

펄스 전압을 이용한 인바 합금의 미세 전해가공

김원목*, 백승엽(인하대학교 대학원 기계공학과),
이은상(인하대학교 기계공학과), 탁용석(인하대학교 화학공학과)

A study of Pulse EMM for Invar alloy

W. M. Kim, S. Y. Baek(Mech. Eng. School., INHA UNIV.),
E. S. Lee(Mech Eng. Dept., INHA), Y. S. Tak(Chemical Eng. Dept., INHA)

ABSTRACT

Invar is a compound metal of Fe-Ni system and contain 36% Ni. The most distinction characteristic of Invar is the coefficient of thermal expansion is $1.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. That is a tenth of general steel material. This low thermal expansion characteristic of Invar is applied to the missile, aircraft, monitor CRT and frontier display's shadow mask such as FED and OLED. The usage of the Invar shadow mask for display is increasing due to the requirement of larger size and flatness monitor. The Invar shadow mask is machined by two ways electro-forming and laser now. However the electro-forming takes a too long time and the laser machining is accompanied with Burr. In this study, PEMM(pulse electrochemical micro machining) is conducted to machine the micro hole to the Invar and $\phi 80\mu\text{m}$ hole was machined.

Key Words : EMM (Electro-chemical Micro Machining, 미세전해가공), Invar (인바), EP (전해연마), Pulse voltage (펄스 전압), Micro probe (탐침), Current density(전류밀도), Electrode gap(간극)

1. 서론

인바(Invar)합금은 Fe-Ni계 합금으로서 36%의 Ni를 함유하고 있다. 인바합금의 가장 두드러진 성질은 상온에서 열팽창 계수가 일반 철강재료의 1/10수준인 $1.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 으로 낮다는 것이다. 이러한 인바의 저열팽창 특성은 미사일·항공기 등 군사적 목적과 TV 및 PC 모니터 CRT 내면에 장착되어져 화질·색상·선명도를 조정하는 핵심 부품, 2차 전지, 차세대 디스플레이인 FED·리드프레임, 새도우마스크(Shadow mask)등에 응용되고 있다. 특히 모니터의 대형화와 평판화 추세 때문에 디스플레이용 인바 새도우마스크(Shadow mask)의 사용량은 급격히 증가하고 있다.¹

현재 인바 새도우마스크는 전주주형법(electro-forming)으로 생산되고 있다. 그러나 납기 효율성 측면에서 생산성이 떨어지기 때문에 이에 대한 대안으로 레이저가공 이용이 검증되고 있으나 이러한 레이저가공도 가공시에 열이 발생함으로써 미세 홀 주변의 열변형과 버(Burr)의 발생등이 추가적으로 고려되어지고 있다.²

본 논문에서는 디스플레이용 새도우마스크로 사용되고 있는 인바합금에 대해 펄스 미세전해가공시 인가전압의 세기, on-off-time에 따라 나타나는 가공 특성을 관찰하였고 인바 새도우마스크에 대한 펄스 미세전해가공 적용 가능성에 대해서 살펴보았다.

2. 펄스 미세전해가공

본 논문에서 이용한 펄스 미세전해가공(Electro-Chemical Micro Machining)은 기존의 ECM과 동일한 원리를 이용한 가공법이다. 공작물을 산화전극(anode), 공구를 환원전극(cathode)로 하는 동시에 전해액을 전극 사이로 주입시켜주면 전기 화학적으로 반응이 일어나 가공물 표면으로부터 금속이 석출되는 원리로서 전극에 새겨져 있는 특정한 형상이 공작물에 전사되고 미세한 구멍을 가공할 수 있는 비접촉식 가공법이다.

이러한 전기화학 가공공정을 적용하여 미세가공으로 발전시키기 위해서는 극간거리를 0.1mm 이하로 유지시켜야 가공정밀도의 향상을 도모할 수 있다. 그러나 전기화학 반응으로 생성되는 수소 또는

산소가스와 열의 발생으로 인하여 전해액의 원활한 공급에 문제가 발생하므로 종래의 직류전압을 사용한 전기화학 가공공정으로는 미세가공으로의 진전이 어려웠다. 따라서 이를 개선시키기 위하여 직류전압의 주기적인 on-off로 이루어지는 펄스전압을 사용한다.

