# 난삭강의 레이저 복합가공에 관한 연구 The Study for Laser-Assisted Machining of Difficult-to-Cut Steel 김관우<sup>1</sup>, \*<sup>#</sup>조해용<sup>2</sup>, 이제훈<sup>3</sup>, 서정<sup>3</sup>, 신동식<sup>3</sup>, 임세환<sup>3</sup>

K. W. Kim<sup>1</sup>, \*<sup>#</sup>H. Y. Cho(<u>hycho@cbnu.co.kr</u>)<sup>2</sup>, J. H. Lee<sup>3</sup>, J. Suh<sup>3</sup>, D. S. Shin<sup>3</sup>, S. H. Lim<sup>3</sup> <sup>1</sup>충북대학원 정밀기계과, <sup>2</sup>충북대학교 기계공학부, <sup>3</sup>한국기계연구원 레이저공정연구팀

Key words : AISI 304, Diode laser, Finite element analysis, Laser assisted machining

## 1. 서론

대표적인 난삭강 중 하나인 AISI 304는 오스트나이트계 스테 인리스강으로 내부식성, 성형성, 저온강도 등이 우수하지만, 일 반 절삭 시 짧은 공구수명, 가공 후 거친 표면조도 등의 문제가 있다. 이를 개선하기 위해서는 절삭가공 변수의 영향파악 및 적절한 조건설정, 가공 툴 개선 등이 필요하며 관련 연구들이 진행되어 왔다<sup>1~2</sup>.

절삭가공 시 난삭재는 취성, 인성 등이 큰 재료물성이 문제가 된다. 상온에서의 재료강도는 온도가 상승할수록 저하되는 특성 을 나타내는 것이 일반적이기 때문에 소재예열 후 가공을 통해 절삭성을 향상시킬 수 있다.

최근 레이저를 접목시킨 복합가공에 대한 관심이 증대되고 있으며 공작기계에 접목시킨 레이저 복합가공기 개발 및 활용, 난삭재의 복합가공에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>3~9</sup>. 특히 레이저를 이용한 예열선삭의 복합가공에 있어서 레이저 종류, 예열조건 등에 따른 가공 공정 및 조건설정에 관한 많은 기초연구가 필요하며, 최근 들어 국내에서도 관련연구가 시작되 었다<sup>6~9</sup>.

본 연구는 고출력 다이오드 레이저를 접목시킨 복합가공기의 활용 및 상용화에 대한 난삭재 예열 후 가공의 레이저 복합가공 연구 중 AISI 304의 예열선삭에 관한 것이다. AISI 304환봉의 레이저를 이용한 예열, 황삭 가공에 있어서 각 공정 및 가공 변수의 영향을 파악하기 위한 기초실험을 하고, 실험과 동일조건 의 열 해석을 하였다. 즉 가공조건에 따른 기초실험을 통해 절삭 력, 표면온도변화를 측정하고 분석하여 가공변수 영향을 파악하 고, 동일조건해석의 온도분포결과 분석을 통한 조건변화에 따른 가공범위 예측 및 적정 가공조건 설정에 대해 검토하고자 하였다.

#### 2. 실험 및 유한요소 해석

상용 유한요소프로그램인 MARC를 이용하여 열 해석을 하였 고 Fig.1은 해석모델을 나타낸 것으로 크기는 직경 20mm, 길이 150mm이다. 축대칭을 감안하여 1/4모델링하였고 레이저조사부 는 사각열원에 의한 입열과 급격한 열 이력을 겪음으로 그림과 같이 조밀하게 요소 분할하였다.

Fig. 2(a)는 다이오드 레이저 사각빔에 대한 열원모델을 나타낸 것이다. 입열과 냉각에 대한 경계조건은 서브프로그램으로 적용 되며 열원의 경우 그 크기와 에너지밀도 값이 조절가능하고 Fig. 2(b)는 환봉표면에서의 열원 이동경로를 나타낸 것이다. 프로그램에서 소재의 회전속도와 빔의 Z축 방향 이송속도 변수 값에 따라 이동 경로 및 속도가 결정된다.

Fig. 3은 AISI 304의 열적물성을 나타낸 것으로 SYSWELD 프로그램의 재료물성 데이터를 활용하였다. 예열 시 재료의 온도



Fig.1 Analysis model





변화에 따라 열 전도율, 비열 등은 달라짐으로 온도에 따른 물성 값이 적용되어야 한다.

Fig.4는 실험장치 및 배치를 나타낸 것이다. 2kW급 고출력 다이오드레이저, 선반, 광학계, 파이로미터, 공구동력계 등으로 구성된다.

Fig. 5에서와 같이 레이저빔 조사각은 90°이고 45° 돌아간 위치에서 파이로미터를 통해 표면 온도측정을 한다. 레이저 빔과 바이트 사이거리는 2.3mm이고 대략적인 레이저와 선삭 조건을 Table1에 정리하여 나타내었다.



