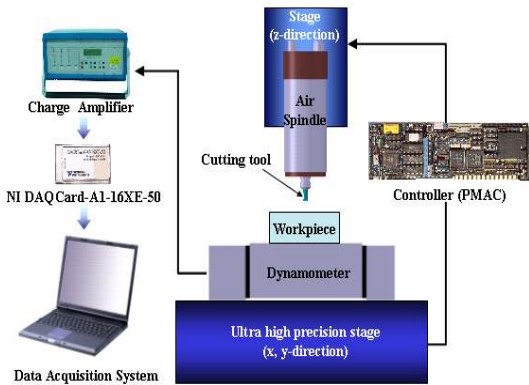


Fig. 1 Schematic of experimental set-up

2.2 공구 및 피삭재

Fig. 2는 본 실험에 사용한 SUS316L 소재의 가공특성 분석을 위하여 사용된 마이크로 엔드밀 형상이다. 날수 2개, 직경 0.1mm, 유효날장 0.3mm, 공구전체 길이 50mm, 생크직경 6mm이며, 표면의 카바이드(carbide)코팅 처리된 평 엔드밀이다.

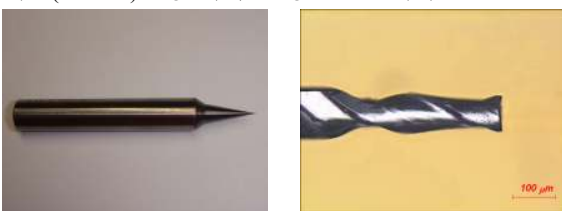


Fig. 2 Cutting tool ($\varnothing 100\mu\text{m}$)

2.3 실험방법 및 조건

Fig. 3은 미세 채널 가공법의 모식도를 나타낸다. 소재는 저탄소강의 비중 7.98인 SUS316L을 사용하였으며, 소재의 크기는 15mm×15mm이다. 공구는 시계방향으로 고속회전하고 Y축에 이송을 주어 가공하며, X축에서 피치를 제어한다. 이러한 과정을 반복하여 미세 채널을 가공하게 된다.

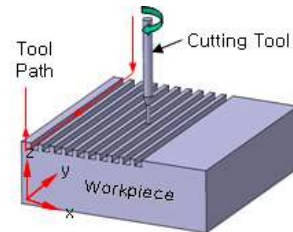


Fig. 3 Fabrication method

표 1은 가공조건으로써, 회전속도는 50,000rpm으로 고정시켜 놓고 이송량과 깊이에 대하여 각각 3가지의 조건을 변경하면서 최적 절삭조건 설정을 위한 실험을 수행하였다. 이송속도는 10mm/min으로 고정시키고 절삭 깊이는 5 μm , 10 μm , 20 μm 의 3번으로 나누어 가공하였다. 두 번째 실험과 세 번째 실험에서는 이송속도를 20mm/min과 30mm/min으로 변경하고, 같은 방법으로 가공하였다.

Table 1 Cutting conditions

Tool diameter (μm)	Spindle revolution (rpm)	Feed rate (mm/min)	Feed per tooth (μm)	Depth of cut (μm)	Tool state	
100	50,000 ($v=15.7\text{m}/\text{min}$)	10	0.1	5	○	
				10	○	
				20	파손	
		20	0.2	0.2	5	○
					10	○
					20	×
		30	0.3	0.3	5	○
					10	파손
					20	×

○: 가공성공

×: 미실험

Fig. 4는 미세가공 시스템의 스피들에 공구를 장착하여 SUS316L 재료를 가공 중인 모습이다. 공작물 아래에 지그를 장착한 후 공구동력계를 사용하여 절삭력을 측정할 수 있게 하였다. 공구를 Z축으로 상하 절입 운동을 시키며 미세채널을 가공하였다.



