다구찌 기법을 이용한 Nitinol 형상기억합금의 마이크로 전해연마 가공특성 분석

A Study for Improving Surface Roughness of Nitinol Shape Memory Alloy in Micro-Electropolishing by Taguchi Method

신민정 [1], 백승엽 [2], *#이은상 [3]
M. J. Shin[1], S. Y. Baek[2], *#E. S. Lee(leees@inha.ac.kr)
[1,2] 인하대학교 기계공학과 대학원, [3] 인하대학교 기계공학부

Key words : Electropolishing, Shape memory alloys, Nitinol, Design of experiments, Taguchi method

1. 서론

현재 다양한 분야에 대한 산업이 발달함에 따라 초정밀 미세부품, 인체 삽입용 의료기기, 마이크로 센서 등 특수한 목적을 가진 제품의 요구가 증대하고 있다. 각 제품의 목적에 맞는 가공 기술이 요구되고 있으며, 특히 인체용 의료기기, 마이크로센서, 반도체 기기 등에서는 기존 기계적인 연마 방식으로 이룰 수 없는 표면 품질을 요구하고 있는 실정이다. 기존 기계적인 가공방법은 가공 후 표면 거칠기가 양 호하게 되더라도 공작물 표면에 미소한 가공흔적 및 가공변질층이 남아있어 극 청정한 표면 품질을 요구하는 제품에 적용할 수 없다. 이에 따라 기존의 공구와 공작물의 접촉하는 방식을 사용하는 가공방식을 배제하고 전기-화학적 용출반응을 응용한 전해연마가 필요하게 되었다.[1,2]

한편, 형상기억 합금 중 가장 뛰어난 성질을 가지고 있다고 평가되고 있는 니티놀(Ni-Ti shape memory alloy; nitinol)은 마이크로 엑츄에이터, 마이크로 로봇, 인체 삽입용 의료기구 등과 같은 미세 부품 제작에 활용되고 있다.[3] 이러한 미세 부품 및 의료기기 등의 첨단 구조물의 가공에 있어 극 청정하고 평활한 고품위의 표면 품질이 요구되게 된다.

따라서 본 연구에서는 니티놀을 이용한 구조물의 효과적인 표면연마를 위하여 전해연마를 적용하였고, 니티놀의 효과적인 가공을 위하여 가공조건에 따른 가공특성을 분석하고자 한다. 전해연마의 가공특성을 결정짓는 중요한 인자인 전류밀도, 가공시간, 간극에 다른 표면 거칠기를 측정하여 실험을 진행하였다.

실험을 진행하고 분석하는 데에 있어 다구찌 기법을 이용하였으며 이를 토대로 니티놀 소재의 전해연마 가공에 있어 표면 거칠기 향상에 가장 영향력이 큰 인자를 분석하고, 주어진 조건 내에서의 표면 거칠기를 향상시키는 데에 있어 최적의 가공 조건을 선정하였다.

2. 전해연마 실험 및 실험결과

Fig. 1 은 본 실험에서 쓰인 전해연마 실험 장치를 나타낸 개략도이다. 공구로 사용되는 전극은 구리를 사용하여 (-)극에 연결하였고, 공작물인 니티놀이 고정되는 지그를 (+)극에 연결하여 마이크로 이송장치에 부착하여 전해 수조 내에서의 공작물의 위치를 조절하기 용이하도록 설치하였다.

제어인자로서는 전류밀도, 가공시간, 전극과 공작물간의 간극이 고려되었으며, 인자들의 수준은 전류밀도는 4, 7, 11, 13 A/cm^2, 가공시간은 60, 120, 180, 240 sec, 간극은 0.5, 1, 2, 3 ㎜ 으로 최종적으로 Table 2 와 같이 3 인자 4 수준 직교 배열표를 이용하였다. 직교 배열표를 이용하여 실험한 후 표면 거칠기를 측정하였다. Table 1 과 Table 2 는 본 실험에서 고정시킨 조건과 가공변수를 나타낸다.

결과의 측정은 ACCRETECH 사의 Surfcom 1400D 를 이용하였고, 실험결과의 신뢰도를 높이기 위하여 표면 거칠기를 총 6 회(시편의 가로방향 3 회, 세로방향 3 회) 측정하여 평균을 내었다.

실험 전 시편의 표면 거칠기는 약 2.0 ㎛ 이였으며, 가장 좋은 표면 거칠기를 나타낸 시편의 표면 거칠기는 전류밀도 13A/cm^2, 가공시간 240sec, 간극 0.5mm 일 때 1.221 ㎛ 로 약 60%의 표면 거칠기 향상을 나타내었다.