펄스 전압을 적용한 전기화학 가공공정은 종래의 직류전원을 사용하는 가공공정에 비해 안정된 전해액의 공급, 반응가스와 열의 효과적인 제거 등으로 인하여 극간거리를 더욱 낮게 설정할 수 있어 가공정밀도를 향상시킬 수 있다. 또한 표면의 미소결함 감소, 균일한 가공표면 적절한 전기화학 반응 등의 특성이 있어, 마이크로 급의 미세 가공과 미세 구조물의 연마과정을 제어할 수 있다.³

펄스 미세전해가공의 전극간극에서의 전도도(Kc)는 Fig.2와 같이 기계적요소의 저항(Rm)과 전해액의 저항(Re)으로 근사화 할 수 있고 전해액 전도도는 온도와 수소가스의 발생 등에 영향을 받는다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험장치

Fig. 3은 펄스 미세전해가공을 위한 실험장치의 개략도이다. 펄스 제너레이터의 양극에 공작물을, 음극에는 공구를 연결하여 전원을 공급하였다. 동시에 외부로부터 전극사이에 전해액을 공급하여 공작물 사이에 원활한 전해액을 공급하여 가공 시 발생하는 수소·산소 가스와 열의 발생을 제거함으로써 균일한 전해용출 작용이 일어나게 하였다. 공작물과 공구사이의 간극조절은 비전 시스템을 통해서 관찰하여 조절하였고 실시간으로 가공 상태를 확인하였다. Z축 이송은 10 μ m의 분해능을 갖는 마이크로 전극 이송 시스템을 사용하였다. 펄스 제너레이터에서 나오는 전압과 전류의 파형은 오실로스코프를 통해 관찰하였고 가공형상은 Nano-System의 광 위상 간섭을 이용한 비접촉 3차원 형상 측정기와 광학현미경을 이용하여 측정하였다. 환원전극은 ϕ 80 μ m인 텅스텐 탐침을 사용하였고 전해액은 2M의 NaNO₃를 사용하였다.

본 연구에서 사용된 시편은 인바 합금 소재의 30 μ m, 40 μ m, 50 μ m 두께의 박판이다. 각종 디스플레이 장치의 핵심 부품 중 하나인 새도우마스크는 30~50 μ m의 두께를 가지며 본 실험에서는 30 μ m를 사용하였다. 실험에 사용된 가공 조건은 인가전압 8~16V, 펄스주기 1.5~3.5 μ s, 펄스 폭 100ns~2 μ s이다.

3.2 실험

펄스 on-time 100ns, off-time 1 μ s, on-time 전압 3V, off-time 전압을 500mV로 하고 초기실험을 하였고 이 경우 수소기포가 발생하지 않고 가공이 이루어

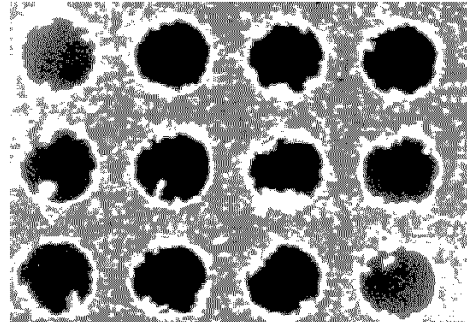


Fig. 1 Tiny burrs after minute hole machining on the thin Invar sheet by laser (Hole diameter : 100 μ m Thickness : 30 μ m)

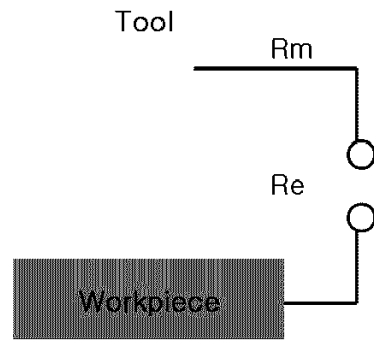


Fig. 2 Schematic diagram of combined electrolyte conductivity

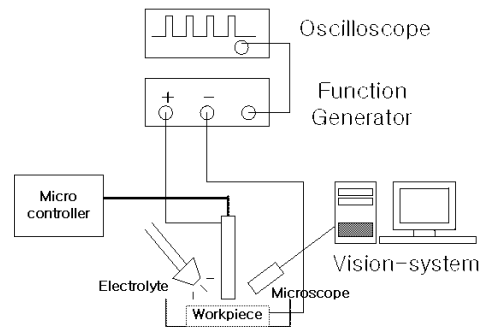


Fig. 3 Schematic diagram of pulse EMM system

Table 1 Experimental condition

Applied voltage	8 ~ 16 V
Off time voltage	400 mV
Electrode(cathode)	Tungsten (ϕ 80)
Workpiece(anode)	Invar
Pulse duration	100ns ~ 2 μ s
Electrolyte	NaNO ₃ (2M)
Temperature	15 $^{\circ}$ C

어지지 않았다. 따라서 on-time과 전압을 조금씩 높였고, on-time 500ns, 인가전압을 6V로 하였을 경우 약간의 수소기포가 발생하기 시작하였으나 가공은 이루어지지 않았다. 저항 Rm과 Re의 임계치가 이 지점을 알 수 있다. 따라서 이 조건을 기준으로 해서 on-time과 인가전압에 따른 가공특성을 알아보았다.

