

액화질소를 이용한 고정도 하드 터닝

박영우*(충남대 메카트로닉스공학과), 김기수(충남대 기술교육과)

Precision Hard Turning with Cryogenic Cooling

Y. W. Park(Mechatronics Eng. Dept., CNU), K. S. Kim(Technology Education Dept., CNU)

ABSTRACT

This paper presents an analytical and experimental study of a cryogenic machining for precision hard turning. A cryogenic circulation system is designed and mounted on the top of the tool insert. The machining process used is facing operation on a CNC turning center with dry and cryogenic conditions. The tool temperature and cutting forces are measured by the K-type thermocouple and by a three-component Kistler dynamometer respectively. Both data are fed into the data acquisition program through an A/D card. Surface roughness and form accuracy of the machined surfaces are measured by WYKO NT2000. It is found that the tool temperature with cryogenic cooling is much lower than that with no coolant. It is also found that surface roughness and form accuracy with cryogenic cooling are better than those with no coolant.

Key Words : cryogenic cutting (극저온 절삭), dry cutting (건식 절삭), tool temperature (공구 온도), form accuracy (형상 정밀도), machined surface (가공면)

1. 서론

금속 절삭은 오랜 역사를 가지고 있으며, 일반적으로 상온에서 수행되는 것으로 가정한다. 절삭에 사용되는 일은 대부분 열로 바뀌어서 공구, 공작물, 그리고 칩의 온도가 상승하게 된다. 이러한 온도의 상승은 공작물의 표면 특성에 직접적인 영향을 미치는 절삭력과 공구의 마멸 특성과 깊은 연관이 있다. 일반적으로 절삭속도가 빨라지면, 공구-칩 인터페이스의 온도가 상승하여 절삭력은 작아지지만 공구의 마멸은 촉진되는 것으로 알려져 있다. 따라서 공구의 가공점에 대한 온도 제어는 중요하다. 일반적인 접근법은 절삭유를 절삭부위에 뿌리는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 최근의 환경 문제 등으로 인하여 어려움이 많이 있다 또한, 기존의 절삭유 공급은 시스템적인 접근보다는 많이 뿌리면 좋다는 관념적인 면이 많이 있다. 최근에는 친환경적인 공정의 개발에 대한 요구가 점점 강해지고 있다. 절삭분야에서도 절삭유를 가능한 한 적게 쓰거나, 아예 안 쓰는 쪽으로 연구가 진행되고 있는 상태이다. 액화질소를 이용한 극저온 절삭이나 건식 절삭이 이러한

추세를 반영하는 것이라고 볼 수 있다.

관련 연구로는 동 합금의 밀링 가공에서의 액화질소를 이용한 냉각방법을 재료적인 관점에서 접근한 연구[1], 공구-칩 인터페이스에 액화질소를 체트르 분사하여 저탄소강의 칩 파쇄성을 높이고자 하는 연구[2], 티타늄 합금의 절삭시에 발생하는 높은 온도를 제어하기 위해 공구 상단에 액화질소 순환시스템을 설계하여 공구를 냉각시키는 연구[3], 스테인레스강의 절삭을 위한 액화질소를 이용한 공구와 공작물의 냉각에 관한 연구 [4] 등이 있다.

상기의 연구들이 다양한 재료에 대하여 다양한 관점에서 연구가 이루어졌지만, 대표적인 난삭재인 경화강의 가공면의 특성, 특히 형상정밀도에 대한 극저온의 효과에 대한 연구는 전문한 상태이다

따라서 본 연구에서는 경화강의 건식 및 극저온 절삭시에 발생하는 열을 실험적으로 관찰하고, 이러한 극저온 절삭이 가공면의 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하고자 한다.

