

Abrasive Film Polishing을 이용한 SUS-304의 표면거칠기·잔류응력 분석

신봉철¹ · 김병찬¹ · 임동욱¹ · 민경호[†]

인하대학교 기계공학과¹

한국폴리텍대학 인천캠퍼스 기계시스템과[†]

An analysis on the surface roughness and residual stress of SUS-304 using abrasive film polishing

Bong-Cheol Shin¹ · Byung-Chan Kim¹ · Dong-Wook Lim¹ · Kyung-Ho Min[†]

Department of Mechanical Engineering, Inha National University¹

Department of Mechanical System, Incheon Campus of Korea Polytechnic[†]

(Received June 20, 2018 / Revised July 24, 2018 / Accepted August 01, 2018)

Abstract: Recently, as the demand for high-precision parts increases due to industrial development, a machine tool system for ultra-precision machining and polishing has been actively developed. As a result, there is an increasing demand for ultra-precision surface roughness along with dimensional processing. However, due to the increase in processing time due to the demand for ultra-precise surfaces and enormous facility investment, it is difficult to secure competitiveness. The polishing process using the abrasive film in super precision machining has been applied to machines, electronic devices, aerospace, and medical fields. Super finishing using the abrasive film which is applied in the industrial field recently can achieve high surface roughness in a short time. Also, application of industrial field is increasing due to advantages such as low noise and low dust. Recently, researches on stainless steel having strong resistance to corrosion, heat resistance, toughness and weldability have been actively conducted with respect to the nuclear energy industry or marine development. Therefore, in this study, surface roughness and residual stress were measured after SUS304 polishing using dynamic analysis of film polishing apparatus and polishing film.

Key Words: Abrasive film, Residual stress, Super finishing, Surface roughness, SUS304

1. 서 론

본 연구에서 사용한 연마필름(abrasive film)을 이용한 초정밀 가공법에 관한 연구이다. 최근들어 연마필름을 제조할 수 있는 공정기술의 발달로 인하여 연마목적에 맞게 다양한 연마입자, 결합제 및 코팅방법 등이 개발되었고 형태 또는 벨트(belt), 시트(sheet), 롤 테이프(roll-tape)등이 개발되고 있다¹⁾. 초기 벨트 타입의 연마방법은 1972년 Yoshiharu

Namba에 의해 연마입자가 부착되어 있는 벨트그라인딩 방식을 제시하였으며²⁾, Susuki에 의해 폴리싱 필름을 사용하여 취성재료인 세라믹 붕에 적용한 연마 방법과 실리콘 바(silicon bar)를 폴리싱 필름을 사용하여 접촉 롤의 경도, 진동수, 가공시간에 따른 표면거칠기를 분석하였다³⁾. 이러한 연마벨트 및 연마필름을 이용한 연마방법은 기존 연삭숫돌에 비해 숫돌 밸런싱, 드레싱, 트루잉 공정 등이 필요하지 않고 연마 시스템의 운영 및 설치가 비교적 간단하다는 것이다. 또한, Higuchi는 실린더 형태의 공작물에 대하여 연마입자 크기에 따른 필름을 사용하여 접촉 롤러 및 가공물 사이의 탄성조건과 베이스 필

1. 인하대학교 기계공학과

† 교신저자: 한국폴리텍대학 인천캠퍼스

E-mail: khmin@kopo.ac.kr

를 두께에 따른 표면거칠기를 분석하였다⁴⁾. 최근에는 연마필름을 이용한 엔진 및 변속기 부품, 광학글라스 및 대형 부품에 대한 슈퍼피니싱(superfinishing) 및 초정밀 경면연마에 대한 연구가 진행되고 있다⁵⁻⁷⁾.

본 연구는 연마필름을 이용한 필름 폴리싱 장치를 이용하여, SUS 304계열을 대상으로 고능률 필름 폴리싱 조건을 선정하고, 가공 후 기계부품의 안정성을 높이는 조건을 찾았다.

