

Ni-Ti 형상기억합금의 전해가공의 특성

김동환*(울산대원), 강지훈(㈜Bio-SMART), 박규열(울산대)

ECM Characteristics of Ni-Ti Shape Memory Alloy

D. H. Kim (Univ. of Ulsan), G. H. Kang (Bio-SMART Ltd.), K. Y. Park (Univ. of Ulsan)

ABSTRACT

In this paper, the electro-chemical-machining characteristics of Ni-Ti Shape Memory Alloy(SMA) was investigated. From the experimental results, the optimal electro chemical machining conditions for satisfying the machining quality(fine surface & high recovery stress)might be confirmed. And it was concluded that optical electro chemical condition for Ni-Ti SMA could be obtained at approximately 100% current efficiency and high frequency pulse current.

Key Words : Sharp Memory Alloy(형상기억합금), Electro Chemical Machining(전해가공), Current Efficiency (전류효율) Point Electrode(점 전극)

1. 서론

최근 기계, 전자부품의 소형, 경량화 추세에 따라서 제한된 용적 내에 가능한 많은 기능을 내장시키기 위한 일환으로 기능소자의 미세가공기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 최근 광범위하게 연구개발이 진행 중인 MEMS(Micro Electronic Mechanical System)의 경우, 종래의 거시적 기계와 는 개념을 달리하는 마이크로(지능형)기계의 실현을 위해서는 초미세 기능부품 혹은 기능구조의 효과적인 제작기술 개발이 요구되고 있다. 현재는 이와 같은 목적을 충족시키기 위한 방식으로서 주로 반도체 제조과정에 사용되는 Lithography 기술을 이용하는 LIGA 법이 적용되고 있으나 3 차원 형상의 제작이 어렵다는 문제점을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.

한편, 전기의 MEMS 와 관련하여 형상기억합금을 이용하여 메커니즘을 소형화하고자 하는 연구가 보고되어 있다[1]. 형상기억합금(Shape Memory Alloy: SMA) 중에서도 Ni 과 Ti 의 조합으로 야금된 SMA 는 조작성, 조작능 및 내구성의 측면에서 우수한 특성을 지니고 있는 반면, 그 특성이 주변환경(응력, 열 등)에 민감하게 변화하는 금속학적 특성 때문에 가공에 많은 어려움이 있는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 전기의 배경을 토대로, SMA 를 사용하는 삼차원 형상의 기능소자를 제작함에 있어

서 전해가공(Electro Chemical Machining)의 적용 가능성을 조사하였다. 전해가공의 적용에 있어서는 한정된 영역에 전해현상을 집중시킴으로서 미세부품의 제작에 보다 효과적으로 판단되는 점 전극(Point Electrode)법을 이용하였다. [6] [2]

2. Ni-Ti 형상기억합금의 특징

종래의 구조용 재료와 다른 어떠한 주변환경에 다다르면 기억된 형상으로 복원이 가능한 금속을 형상기억합금이라고 한다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 형상기억합금으로는 Ni-Ti 합금, Cu-Based 합금 등이 있다. 형상기억합금의 일반적인 특징은 형상기억효과(Shape Memory Effect)와 초탄성(Super Elasticity)의 성질을 가지고 있으며 현재의용공학이나 우주항공산업 같이 비교적 제한된 영역에 응용되고 있다.

형상기억합금의 특징의 첫째는 아주 큰 형상복원력에 있다. 본 논문에서 사용한 실용형상기억 합금의 하나인 Ni-Ti 합금에서는 응력이 50 kg f/mm²이상의 형상 회복력을 발생하며, 로봇이나 액츄에이터와 같이 많은 반복동작을 하는 경우에도 10 kg f/mm² 정도의 회복력을 이용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 형상기억합금의 또다른 특징은 반복동작에 있다. 플라스틱은 변형력을 가하면 용이하게 신장되어 2 회 쯤 이후에는 같은 동작을 하지 않게 되는

데 대하여 형상기억 합금은 형상회복이 된 후에 다시 급격도 열을 가하면 몇 번이라도 앞서와 마찬가지로 원래의 형상으로 회복된다. Ni-Ti 합금은 100만회의 반복동작에서도 형상회복 능력이 거의 변화되지 않아 많은 공업적 응용이 기대되나 고가이고 응력이나 열 충격에 취약하여 가공이 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 연유에 현재는 대부분 야금법에 의해서 생산되어 그 적용이 제한되고 있다. 따라서 본 논문에서는 전술한 바와 같이 난 가공성 소재로 알려진 Ni-Ti 계열 형상기억합금을 대상으로 하여 전해가공 특성을 조사하고자 하였다.[3]

