

HPDL 을 이용한 질화규소의 예열선삭공정 연구 Study on Laser Assisted Machining Process of Silicon Nitride by using HPDL

*임세환¹, #이제훈¹, 신동식¹, 김종도², 김주현³

*S. H. Lim¹, #J. H. Lee(jaholee@kimm.re.kr)¹, D. S. Shin¹, J. D. Kim², J. H. Kim³

¹ 한국기계연구원 지능형생산시스템본부, ² 한국해양대학교 기관시스템공학부, ³ 국민대학교 기계자동차공학부

Key words : Laser-assisted machining, Silicon nitride, Cutting force, Flank wear,

1. 서론

계속되는 제품의 소형화와 경량화로 기계적 성질이 우수한 신소재가 개발되고 있으며 이로 인해 난삭재 가공기술의 개발이 끊임없이 이루어지고 있다. 연삭이나 다이아몬드 가공 공정 등을 통해 우수한 품질을 얻을 수 있지만 높은 강성을 갖는 공작기계가 요구될 뿐만 아니라 공구마모율이 높고 소재제거율(MRR, Material Removal Rate) 낮아 생산단가가 높아지기 때문에 실용화에 큰 어려움을 겪고 있다.

LAM(Laser-assisted machining)은 TAM(Thermally assisted machining)의 일종으로 레이저 열원을 통해 가공물을 가열함으로써 높은 MRR 과 우수한 표면품질을 얻을 수 있는 절삭가공법이며, 국내에서는 레이저 예열선삭이라는 명칭을 사용하기도 한다.

레이저 예열선삭 공정은 질화규소(silicon nitride),^{1,2} 지르코니아(zirconia),³ 물라이트(mullite),⁴ 알루미나(alumina),⁵ CGI(Compacted Graphite Iron),⁶ Inconel 718, 등의 다양한 난삭재 가공에 적용되어 왔다.

이와 같이 레이저 예열선삭에 적용되는 재료들은 세라믹스 재료가 주를 이루고 있기 때문에, 세라믹의 흡수율이 높은 파장을 갖는 CO₂ 레이저가 주로 사용되어 왔다. 그러나 CO₂ 레이저는 미러를 통해서 빔 전송을 해야 하기 때문에 상용화에 어려움이 따른다. 다이오드 레이저의 경우 광화이버에 의한 빔 전송이 가능하기 때문에 공작기계에 접목하기 좋은 장점을 갖는다.

질화규소는 지르코니아, 알루미나 등과는 다르게 다이오드 레이저의 파장인 근적외선(near infra-red, NIR)에 대한 흡수율이 0.7 로 비교적 높고 열전도율과 파괴강도가 우수하여 열응력에 의한 파손 가능성이 적기 때문에 다이오드 레이저를 이용한 예열선삭에 매우 유리하다.

본 연구에서는 HPDL(High Power Diode Laser: 고출력 다이오드 레이저)가 장착된 레이저 복합가공기를 이용해 질화규소의 예열선삭 실험을 수행함으로써 공정의 상용화를 실현하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1 은 실험에 사용된 레이저 복합가공기의 외관이다. 레이저는 LASERLINE 사의 fiber coupled HPDL (LDF1000-2500)로 910nm 와 980nm 의 파장을 가지는 빔이 커플링되었고, 최대 출력은 2.5kW 이다. 레이저 빔의 형상은 Fig. 2 와 같이 5x5mm 크기의 사각빔으로 중앙의 4x4mm 는 평탄한 레이저 출력을 갖는다.

절삭력 측정에는 Kistler 사의 9257B type 공구동력계(dynamometer)가 사용되었으며, 측정범위는 -5~5kHz 로 주분력(F_c), 배분력(F_f), 이송분력(F_f)을 1 초에 5 회 샘플링하여 실시간 계측하였다. 표면 온도측정에 사용된 고온계(pyrometer)는 Kleiber 사의 KGAF 730 모델로 사용되는 파장은 1.58~2.2 μm 이며 측정범위는 300~2300℃이다.

실험에 사용된 절삭공구는 Taegutec 사의 CNMA 120408 LN T650 모델로 외경가공에 널리 사용되는 선삭용 인서트로서 음의 경사각을 가지며 재료는 CBN(Cubic Boron Nitride) 이고 노즈반경은 0.8mm 이다. 공구홀더는 PCLNR-2525 모델을 사용하였다.