2. 실험 장치

2.1. Abrasive Film Polishing

본 연구에서는 기존 벨트 연마 형태와 유사한 구조를 가지고 연마 벨트 대신 물 형태의 연마 필름을 사용하는 Abrasive film polishing을 사용하였다. Fig. 1은 연마 필름을 이용한 Abrasive film polishing을 나타내고, 기본 구성은 새로운 연마 필름을 공급하기 위한 공급 롤러와 사용된 연마 필름을 회수하기 위한 연마 필름 회수 롤러로 구성되고, 공작물과 연마필름을 접촉하여 연마하기 위한 접촉 롤러와 접촉 롤러를 전/후진시키고 연마 공정 시 균일한 접촉 압력을 유지하기 위한 에어실린더로 구성되고, 접촉 롤러에 좌/우 진동을 인가하기 위해 모터의 회전운동을 직선운동으로 변환시켜 줄 수 있는 크랭크와 캠으로 구성된 오실레이션(oscillation) 모듈로 구성되어 있다.

본 연구에서 사용된 Abrasive film polishing의 구동은 연마 필름이 공급 롤러와 회수 롤러에 의해 연마 필름이 이송되며, 롤러 앞단에 설치되어 있는 장력 조정 장치에 의해 일정한 장력을 유지하며 연마 필름이 이송된다. 또한, 접촉 롤러는 오실레이션 모듈에 의해 연마 공정 시 일정한 주기를 가지고 축방향으로 가진 시켜 연마 공정을 수행한다.

Table 1 Properties of Abrasive film polishing system

Item	Specification
Oscillation speed	1~4.6 Hz
Film feeding speed	0.1~1.8 rpm
Contact pressure	1~5 MPa

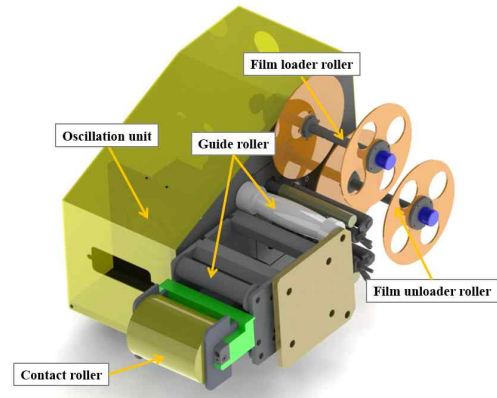


Fig. 1 The structure of abrasive film polishing system

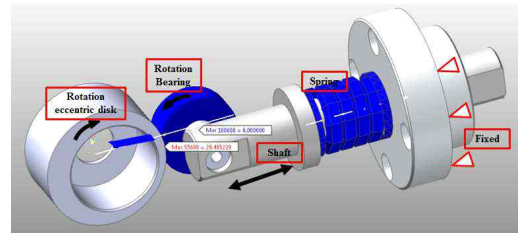


Fig. 2 The structure of the oscillation module

2.2. Abrasive film polishing의 타당성

Abrasive film polishing 공정에서 구성 요소에 전달되는 하중에 대한 안정성을 분석하기 위하여 오실레이션 해석을 수행하였다. Fig. 2와 같이 동역학 해석을 위해 축과 가이드 홀더 사이에 스프링을 장착하였다. 또한 하중이 집중되는 베어링을 유한요소 모델로 설정하여 스프링 하중에 의해 발생하는 베어링의 응력 분포를 분석하였다. Table 2는 동역학 해석 시 사용된 스프링의 정보이며 이론적 스프링 하중을 계산한 결과 154.9N이 작용하게 된다. 베어링에 작용하는 응력을 분석하기 위하여 유한요소 모델을 생성하였다. 실제 사용된 베어링은 SC628ZZ이며, 동역학 해석을 위한 경계 조건으로 편심 디스크의 회전 속도는 1rev/sec로 설정하였다. 편심 디스크가 회전함에 따라 베어링도 회전하기 때문에 회전 자유도와 병진 자유도를 부여하였다. 또한 스프링이 인장, 압축이 되도록 가이드 홀더에 고정 조건을 부여하였다.