3. 점 전극을 이용한 전해가공

일반적으로 전해가공은 전극소모가 없고 전류밀도에 비례하여 가공속도를 증대시킬 수 있으며 가공표면에 변질층이 생기지 않는 등의 장점을 갖는 반면, 가공형상의 정밀도를 유지하는 것이 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서 제한된 영역에 전류를 집중시키는 것을 목적으로 하여 점 전극을 이용하는 전해가공법을 이용하였다. 기존의 전해가공에 비해 점 전극을 이용한 전해가공은 전류밀도가 이론적으로 무한대이므로 금속의 이온화 경향에 따라서 선택적으로 전해용출 되는 현상을 막아 재료학적으로 금속의 조성비에 민감하게 변화하는 형상기억합금의 기능성을 해치지 않고 공작물에 전기 화학적인 영향이 미치는 영역도 극히 제한된 영역에 한정시킬 수 있어 향후 형상기억합금의 3 차원 형상가공기술로써 주목할 필요가 있다. 점 전극을 이용한 전해가공은 필요한 정밀도를 얻기 위해 일정한 전극의 간극을 유지시켜야 한다. 가공 중에 간극에서의 발생하기 쉬운 문제는 주로 방전 현상에 의해서 발생하며 이로 인하여 전극의 형상이 변화되어 동일한 가공조건을 유지하는 것이 어려워 방전시 발생하는 열 충격으로 인해서 형상기억합금의 특성을 변화시킬 수 있다는 점이다. 그러나 ECM의 중요한 이점 중에 하나는 극간에 발생하는 방전현상으로 야기되는 손상을 제외하고는 전극의 마모가 없다는 것이다. [1][2][4]

4. 실험장치 및 실험방법

Fig. 2는 실험에 사용한 전해가공시스템의 사진이다. 본 연구에서 전해실험은 화천중공업 [HWACH OEN HEAVY INDUSTRY Co., Ltd]사의 터닝센터(Turning Center) Hi-ECO21HS의 주축부에 코렛 척을 설치하여 직경 1.4mm의 Ni-Ti 형상기억합금을 고정시켰으며 전원의 공급은 일반적인 DC 전원기와

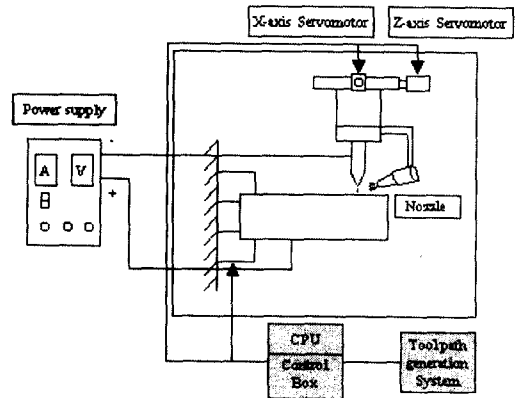


Fig.1 Schematic illustration of micro ECM system using the point electrode

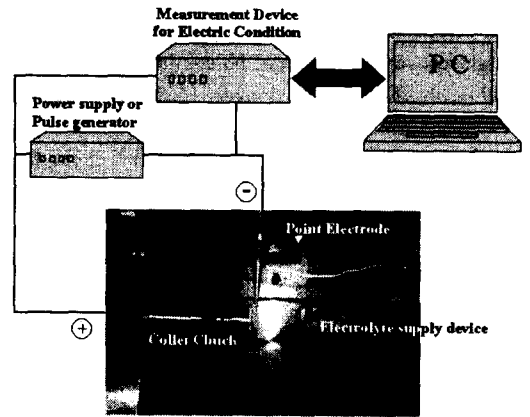


Fig.2 Schematic illustration Experiment setup of point electrode ECM system

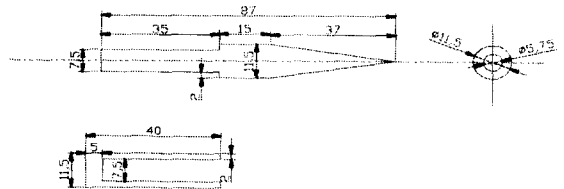


Fig.3 Lay-out of Point Electrode

주파수 발생기(Pulse Generator)를 사용하였으며, 전해액은 자연낙하에 의한 분류식으로 공급하였다. 공구전극으로 사용되는 Fig.3의 점 전극은 자체제작하여 터닝센터에 고정시켰다. 전해가공시스템의 이송기구, 제어부는 터닝센터의 CNC 기능을 이용하고 전원공급시스템, 전해액공급장치는 자체제작하였다.