Fig. 2 의 (a)와 (b)는 실험 전과, 실험 후 표면 거칠기가 가장 좋게 나왔던 16 번 실험의 니티놀 시편 표면의 SEM 사진이다. 전해가공 후 가공 전 시편 표면에 잔존하였던 불순물과 폭 파인 형상의 굴곡이 대다수 사라지고, 평활하고 깨끗한 표면을 가지는 것을 확인할 수 있다.

Table 3 은 직교배열표에 따른 실험 조건과 실험결과(surface roughness, 표면 거칠기)를 나타내고 있다. Table 3 의 실험 결과를 기반으로 다구찌 기법을 이용하여 시편의 표면 거칠기에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 선정하였다

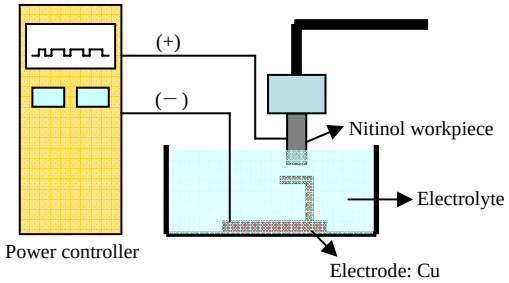


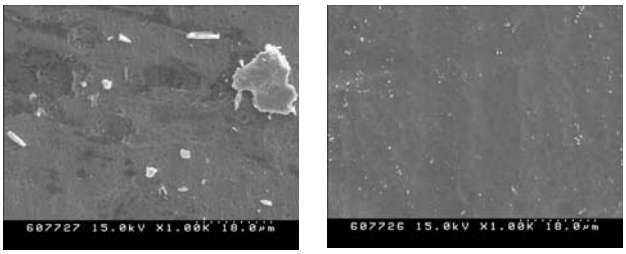
Fig. 1 Electropolishing system

Table 1. Fixed condition in experiment

Conditions	Values
Composition of electrolyte	H_3PO_4, H_2SO_4, Distilled water
Workpiece	Nitinol (Ni:51%, Ti:49%)
Electrode	Copper (99%)

Table 2. Design scheme of process parameters and levels

Factor symbol	Parameter	Levels			
		1	2	3	4
D	Current density (A/cm^2)	4	7	11	13
T	Polishing time (sec)	60	120	180	240
G	Electrode gap (mm)	0.5	1	2	3

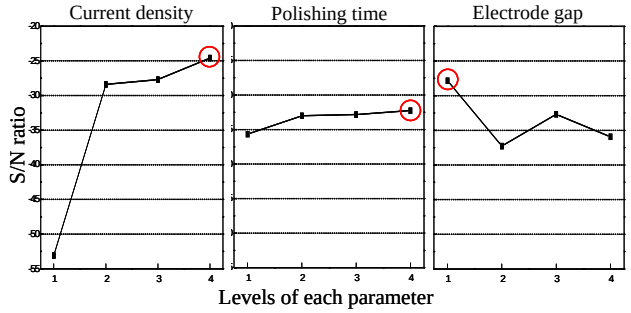


(a) (b)

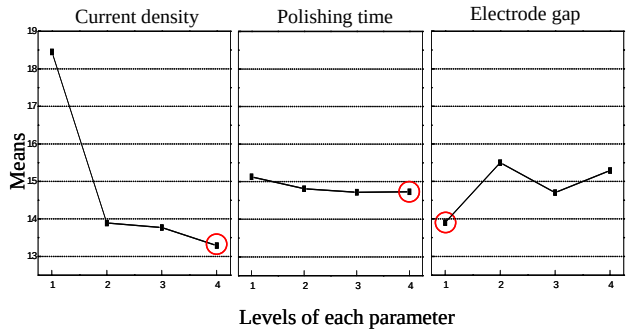
Fig. 2 SEM photograph of machined surface
(a) before (b) after electropolishing

Table 3 Orthogonal array table for $L_{16}(3^{15})$and result of the experiment.