2. 실험방법

절삭실험의 대상편은 지름 40 mm 부분의 끝단으로 단면 절삭 실험을 수행하였다. 절삭실험의 목적을 이루기 위하여, 절삭실험은 절삭유를 사용하지 않는 건식 절삭과 액화질소를 순환시키는 극저온 절삭으로 나누어 수행되었다. 절삭력의 측정을 위하여 Kistler사의 압전식 공구 동력계(type 925713)와 전하 증폭기(type 5011)를 사용하였다. 전하 증폭기의 스케일은 1 volt당 100 N으로 세팅하였다. 절삭온도를 측정하기 위하여 열전대를 공구에 삽입하여 사용하였다. 직경 0.32 mm의 K 타입 열전대를 사용하였으며, 공구홀더의 밑 부분으로부터 직경 1.5 mm의 구멍을 PCBN 팁과의 인터페이스에 가능한 한 가까이 방전가공으로 뚫어서 삽입하였다. Chromel(+)와 Alumel(-)로 구성된 K 타입의 열전대는 -270°C ~ 1372°C 범위의 온도를 측정할 수 있다. 열전대는 Advantech사의 열전대 입력 모듈인 ADAM-4018과 ADAM-4520을 사용하였다. 데이터 취득용 프로그램은 NI사의 LabVIEW를 이용하여 공구 동력계로부터의 절삭력과 열전대로부터의 절삭온도를 동시에 측정할 수 있도록 개발하였다. 전하 증폭기로부터의 절삭력 신호와 ADAM-4520으로부터의 절삭온도 신호는 NI사의 DAQ1200 A/D 카드를 통해 데이터 취득용 프로그램으로 입력된다. 공구마멸에 따른 실험 값의 오차를 줄이기 위하여 매 실험 순서마다 공구를 교환하였다. 가공면의 표면 거칠기 및 형상정밀도는 WYKO사의 레이저 간섭에 의한 비접촉식 표면조도 측정기인 NT2000으로 측정하였다. 본 연구의 실험 구성도는 Fig. 1과 같다.

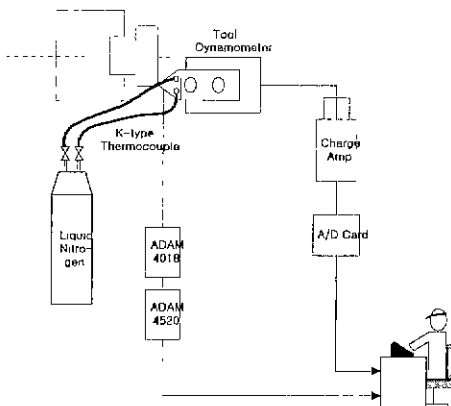


Fig. 1 Experimental Setup

3. 실험결과

3.1 절삭력

절삭력은 데이터 수집 프로그램에서 측정된 volt값에 전하증폭기의 스케일을 곱하여 계산된다. 본 실험에서는 100N/V으로 세팅하였으므로 각 volt값에 100을 곱하면 절삭력을 구할 수 있다. 절삭력은 절삭이 정상상태가 되었을 때의 값을 평균하여 구한 값이다.

건식 절삭과 극저온 절삭 모두에서 절삭조건과는 상관없이 배분력(y축)이 가장 크게 나타났다. 이러한 이유로는 본 실험에서 사용한 절삭깊이가 절삭공구의 노즈 반경에 비해 작고 절삭날은 모따기 되어 있으므로, 칩 형성이 절삭공구의 모서리와 노즈 반경내에서만 발생하여 절삭력이 작용하는 방향이 배분력 방향으로 바뀌게 된다. 건식 절삭의 경우 전부의, 극저온 절삭의 경우 일부의 이송분력(x축)이 음의 값으로 나오는 것은 본 연구에서 수행한 단면절삭의 방향이 공작물의 가장자리에서 중심으로 향하기 때문이다. Fig. 2는 절삭시간에 따른 대표적인 절삭력의 형태를 나타낸다.