Fig. 4 Micro endmilling system for experiments

3. 실험결과 및 고찰

이송속도 및 절삭 깊이에 따른 가공결과를 Fig. 5에 나타내었다. 가공된 미세채널의 형상과 채널 가공 시 발생한 가공 조건에 따른 칩의 형상을 SEM장비를 통하여 분석한 사진이다. Fig. 5(a), (b), (c)는 이송속도를 10mm/min으로 고정하고 절삭 깊이를 변경한 결과이다. 가공면의 상태는 전반적으로 양호하였으나, 절삭 깊이가 깊어질수록 칩 배출이 원활하지 않아 절삭 깊이 5 μ m에 비하여 10 μ m의 가공결과 더 많은 버(burr)가 발생한 것을 확인할 수 있었다. 칩의 형상은 미소 전단형 칩으로 전반적으로 상면 방향에 버가 발생한 것을 알 수 있다. 절삭 깊이 20 μ m으로 가공했을 때 과도한 절삭부하로 인해 공구가 파손되는 현상이 나타났으며, 파손된 공구의 모습은 (c)에 나타내었다. Fig. 5 (d)와 (e)는 이송속도를 20mm/min으로 고정하고 절삭 깊이 변화에 따른 가공 결과이다. 이송속도를 10mm/min으로 했을 때와 비교했을 때 20mm/min으로 한 가공결과가 10mm/min에 비하여 버가 현저하게 발생하였지만, (d)와 (e), (f) 상면의 좌측 가공면은 이송속도가 빠름으로 인해 진동이 발생하여 면이 고르지 못한 것을 알 수 있었다. 또한 이송속도를 높였을 때도 절삭 깊이가 깊어질수록 버의 발생이 많아짐을 가공결과를 통하여 알 수 있다. 칩 형상은 미소 전단형 칩이지만 끊어짐 현상이 이송속도를 10mm/min으로 했을 때보다는 적게 발생한 것을 알 수 있다. (g)는 이송속도를 30mm/min으로 하고 절삭 깊이를 10 μ m로 했을 때 파손된 공구로써, 이송속도가 빠를 경우에 공구에 무리를 주어 파손됨을 확인할 수 있었다.

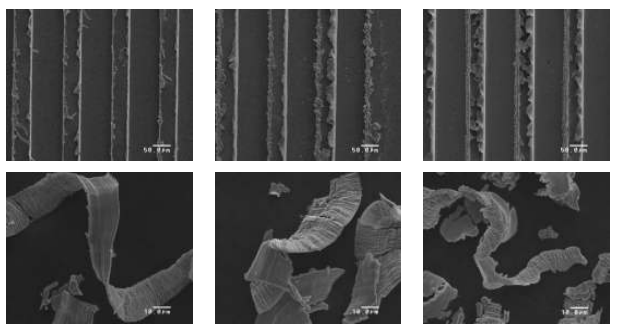
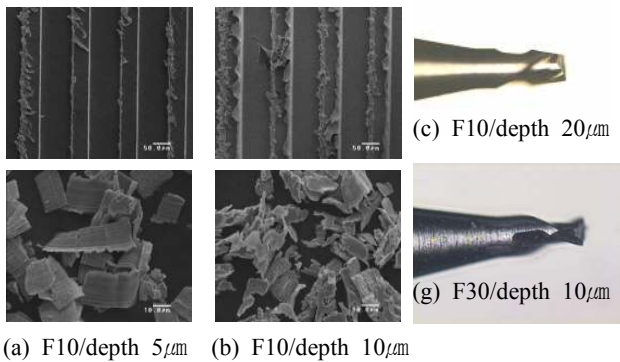


Fig. 5 Machined surface of micro channel structure and chip formations and broken tools with cutting conditions

Fig. 6은 이송속도 및 절삭속도에 따른 각 조건에 대한 절삭력을 측정된 결과이다. 사각형의 좌표가 Y축, 원형의 좌표가 Z축에 대한 절삭력을 나타낸다. X축은 가공 시에 발생하는 절삭력의 크기가 거의 미소하기 때문에 포함시키지 않았다. 결과에서 보듯이 미세 채널가공은 Y축과 Z축에 대한 절삭력이 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