3.3 전압에 따른 가공 특성

on-time을 500ns, off-time을 1 μ m, off-time 전압을 400mV, 가공시간을 20분으로 고정하고 on-time 전압을 8V~16V로 변화시킬 때 나타나는 가공 특성을 살펴보았다. 가공 직경은 8V일 때 88 μ m, 10V일 때 118 μ m, 12V일 때 134 μ m, 14V 일 때 109 μ m, 16V 일 때 162 μ m로 인가전압이 높아 질수록 가공간극이 커짐을 나타내었다. Fig. 4는 인가전압을 8V, 10V, 16V로 하였을 때 가공 직경과 가공깊이의 단면형상이다. 인가전압이 높아질 수 록 가공직경과 가공깊이가 증가함을 알 수 있다. 특히 10V이상의 전압이 인가될 경우 수소기포의 발생이 급격히 증가하기 시작하였고 과도한 전해용출 작용에 의해 탐침에 대한 가공 정밀도가 현저히 낮아짐을 나타냈다. Fig. 6은 인가전압 8V, 10V, 14V, 16V로 가공 한 후 사진이다. 인가전압이 8V, 10V일 때는 균일한 전해용출로 인해 가공 형상이 잘 유지되면서 가공되었지만, 14V, 16V일 때는 높은 전류밀도로 인해 가공간극이 급격히 증가하고 형상이 일그러짐을 나타내고 있다. 또한 가공형상 주변이 검게 그을리는 현상을 나타내었다. 펄스 미세전해가공시 임계저항을 약간 넘는 수준의 전압에서 가공정밀도가 좋게 나타남을 알 수 있다.

3.4 On-time에 따른 가공 특성

off-time을 1 μ s, off-time 전압을 400mV, on-time 전압을 8V로하고 on-time을 500ns에서 2 μ s로 변화하면서 나타나는 가공 특성을 관찰하였다. 가공직경은 on-time 500ns일 때 88 μ m, 600ns일 때 109 μ m, 800ns일 때 115 μ m, 1 μ s 일 때 174 μ m, 1.5 μ s일 때 183 μ m, 2 μ s일 때 278 μ m로 on-time이 길어질수록 가공 간극이 커짐을 나타내었다. 특히 on-time이 1.5 μ s이상일 때는 가공간극이 급격히 증가하였다. Fig. 7은 on-time 500ns, 800ns, 2 μ s일 때의 가공 단면형상이다. on-time이 증가할 때 가공 직경만 커지고 가공 깊이는 그대로 유지되는 것을 볼 수 있다. 특히 on-time 2 μ s일 때는 가운데 부분은 거의 가공되지 않는 W형태의 가공 단면형상을 나타내고 있다. 이는 탐침의 에지(edge)부분에 과도한 전류집중이 일어나서 불균일한 전해용출작용이 발생했기 때문으로 사료된다.

Fig. 9는 on-time증가에 따른 가공형상을 나타내고 있다. on-time이 500ns일 때는 다소 뚜렷한 경계면의 형상을 나타내고 있다. 이는 전기 이중층에서

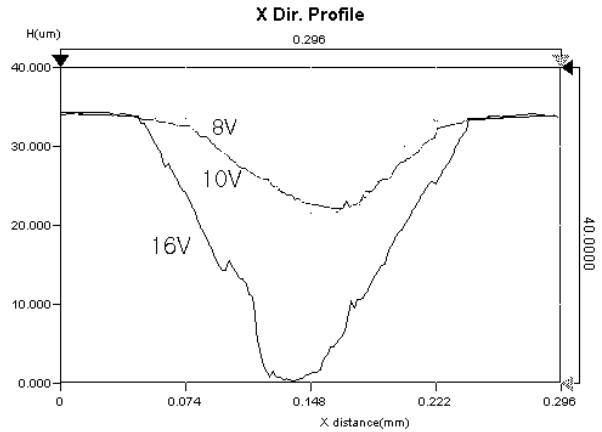


Fig. 4 A sectional diagram of apply voltage 8V, 10V and 16V. The higher voltage has a wider and deeper hole