5. 실험결과와 고찰

5.1 전해조건에 따른 형상복원특성

형상기억합금의 형상복원특성을 평가하는 방법은 여러 가지가 있다. 그 중 재료학적으로 가장 흔히 변태점 표준측정법과 전기저항 측정에 의한 방법, AE 신호를 이용하는 방법 등이 있다. 위의 측정 방법들은 그러나 실용적으로 형상기억합금의 특성을 평가하는 방법으로는 정적특성시험과 동적특성시험이 있다. 본 논문에서는 실험실에서 간단히 제작한 정적형상복원특성시험기를 이용해서 형상복원특성을 관찰하였다. Fig.4 는 자체 제작한 정적형상복원 특성시험기의 개략도이다. 이를 이용해서 Table.2 에 나타낸 전해조건에 따라서 가공전과 가공 후의 형상복원응력을 비교하였으며, 이를 Fig.5 에 나타낸다. [3]

Table.2 Electro Chemical Machining Conditions

Case	Electrolyte	Voltage [V]	Current [A]
1	15% Sodium Nitrate Solution	6.5	6.73
2		5.3	5.25
3		12.0	10.79
4		20.0	17.65
5		30.0	24.36
6	30% Acetic Acid Solution	5.5	5.33
7		3.0	3.05
8		2.1	2.06
9		10.0	8.97
10		20.0	17.55
11		30.0	23.46

정적형상기억합금 특성시험기는 동일한 변형량을 형상기억합금에 가한 후 형상복원온도에서 복원하중만을 측정 할 수 있으므로 전해가공 후 줄어든 단면적의 변화를 포함하는 응력으로 비교하였다. 전해가공전과후의 복원응력은 전반적으로 높은 전기적 조건에서 많이 감소 하였으며, 이는 전기적 조건이 높은 조건에서 청크현상이 보다 크게 발생하여 가공표면이 악화되고 이로 인하여 실제 단면적이 감소한 결과로 생각되어 진다. 한편, 일부 낮은 전기적 조건에서는 복원응력이 증가한 것을 관찰 할 수 있으며, 이는 현재 인발공정으로 생산되는 선재의 결함 및 표면의 기계적 응력이 전해가공으로 제거되는 효과, 전해가공에서 이온화경향이 높은 티탄이 니켈보다 많은 양이 전해용출된 결과로 추측 할 수 있다.

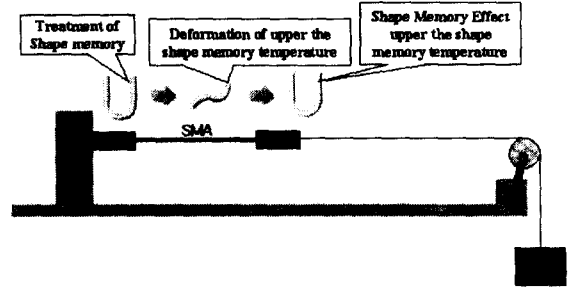


Fig. 4 Schematic illustration of measuring SMA system

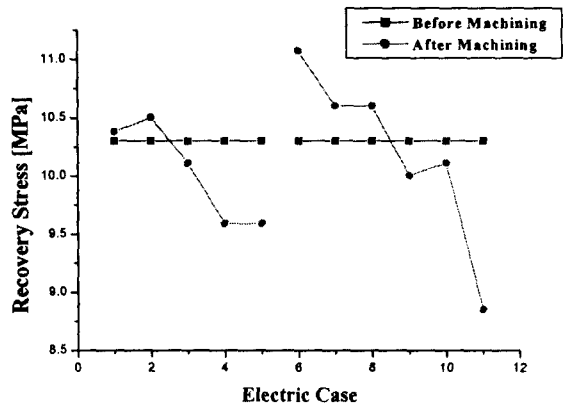


Fig.5 Variation of the Recovery Stress without or with machining

5.2 전해조건에 따른 표면 거칠기

전술한 결과를 토대로 해서 전해가공 후 형상복원 응력에 미치는 영향이 작은 전해조건을 이용하여 전류효율과 표면 거칠기의 관계 및 입력전류로서 펄스전류가 표면 거칠기에 미치는 영향에 대해서 조사하였다. 표면 거칠기는 광학식 표면 조도 측정기를 사용하였다. 전해조건과 이에 따른 전류효율을 계산하여 Table. 3 에 나타낸다.