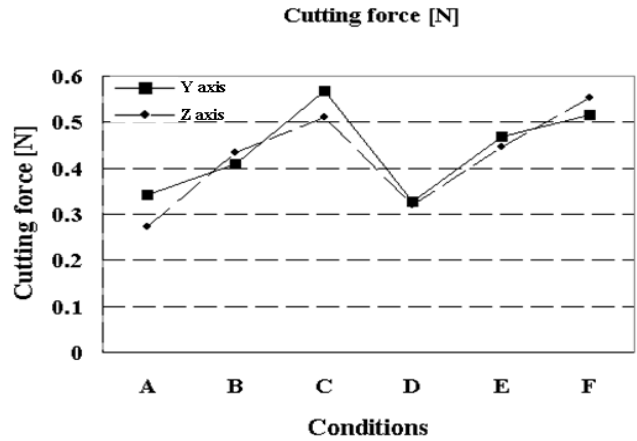


Fig. 6 Cutting force

A: Feed rate 10mm/min, depth: 5 μ m
 B: Feed rate 10mm/min, depth: 10 μ m
 C: Feed rate 10mm/min, depth: 20 μ m
 D: Feed rate 20mm/min, depth: 5 μ m
 E: Feed rate 20mm/min, depth: 10 μ m
 F: Feed rate 30mm/min, depth: 5 μ m

Fig. 6의 A는 절삭 깊이를 5 μ m로 했을 때의 최대절삭력은 0.34N인 것에 반해 B의 10 μ m 깊이로 가공 시에는 약 0.14N가량 증가한 0.41N이 발생했다. C의 깊이 20 μ m로 했을 때는 공구가 소재에 닿자마자 파손되어 절삭력이 크게 발생한 것을 알 수 있었다. Fig. 6의 D, E는 이송속도를 20mm/min으로 하고 각 절삭 깊이를 다르게 했을 때의 절삭력을 나타낸다. 절삭력의 크기는 Fig. 6의 A, B, C와 거의 비슷하지만 이송속도가 빠름으로 인해 진동 및 가공표면에 대한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이송속도를 30mm/min으로 하고 깊이를 5 μ m에 대한 결과는 F와 같다. 깊이를 10 μ m으로 가공 시에는 공구가 소재에 닿자마자 파손되어 Fig. 6 C의 결과와 비슷하였다.

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 엔드밀 공구를 이용하여 SUS316L 소재의 미세 채널 가공시의 공구의 파손상태를 파악하고 최적절삭 조건을 얻기 위하여 절삭 깊이 및 이송속도 변화에 따른 가공 특성을 분석하였다. 그 결과 엔드밀 회전속도 50,000rpm에서 이송속도는 20mm/min, 절삭 깊이는 10 μ m로 한 결과가, 본 실험에서 사용한 공구의 안정성 및 가공표면의 측면에서 가장 적합하다는 결론을 얻었다. 향후 회전속도 및 공구직경을 변경하며 최적 가공조건을 도출하는 보완 연구를 수행 할 예정이다.

참고문헌

1. 조병무, 이동주, "볼 엔드밀 가공 시 공구 경로에 따른 절삭특성에 관한 연구", 한국공작기계학회논문집, pp. 191~197, 2007
2. T. Je, J. Lee, D. Choi, E. Lee and B. Shin, "Development of a Micro Machining Technology for Fabrication of Micro parts", Key Engineering Materials, Vol.238-239, pp.383-388, 2003
3. 김상진, 함승덕, 김형철, 김기수, "소경 엔드밀에 의한 STS304의 가공특성", 한국정밀공학회논문집, pp.1261-1264
4. 제태진, 이용숙, 이종찬, 최환, "미세 엔드밀에 의한 마이크로 샤프트 가공기술 연구", 한국정밀공학회논문집, pp.181-184