Fig. 1 Experimental system for laser assisted machining of silicon nitride

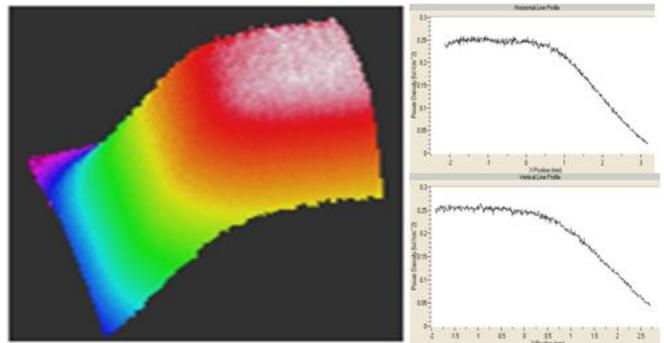


Fig. 2 Beam profile of the fiber coupled HPDL

질화규소 시편의 직경은 16mm 이며 길이는 150mm 이다. 시편은 정수압 성형후 HIP(Hot Isotropic Pressing) 공정을 통해 제작되었으며 육각기둥 형상을 갖는 90wt%의 Si₃N₄ 입자와 10wt%의 YSiAlON glass 로 구성된다. HIP의 장점은 균일하고 미세한 입자를 얻을 수 있고, 내부 결함이나 공극이 적기 때문에 소결품에 비해 높은 강도를 얻을 수 있다.

3. 실험결과

레이저 예열선삭공정에서 안정적인 가공을 위해서는 절삭이 시작되기 전에 예열을 통해 가공부의 온도를 충분히 높여주어야 한다. 예열시간을 결정하기 위해 Fig. 3 과 같이 레이저 출력이 600W 일 때의 시편 회전속도에 따른 표면 온도를 측정하였다. 온도측정을 위한 고온계의 위치는 시편을 기준으로 레이저와 90° 를 이루고 있다. 레이저 조사가 시작되면서 표면의 온도가 급격하게 증가하다가 증가율이 점차 감소하면서 약 58 초 경과 후 수렴하는 경향을 보였고, 수렴온도는 약 1450℃ 전후로 회전속도에 따른 큰 차이는 보이지 않았다.

절삭실험은 레이저 출력을 600W, 예열시간을 58 초, 이송거리를 20mm 로 하고 시편 회전속도, 절삭깊이, 이송속도의 변화에 따른 절삭특성을 분석하였다. CBN 인서트는 레이저와의 각도가 180° 인 지점에 위치하고 절삭실험 조건은 Table 1 과 같다.

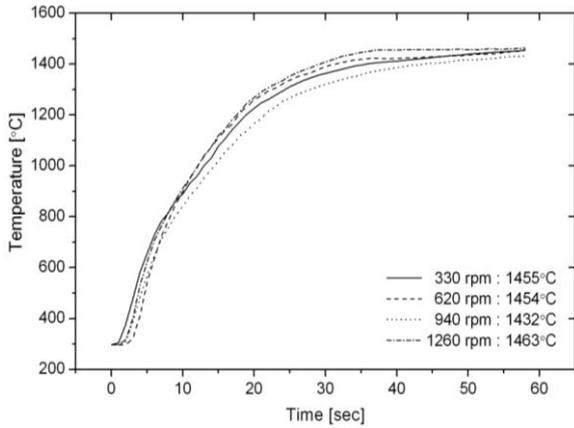


Fig. 3 Surface temperature histories for different rotational speed

Table 1 의 온도는 20mm 의 이송이 끝나는 지점에서의 시편표면 온도이다. 이송속도가 증가할 경우 시편에 축적된 에너지가 감소함으로써 약간의 온도감소를 보였으나 큰 차이는 보이지 않았다.

Table 2 는 절삭력과 플랭크 마모를 측정된 결과이다. 분당 이송속도가 일정한 상태에서 시편의 회전속도가 증가할 경우(1, 2, 3 번 조건) 1 회전당 이송량이 감소하기 때문에 절삭력이 감소할 수는 있지만 절삭속도가 증가되어 1260rpm 의 높은 회전속도에서는 CBN 인서트가 파손되었다. 절삭력과 공구마모의 측정결과를 통해 620rpm 이 가장 안정적인 조건으로 판단되었고, 이를 기준으로 절삭깊이와 이송속도에 대한 절삭실험을 수행하였다.

절삭깊이를 증가시킬 경우(2, 4, 5, 6 번 조건) 절삭력과 공구마모가 상승하는 경향을 보였으며, 0.9mm 의 조건에서 공구가 파손되었다.