Fig. 6 에서는 전해조건에 따른 표면 거칠기[R_a], Fig. 7 에서는 펄스전류가 표면 거칠기[R_a]에 미치는

Table.3 Electric Condition

Case	Electrolyte	Voltage [V]	Current [A]	Current Efficiency [%]
1	15% Sodium Nitrate Solution	6.4	6.7	105.4
2		5.3	5.2	95.5
3	30% Acetic Acid Solution	5.4	5.3	119.8
4		3	3	118.9
5		2.1	2.1	108.8

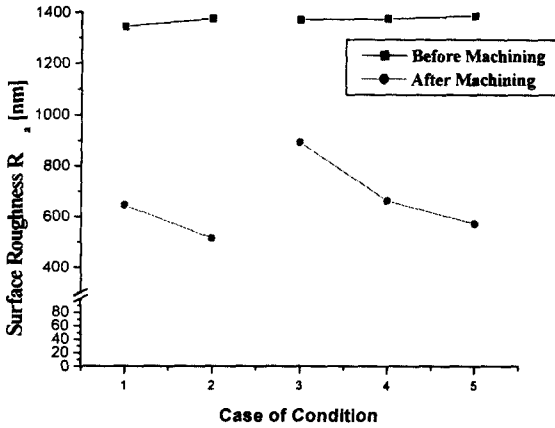


Fig. 6 Variation of the Surface Roughness [Ra] without or with machining

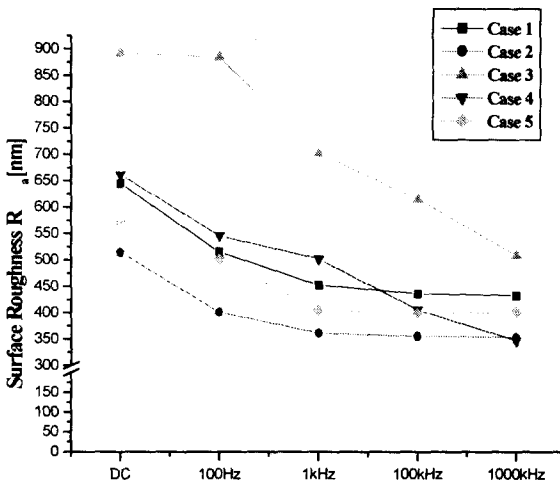


Fig. 7 Change of the Surface Roughness [Ra] in various pulse current

영향을 조사한 결과이다. Fig. 6의 결과에서 전류효율이 95%전후의 조건에서 표면 거칠기[R_a]가 가장 양호한 것을 알 수 있으며, 전류효율이 100%에 근접할수록 표면 거칠기의 향상효과가 큰 것으로 확인되었다. 또한 전기의 형상복원능력을 조사한 결과와 비교하면 아세트산을 전해액으로 사용한 전해조건 3,4,5(Table. 3)의 경우에 형상복원능력이 가공 후 증가하는 특성을 가지나, 질산나트륨 수용액을 이용한 전해조건이 설계된 형상복원능력을 거의 유지한다는 사실로부터 Ni-Ti 형상기억합금의 전해가공에는 전해액으로 질산나트륨 수용액이 보다 적합한 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 7에서는 Fig. 6과 동일한 전해조건에서 펄스

전류 (Pulse Current)가 표면 거칠기[R_a]에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 펄스전류가 표면 거칠기[R_a]에 미치는 영향은 대체적으로 펄스의 주파수가 높을수록 크게 되지만 어느 정도의 이상의 주파수를 가진 펄스전류에서는 표면 거칠기[R_a]가 더 이상 향상되지 않음을 확인하였다. 또한 전류효율이 높을수록 펄스전류에 따른 표면 거칠기[R_a]의 향상효과가 커짐을 확인하였다.

6. 결론

본 논문에서는 Ni-Ti 계열 형상기억합금의 전해가공 특성에 관하여 조사하였다. 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 형상복원능력은 전류효율이 100%에 근접한 전해조건에서는 설계된 값에 근사하게 된다.
- 2) Ni-Ti 형상기억합금 전해가공에 있어 전류효율이 100%에 근접할수록 표면 거칠기가 향상된다.
- 3) 동일한 전해조건에서 펄스전류를 공급하면 고주파로 갈수록 표면 거칠기가 향상되나 그 한계가 존재한다.
- 4) 펄스전류가 표면 거칠기에 미치는 영향은 전류효율이 높을수록 크다.

후기

본 연구는 과학 기술부 지원 국제공동연구(98-I-01-04-A-001)의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

[참고문헌]

1. 佐藤敏一 著 “電解加工 と 化學加工”
2. A.K.M. De Silva, J.A. McGeough “ Process monitoring of electrochemical micromachining” Journal of Materials Processing Technology, Vol 76(1998) pp. 165~169
3. 形狀記憶合金 開發研究會 “형상기억합금과 그 사용 방법” 日本機械學會 編 “超精密加工技術”
4. 이승훈, 박규일 “점 전극을 이용한 전해연마법의 기초연구” 한국 정밀공학회지, 99년도 춘계 학술대회 논문집 pp. 1032~1035
5. 本間大 “形狀記憶合金を利用したマイクロメカニズム” 日本ト學會誌 8 卷 4 號 1990年 6月 7日 pp 483~485