Fig. 3은 동역학 해석을 한 결과로 베어링의 이송

방향이 변화하는 순간에 편심 디스크의 모서리 부분에서 66.3MPa로 응력 값이 최대로 나타났으며 이는 베어링의 항복 강도(317MPa)보다 작은 응력이 작용하므로 안정성에 이상이 없음을 알 수 있다. 또한 베어링과 편심 디스크의 접촉 반력은 최대 약 190N으로 베어링의 정격 하중 1421N보다 작은 것을 알 수 있다. 이를 통해 abrasive film polishing 시스템의 베어링에 작용하는 힘이 베어링의 파손에 미치지 않으므로 안정성에 문제가 없음을 확인하였다.

Table 2 Specification of spring for dynamic analysis

Item	Specification
Shear modulus of material	8000GPa
Mean diameter	19.5mm
Number of active coil	4
Free length of spring	30mm
Compressed length	18mm
Wire size	2.5mm

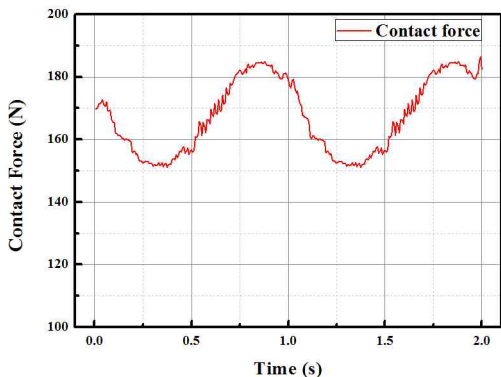
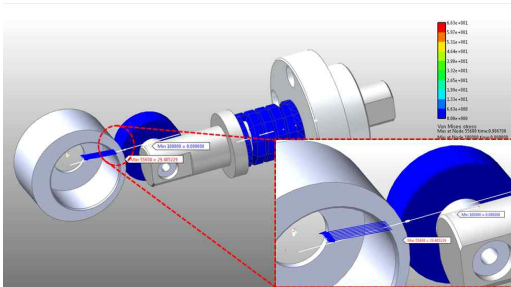


Fig. 3 Result of dynamic analysis

필름 폴리싱은 연마재의 탈락이 적고 새로운 연마재를 계속해서 공급해 준다는 장점이 있다. 이를 입증하기 위해서 실험 전과 실험 후의 필름의 연마재의 마모를 관찰하였다. 이는 SEM 장비를 이용하였고 연마재의 크기에 따라 30 μ m(GC#600), 16 μ m(GC#1000), 9 μ m(GC#2000) 각각 분석을 진행하였다. 그 결과를 Fig. 4~6에 나타내었다.

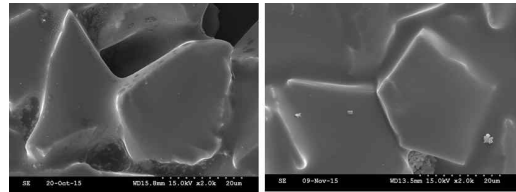


Fig. 4 30 μ m abrasive before(left) and after(right)

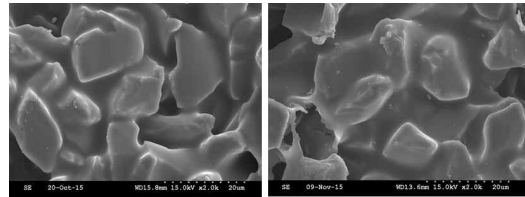


Fig. 5 16 μ m abrasive before(left) and after(right)

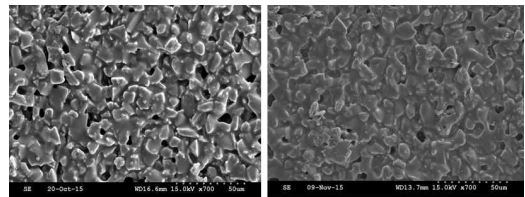


Fig. 6 9 μ m abrasive before(left) and after(right)

분석 결과 연마재의 탈락률이 매우 적다는 것을 관찰할 수 있었고, 연마재가 상당히 마모된 것 또한 관찰할 수 있었다. 즉, 이는 새로운 연마재가 계속해서 공급되기 때문에 연마재의 마모를 고려할 필요가 없는 필름 폴리싱이 기존의 연마보다 우월하다는 것을 확인하였다.