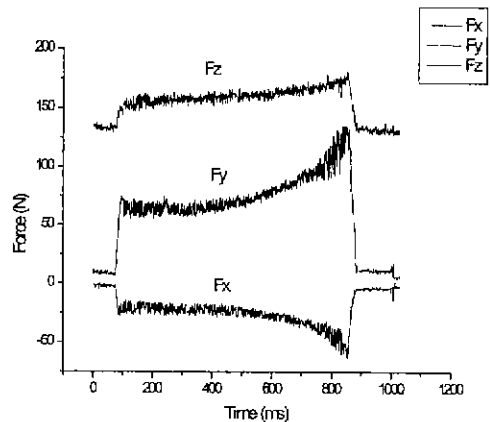


Fig. 2 Typical Cutting Force Data vs. Cutting Time

3.2 절삭온도

Fig. 10은 열전대를 이용해 절삭속도 50 m/min, 이송속도 0.005 mm/rev, 절삭깊이 50 μ m에서 측정된 공구 온도이다. 위의 그래프는 건식 절삭시의 공구 온도의 변화이고, 아래 그래프는 극저온 절삭시의 공구 온도의 변화이다. Table 1은 각 절삭조건에 따른 공구의 최고 온도를 정리한 것이다. Table 1에서 DD는 건식절삭을, CC는 극저온 절삭을 각각 의미한다. Table 1로부터 건식 절삭시의 최고온도

는 295℃이고 극저온 절삭시의 최고온도는 36℃임을 알 수 있다. 이러한 값은 실제 문헌상에 나타난 값보다 훨씬 작음을 알 수 있다. 그 이유로는 열전대가 초경에 경납된 PCBN 텀의 밑 부분에 닿아야 하나, 실험 후에 자세히 살펴본 결과 열전대가 PCBN 텀의 밑 부분에서 일정한 간격을 두고 삽입되어 있었기 때문인 것 같다. 화학적 반응은 온도에 따라 지수적으로 증가한다 [3]. 따라서 극저온 절삭시에 경화강의 화학적 반응은 공구의 성능을 향상시키는 절삭온도의 감소로 인해 감소한다.

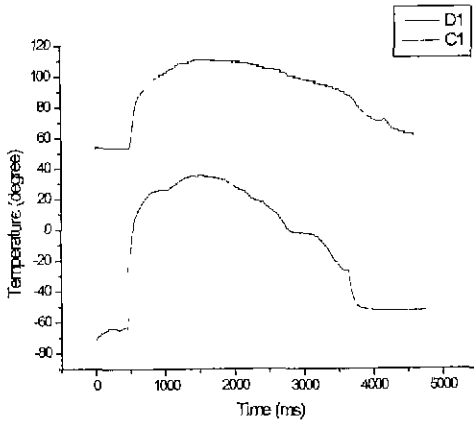


Fig 3 Typical Tool Temperature vs. Cutting Time

Table 1 Measurements of Max Tool Temperatures

Exp No.	V m/min	f mm/rev	t μm	Max. Temp.(°C)	
				DC	CC
1	50	0.005	50	111	36
2	50	0.010	100	150	90
3	50	0.020	200	253	184
4	100	0.005	100	243	143
5	100	0.010	200	294	198
6	100	0.020	50	202	116
7	200	0.005	200	295	215
8	200	0.010	50	206	111
9	200	0.020	100	245	151

3.3 가공면의 특성분석

가공면의 특성은 표면 거칠기와 형상 정밀도의 분석을 통해 이루어졌다. 표면 거칠기와 형상 정밀도는 WYKO사의 레이저 간섭에 의한 비접촉식 표면조도 측정기인 NT2000으로 측정하였다