Fig.4 Experimental equipment



Fig.5 Setting of experimental equipment

Table 1 Conditions of experiment and analysis

Specification	Values
Initial temperature of specimen ( $^{\circ}C$ )	20
Rectangular beam size (mm X mm)	4 X 4
Beam power (kW)	0~1.5
Diameter of specimen (mm)	20
Cutting depth (mm)	0.8
Feed (mm/rev)	0.08
Laser-tool lead (mm)	0.3
Rotational speed (rev/min)	620

## 3. 실험 및 해석 결과

Fig. 6(a)는 예열과정 없이 Table1의 조건으로 AISI 304환봉 시편을 선삭한 경우의 주분력, 배분력, 이송분력을 측정한 결과이 다. 그림에서 알 수 있듯이 절삭 과정 중 공구 채터링이 발생되었 고 큰 절삭력이 발생하였다. 가공 후 시편의 표면조도 또한 좋지 않았다.

Fig. 6(b)는 4mm X4mm 사각 다이오드레이저 빔을 이용, 500W 출력으로 소재 표면온도가 1000℃ 이상 되게 예열한 후 선삭한 결과를 나타낸 것이다. 절삭력의 주분력, 배분력, 이송분력 값들 이 작게 측정되었고 안정화 되었으며 가공 후 시편조도 또한 개선된 결과를 볼 수 있었다. 따라서 AISI 304의 황삭 가공에 레이저 빔을 통한 예열효과가 큼을 알 수 있었다.

Fig. 7은 실험과 동일조건의 가공 전 예열에 대한 열해석 결과를 나타낸 것이다. Fig. 7(a)은 사각 빔의 입열에 대한 외부로 부터의



Fig.6 Results of experiment with pre-heat conditions



열유속 결과이고 Fig. 7(b)는 그에 따른 온도분포이다. 그림에서와 같이 예열과정 및 선삭과정 중 소재 표면 및 내부의 온도분포 예측이 가능하다. 소재예열에 대한 기초실험을 토대로 열원의 최대 에너지 밀도값을 결정하고, 예열선삭 시뮬레이션을 통하여 소재내부의 온도분포 분석을 통하여 선삭범위 및 물성변화 예측 이 가능할 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

고출력 다이오드 레이저를 접목시킨 복합가공기의 활용에 대한 연구로써 난삭강 AISI 304의 예열선삭에 대한 기초실험과 상용 유한요소프로그램인 MARC를 이용하여 열 해석을 하였다. 가공 전 예열을 통해 선삭 시 절삭력 감소 및 안정화가 가능하며 이것은 상온과 고온에서의 재료물성 차이에 기인된 것으로 생각 된다. 예열, 가공 중 소재 내 온도 분포 및 변화 등은 실험을 통해 측정 불가능한 값이지만 열 해석을 통해 가능하며 결과분석

### 후기

을 통해 선삭가능 범위 및 물성변화 값 예측뿐만 아니라 적정

가공조건 설정도 가능할 것으로 기대된다.

본 연구는 지식경제부의 지역산업기술 개발 사업인 "레이저 복합가공기 개발" 과제의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- Akasawa, T., Sakurai, H., Nakamura, M., Tanaka, T. and Takano, K., "Effect of Free-cutting Additives on the Machinability of Austenitic Stainless Steels," J. of Materials Processing Technology, Vol. 143, pp. 66~71, 2003.
- 설한욱, 송춘삼, 문창성, 김주현, "선삭가공시 지르코늄 코팅공 구의 공구마모 특성," 한국공작기계학회 추계학술대회, 5권, 1호, pp. 266~271, 2005.
- Krastel, K. and Drechsel, J., "Integration of laser processing in machine tools and their economy," SPIE, Vol. 3613, pp. 65-74, 1999.
- Pfefferkorn, F. E., Shin, Y. C. and Tian, Y., "Laser-Assisted Machining of Magnesia-Partially- Stabilized Zirconia," Transactions of the ASME, Vol. 126, No. 1, pp. 42-51, 2004.
- Rebro, P. A., Shin, Y. C. and Incropera, F. P., "Design of operating conditions for crackfree laser-assisted machining of mullite," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 44, No. 7, pp. 677~694, 2004.
- 신동식, 이제훈, 서정, 김선원, "이종복합공정용 레이저 복합가 공기 개발," 한국정밀공학회 춘계학술대회, 7권, 1호, pp. 159~ 160, 2007
- 신재호, 이춘만, 정원지, 김재실, 이원창, "레이저 복합가공기의 구조보강의 영향 평가에 관한 해석적 연구," 한국공작기계학 회 논문집, 16권, 3호, pp. 37~43, 2007.
- 김선원, 이제훈, 서정, 신동식, "HPDL의 예열에 의한 Si3N4 세라 믹스의 선삭가공," 7권, 1호, pp. 9~10, 2007.
- 이제훈, 신동식, 서정, 조해용, 김관우, "레이저 복합가공기의 국내외 동향," 한국정밀공학회지, 25권, 9호, pp. 20~26, 2008. 712