3. 실험 방법

3.1. 실험계획법을 이용한 실험

필름 폴리싱 장치에서 표면 거칠기나 잔류응력에 영향을 미치는 변수를 depth, oscillation, feeding

speed로 정하고 이 3 가지 변수를 효과적으로 분석할 수 있는 실험 계획을 산출하였다. 산출 결과는 Table 3에 표기하였다.

실험에 쓰였던 연마재의 입자는 그린 카바이드 30, 16, 9 μ m이고 윤활제는 BW CUT EP-703G를 사용하였다. 첫 번째 실험을 실험계획에 따라 27번의 실험을 GC #600의 연마재를 사용하여 진행하였다. 두 번째 실험은 연마재를 GC #1000의 연마재를, 세 번째 실험은 GC #2000 연마재를 사용하였다. Fig. 7에 보이는 것이 필름 폴리싱 기계에 SUS-304소재의 재료를 실험 계획법에 따라서 진행하였다.



Fig. 7 Image of polishing process for SUS 304 specimen

Table 3 List of experiments using taguchi method

NO.	Depth	Oscillation	Feeding speed
1	2	1	0.5
2	2	1	0.5
3	2	1	0.5
4	2	2.8	1
5	2	2.8	1
6	2	2.8	1
7	2	4.6	1.5
8	2	4.6	1.5
9	2	4.6	1.5
10	3	1	1
11	3	1	1
12	3	1	1
13	3	2.8	1.5
14	3	2.8	1.5
15	3	2.8	1.5
16	3	4.6	0.5
17	3	4.6	0.5
18	3	4.6	0.5
19	4	1	1.5
20	4	1	1.5
21	4	1	1.5
22	4	2.8	0.5
23	4	2.8	0.5
24	4	2.8	0.5
25	4	4.6	1
26	4	4.6	1
27	4	4.6	1

4. 실험 결과

4.1. 표면 거칠기와 잔류응력, 응력부식 균열과의 관계

표면 거칠기와 잔류응력, 응력부식균열과의 관계를 살펴보기 위해서 3차원광학측정기(NewView 7300)를 이용하여 mesh에 따른 표면 거칠기를 측정하여 Fig. 8~10에 나타내고 그 결과를 Fig. 11과 같다.