Table 1 Experimental condition for LAM of silicon nitride

No.	Rotational speed (rpm)	Depth of cut (mm)	Feed rate (mm/min)	Temperature (°C)
1	330	0.3	8.06	1430
2	620	0.3	8.06	1422
3	1260	0.3	8.06	1450
4	620	0.5	8.06	1432
5	620	0.7	8.06	1440
6	620	0.9	8.06	1441
7	620	0.5	14.88	1395
8	620	0.5	18.6	1400

Table 2 Comparison of measured cutting force components and tool flank wear

No.	Principle force (N)	Thrust force (N)	Feed force (N)	Flank Wear (mm)
1	47.49	54.96	30.17	0.22
2	43.97	65.64	32.97	0.20
3	28.90	39.82	23.40	fractured
4	72.14	105.92	68.90	0.35
5	84.47	92.93	82.61	0.49
6	112.00	109.53	123.69	fractured
7	86.40	106.50	86.48	0.37
8	115.01	199.17	126.02	0.62

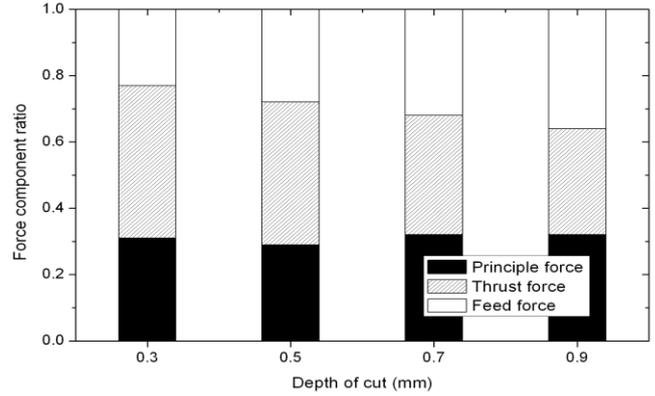


Fig. 4 Comparison of cutting force component ratio for different depth of cut

절삭깊이가 인서트의 노즈반경(0.8mm)보다 적을 경우 3 가지 절삭 분력 중 배분력이 차지하는 비율이 가장 높았으나 절삭깊이가 증가함에 따라 그 비율이 점차 감소하였고, 노즈반경보다 큰 0.9mm 의 조건에서는 이송분력의 비중이 가장 높아졌다. 이송분력이 증가할 경우(4, 7, 8 번 조건)에도 절삭력과 공구마모가 급격하게 증가하였으나 절삭분력간의 비율은 큰 차이를 보이지 않았다.

4. 결론

HPDL 을 이용해 질화규소의 레이저 예열선삭 공정실험을 수행하였고, 600W 의 레이저 예열을 통해 16mm 직경의 질화규소 시편의 외경선삭가공이 가능함을 보였다. 절삭속도가 높은 경우 낮은 절삭력에서도 CBN 인서트가 파손될 수 있다. 절삭깊이와 이송속도가 증가함에 따라 절삭력과 공구마모가 상승하였으며, 절삭깊이가 변화함에 따라 절삭분력의 비율에 차이를 보였으나 이송속도의 변화에 의해서 는 차이를 보이지 않았다.

후기

본 연구는 지식경제부의 지역산업기술 개발 사업인 “레이저 복합가공기용 핵심광학모듈 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Lei, S., Shin, Y. C. and Incropera, F. P., “Deformation Mechanisms and Constitutive Modeling for Silicon Nitride Undergoing Laser-Assisted Machining,” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, pp. 2213-2233, 2000
2. Rozzi, J. C., Pfefferkorn, F. E. and Shin, Y. C., “Experimental Evaluation of the Laser Assisted Machining of Silicon Nitride Ceramics,” Transactions of the ASME, Vol. 122, pp. 666-670, 2000
3. Pfefferkorn, F. E., Shin, Y. C., Tian, Y. and Incropera, F. P., “Laser-Assisted Machining of Magnesia-Partially-Stabilized Zirconia,” Transactions of the ASME, Vol. 126, pp. 42-51, 2004
4. Rebro, P. A., Shin, Y. C. and Incropera, F. P., “Laser-Assisted Machining of Reaction Sintered Mullite Ceramics,” Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 124, pp. 875-885, 2002
5. Chang, C.W., Kuo, C.P., “An Investigation of Laser-Assisted Machining of Al2O3 Ceramics Planing, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.47, pp. 452-461, 2007
6. Skvarenina, S. and Shin, Y. C., “Laser-Assisted Machining of Compacted Graphite Iron,” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pp. 7-17, 2006