Exp No.	Factor			DATA (Surface roughness)
	D	T	G	
1	4	60	0.5	1.716
2	4	120	1	1.907
3	4	180	2	1.817
4	4	240	3	1.938
5	7	60	1	1.508
6	7	120	0.5	1.325
7	7	180	3	1.402
8	7	240	2	1.320
9	10	60	2	1.422
10	10	120	3	1.371
11	10	180	0.5	1.299
12	10	240	1	1.414
13	13	60	3	1.405
14	13	120	2	1.320
15	13	180	1	1.370
16	13	240	0.5	1.221



(a)



(b)

Fig. 3 Main effect plot for (a)S/N ratios and (b)means

3. 다구찌 기법을 이용한 실험 결과 분석

본 실험은 결과치인 표면 거칠기가 작을수록 좋으므로 망소특성을 가지고 있으며, 이때의 S/N 비는 다음의 수식으로 구할 수 있다.[4]

$$\eta = -10\log(\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} y_i^2) \qquad (1)$$

여기서 y 는 실험에서 얻은 결과치, n 은 실험 횟수를 의미한다. 직교배열표에 의한 전해연마 가공실험을 통하여 측정된 표면 거칠기를 토대로 인자별 각 수준의 S/N 비 η 를 구하여 그래프로 나타내면 Fig. 3 과 같다. Fig 3 은 다구찌 분석 결과로서 nitinol 형상기억합금 시편의 표면 거칠기에 가장 큰 영향을 미치는 제어인자가 전류밀도임을 알 수 있다. 전류밀도가 최소인 4A/cm2 일 때는 눈에 띄는 표면 거칠기의 향상이 없으나, 전류밀도가 7A/cm^2 일 때 표면 거칠기가 월등히 좋아짐을 확인할 수 있다. 또한 7A/cm^2 보다 전류밀도 값이 증가할수록 표면 거칠기가 양호해 지는 양상을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 전해연마 가공 시 인가되는 전해밀도가 표면 거칠기를 향상시키는 중요한 인자가 됨을 나타내고 있다.

또한 가공시간에 있어서 가공 시간이 증가할수록 표면 거칠기가 향상되는 양상을 보이고 있다. 그러나 가공시간의 증가에 따른 표면 거칠기 향상은 시간이 증가할수록 정체되는 경향을 보이고 있으므로 가공 효율을 고려하여 적절한 가공 시간을 선정하는 것이 중요하다. 가공 시 고려해야 할 인자인 가공 간극은 0.5㎜ 일 때 가장 좋은 표면 거칠기를 나타냈다.

상기 다구찌 기법을 이용하여 선정한 표면 거칠기에 영향을 미치는 인자의 순위는 전류밀도, 간극, 가공시간 순으로 나타났으며 이를 토대로 주어진 조건 내에서 가장 좋은 표면 거칠기를 나타내리라 예상되는 최적 조건은 전류밀도 13A/cm^2, 가공시간 240sec, 간극 0.5㎜ 인 것으로 나타났다.

4. 결론

본 논문에서는 nitinol 형상기억합금의 사용에 있어 표면 거칠기를 향상시키기 위하여 전해연마를 이용하였다. 전해연마의 가공효과를 확인하고 각 가공 인자에 따른 가공 특성을 분석하기 위하여 다구찌 기법을 활용하였고, 이를 통하여 가공 인자 중 표면 거칠기를 향상시키는 데에 가장 영향력이 큰 인자를 도출하고 본 실험에서 주어진 가공조건 내에서 표면 거칠기를 향상시키는 최적조건을 선정 하였다.

가공조건에 따른 전해연마 가공특성을 파악하기 위하여 각 인자별 수준을 4 수준으로 설정, $L_{16}(3^{15})$직교배열표를 이용하여 실험을 진행하여 표면 거칠기를 측정, 분석하여 S/N 비를 구하여 각 인자가 니티놀 시편의 표면 거칠기를 향상시키는 데에 영향을 미치는 가공 인자는 전류밀도, 간극, 가공시간 순으로 나타났으며, 최적조건은 $D_4T_4G_1$ 로서 이때의 전류밀도는 13A/cm^2, 가공시간은 240sec, 간극은 0.5㎜ 로 나타났다.

향후 다구찌 기법등 실험계획법을 통하여 가장 영향력이 큰 파라메터와 그를 기반한 결과치 예측등 nitinol 형상기억합금을 이용한 제품의 표면 품질을 증가시키는 최적 가공 조건 도출등도 가능할 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 산업자원부, 인천광역시,인천시 남동구, 지엠대우가 후원하는 인하대학교 자동차동력계부품지역혁신센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lee, E. S., “Machining Characteristics of the electropolishing of stainless steel(STS316L)”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 16,591-599, 2000
2. 김원묵, 신민정, 이은상, “Nitinol 소재의 미세 전해 디버링에 관한 연구”, 한국 정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 229-230, 2006
3. Mukherjee, R., Christian, Thomas F., Thiel, Richard A., "An actuation system for control multiple shape memory alloy actuator", Sensor and Actuators A:physics, 55, 2/3, 185-192, 1996
4. 박성현, “현대실험계획법”, 민영사, 563-589