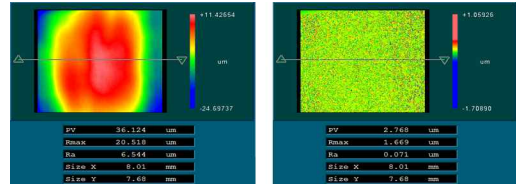


Fig. 8 Surface roughness of SUS 304 specimen after polishing 30 μ m Abrasive

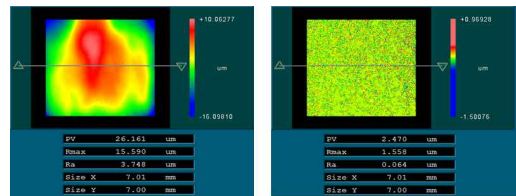


Fig. 9 Surface roughness of SUS 304 specimen after polishing 16 μ m Abrasive

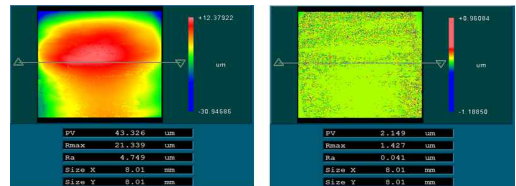


Fig. 10 Surface roughness of SUS 304 specimen after polishing 9 μ m Abrasive

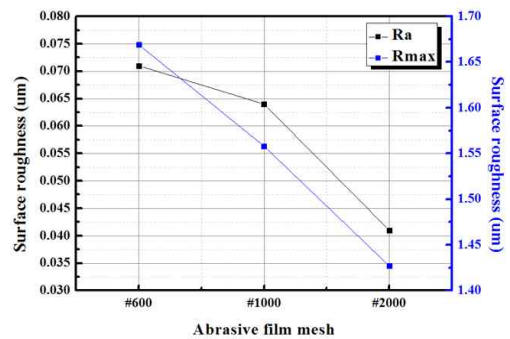


Fig. 11 Relationship between mesh and surface rough

실험 결과 연마재의 크기가 크면 클수록 표면 거칠기가 나쁜 것으로 나타났다. 연마재의 크기가 크면 클수록 시편과 닿는 면적이 고르지 못하고 간격이 넓기 때문에 고르지 못한 연마가 이루어져서 이러한 결과가 나온 것으로 판단된다.

또한 HR-XRD를 이용하여 잔류응력을 측정하였다. 시편에 잔류응력이 없을 경우 안정성과, 내부식성이 떨어지기 때문에 잔류 응력이 0인 Residual stress free인 시편이 우수하다. 따라서 가공 후 잔류응력이 거의 0에 가깝게 나타나는 시편이 가장 안정성이 높은 시편이라고 볼 수 있다. 측정된 잔류응력의 결과를 Fig. 12~14에 나타내었다.

실험결과 연마재의 크기가 9 μm 인 필름으로 가공한 시편의 잔류응력이 0.0061로 0에 가장 가까운 값이 관찰되었다. 즉 연마재의 크기가 작으면 작을수록 잔류응력이 적게 남는 것을 확인 할 수 있었다. 0.0061인 경우 잔류응력이 거의 없는 상태인 Residual stress free라고 가정하기에도 무방한 숫자이기에 GC #2000의 필름으로 연마하는 것이 가장 안정적인 시편을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

응력부식균열이란 기계적 인장 응력의 영향을 받아 균열이 생성되고 전파되어 발생하는 부식의 한 형태이다. 이는 우리가 진행한 필름폴리싱에서는 압축 응력만이 나타나기 때문에 이론적으로는 절대 발생하지 않지만, 실험결과에서 볼 수 있듯이 실험의 오차로 인하여 -0.00061 degree 라는 압축응력을 관찰 할 수 있었다. 전해연마에서는 압축 응력도 발생할 수 있다고 하여 표면 거칠기와 응력부식균열의 관계도 조사해 보았다. 즉 mesh가 크면 클수록 잔류응력이 증가하기 때문에 응력부식균열의 위험성도 존재하기 때문에 mesh와 응력부식균열의 관계는 비례함을 관찰할 수 있었다.