Table 2는 각 절삭조건에 따른 가공면의 표면 거칠기와 형상 정밀도를 정리한 것이다. 표면 거칠기는 Ra값을 사용하였으며, 두 번째와 여섯 번째 실험을 제외하고는 같은 조건에서 극저온 절삭에 의한 값이 건식 절삭에 의한 값보다 작음을 알 수 있다. 이것은 극저온 절삭이 가공면의 표면 거칠기 향상에 효과가 있음을 의미하며, 평균적으로 약 16%의 표면 거칠기 향상을 이룰 수 있었다. 형상 정밀도는 P-V 값을 사용하였으며, 두 번째와 여섯 번째 실험을 제외하고는 같은 조건에서 극저온 절삭에 의한 값이 건식 절삭에 의한 값보다 작음을 알 수 있다. 이것은 극저온 절삭이 형상 정밀도의 향상에 효과가 있음을 의미하며, 평균적으로 약 12%의 형상 정밀도 향상을 이룰 수 있었다. 이와 같이 가공면의 특성 분석치가 향상된 것은 액화질소를 이용한 극저온 냉각방법이 절삭시 공구의 온도를 낮추어 공구의 성능을 향상시켰기 때문이다. 이러한 결과는 발표된 논문들의 결과와 일치하는 것이다 [3, 4].

Table 2 Surface Roughness and Form Accuracy

Exp No.	V	f	t	Ra (nm)		P-V (μm)	
				DC	CC	DC	CC
1	1	1	1	162	159	1.84	1.91
2	1	2	2	174	210	1.98	2.82
3	1	3	3	259	196	2.64	2.31
4	2	1	2	147	110	1.79	1.47
5	2	2	3	153	124	2.01	1.90
6	2	3	1	89	190	1.26	2.13
7	3	1	3	98	96	1.84	1.49
8	3	2	1	125	112	1.96	1.92
9	3	3	2	126	105	1.63	1.46

4. 결론

본 연구에서는 경화강의 건식 및 극저온 절삭시에 발생하는 열을 실험적으로 관찰하였고, 이러한 극저온 절삭이 가공면의 특성에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다.

다음은 본 연구의 결론이다:

1. 건식 절삭과 극저온 절삭 모두에서 절삭조건과는 상관없이 배분력(y축)이 가장 크게 나타났다. 이것은 사용한 절삭깊이가 절삭공구의 노즈 반경에 비해 작고 절삭날은 모따기되어 있으므로, 칩형성이 절삭공구의 모서리와 노즈 반경내에서만 발생하여 절삭력이 작용하는 방향이 배분력 방향으로 바뀌었기 때문이다.
2. 건식 절삭시의 최고온도 259℃가 극저온 절삭시에는 36℃로 감소하는 것으로 예측되었다. 이러한 값은 실제 문헌상에 나타난 값보다 훨씬 작음을 알 수 있다. 그 이유로는 열전대가 초경에 경납된 PCBN 팁의 밀 부분에 닿아야하나, 실험 후에 자세히 살펴본 결과 열전대가 PCBN 팁의 밀 부분에서 일정한 간격을 두고 삽입되어 있었기 때문인 것 같다.
3. 가공면의 특성분석 결과, 극저온 절삭으로 인해 표면조도는 약 16%, 형상정밀도는 약 12% 향상된 것으로 나타났다. 이것은 액화질소를 이용한 극저온 냉각방법이 절삭시 공구의 온도를 낮추어 공구의 성능을 향상시켰기 때문이다.

후기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(97-02-00-08-3)지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Dillon, O. W., De Angelis, R. J., Lu, W. Y., Gunasekera, J. S., and Deno, J. A., "The Effect of Temperature on the Machining of Metals", Journal of Material Shaping Technology, Vol. 8, No. 1, pp.23-29, 1990.
2. Hong, S., Ding, Y., and Ekkens, R. G., "Improving Low Carbon Steel Chip Breakability by Cryogenic Chip Cooling", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 39, pp.1065-1085, 1999.
3. Wang, Z. Y., Rajurkar, K. P., and Fan, J.,

"Turning Ti-6Al-4V Alloy with Cryogenic Cooling", Transactions of NAMRI/SME, Vol. 24, pp.3-8, 1996

4. Evans C., "Cryogenic Diamond Turning of Stainless Steel", Annals of the CIRP, Vol. 40/1, pp.571-575, 1991.