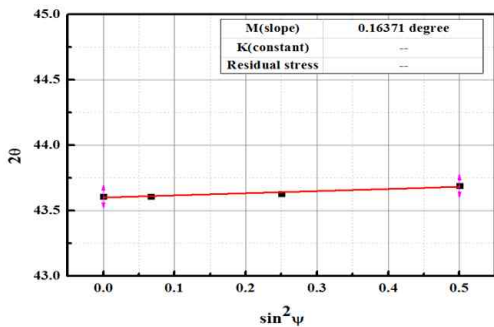


Fig. 12 Residual Stress of the specimen using 30 μm abrasive film

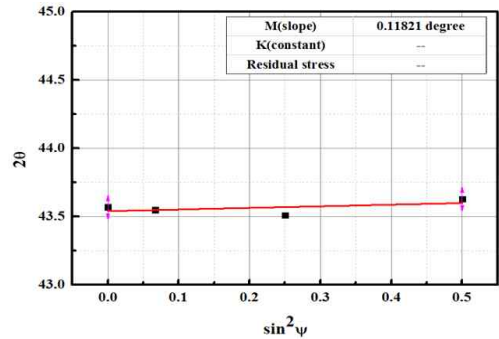


Fig. 13 Residual stress of the specimen using 16 μm abrasive film

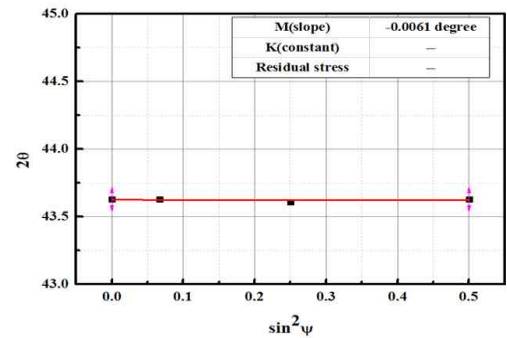


Fig. 14 Residual Stress of the specimen using 9 μm abrasive film

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 연마 필름을 적용한 필름폴리싱 장치를 이용하여, 일반적인 기계부품 소재재료 SUS 304를 대상으로 효율적인 연마조건의 결정과 고능률적인 연마필름 적용조건을 고찰하는 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Fig. 3~5에서 보면, 연마가 진행됨에 따라 연마재의 마모가 일어난 것을 확인할 수 있다. 기존 연마 방식과는 다르게 필름 폴리싱의 경우에는 새로운 연마재를 지속적으로 공급할 수 있기 때문에 연마 입자탈락이 적어 초정밀 가공이 가능하다.

2) 표면 거칠기 측정 결과, 연마필름의 입자의 크기가 30 μm 의 경우 Ra는 0.071 μm , Rmax는 1.669 μm 값이 나왔고, 16 μm 의 경우 Ra는 0.064 μm , Rmax는 1.558 μm 값이 나왔고 9 μm 의 경우 Ra는 0.041 μm , Rmax는 1.427 μm 값이 나왔다. 위 실험 결과 값을 토대로 9 μm

일 경우가 가장 우수한 표면 거칠기 값을 얻을 수 있다고 판단된다.

3) 잔류응력 측정 결과, 연마필름의 입자의 크기가 $30\mu\text{m}$ 의 경우 0.16371 deg 이고 $16\mu\text{m}$ 의 경우 0.11821 deg 이고 $9\mu\text{m}$ 의 경우 -0.0061 deg 값을 얻었다. 위 실험결과 값들을 살펴보면 $9\mu\text{m}$ 의 경우일 때 기울기가 0에 가장 가까운 Residual stress free 값을 얻었다는 것을 확인할 수 있었다.

즉, 연마 입자의 크기가 작고 고울수록, 잔류응력을 최소화할 수 있다.

참고문헌

- 1) 3M, "Products Catalogue-Roll Grinding Superfinishing and Microfinishing System", USA.
- 2) Yoshiharu Namba, Hideo Tsuwa, "Wear Process of Abrasive Belt-Studies on the Belt Grinding(3rd Report)", Japan Society of Precision Engineering, Vol. 38, No. 2, pp. 202-208, 1972.
- 3) K. Susuki, "Development of New Mechanochemical Polishing Method with a Polishing Film for Ceramic Round Bars", Annals of the CIRP, Vol. 41, No. 1, pp. 339-342, 1972.
- 4) Shizuichi Higuchi, Shigeru Akao, Yoshio Saito, Tadaaki Hanaoka, "Finishing Performance of Lapping Films Applied to Cylindrical Surfaces", Internation Journal of the Japan Society Precision Engineering, Vol. 28, No. 2, pp. 117-122, 1994.
- 5) WANG Wei and YUN Chao, "A Path Planning Method for Robotic Belt Surface Grinding", Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 24, pp. 520-526, 2011.
- 6) Jihao Duan, Youmin Zhang, and Yaoyao Shi, "Belt Grinding Process with Force Control System for Blade of Aero-engine", Journal of Engineering Manufacture
- 7) Kim, H. B., Kim, K. S., and Namgung, S., "A Study on the Mirror Surface Finishing of SM45C using Micro Abrasive Film", Journal of the Korean Institute of Industrial Educators, Vol. 22, No. 1, pp. 190-198, 1997.