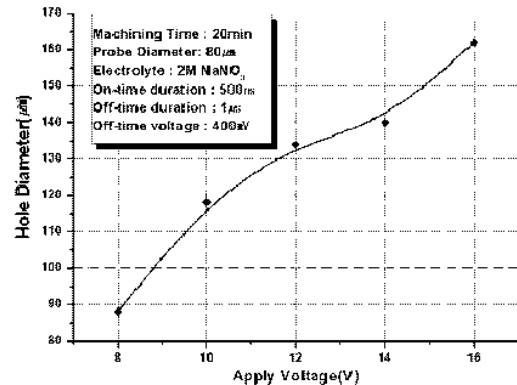


Fig. 5 Increase of hole diameter size versus apply voltage

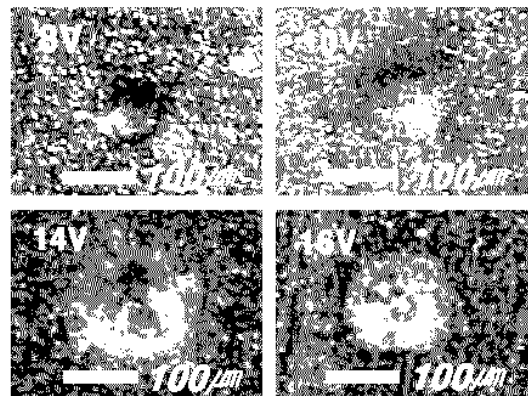


Fig. 6 Crater-shape patterns with each apply voltage

이온의 부족 충전현상 때문으로 사료된다. 그러나 on-time이 600ns이상으로 증가하면 전하의 과충전으로 인하여 가공 정밀도가 악화되며 전기화학 반응이 환원전극의 패턴 쪽을 벗어난 구간까지 발생하여 경계면의 형상이 무디어지고 가공간극이 커짐을 나타내고 있다.

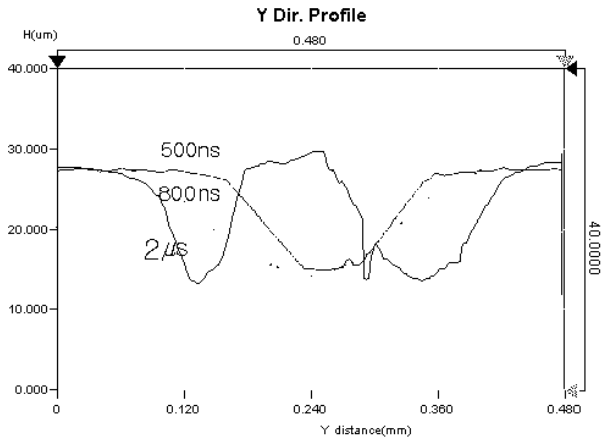


Fig. 7 A sectional diagram of each on-time pulse duration 500ns 600ns 1µs

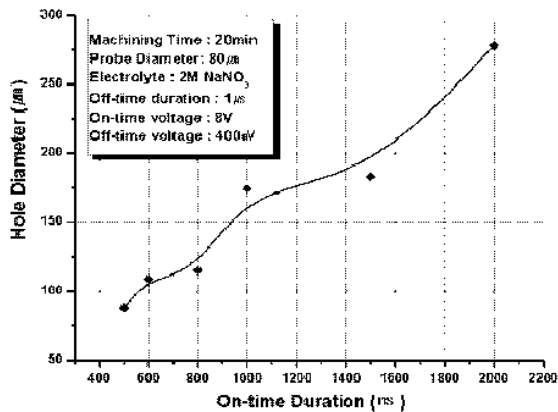


Fig. 8 Increase of hole diameter size versus on-time duration

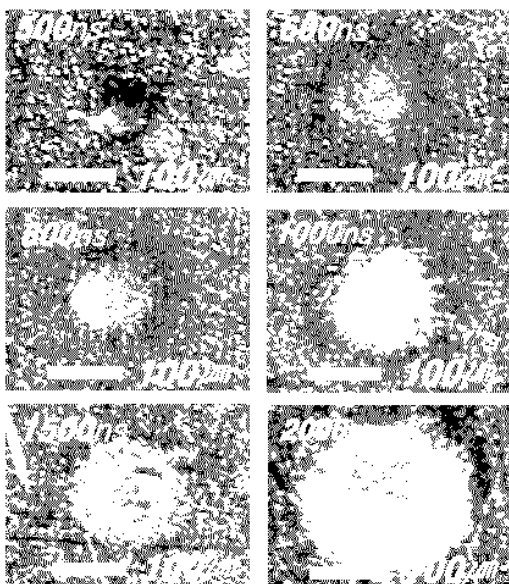


Fig.9 Crater-shape patterns with on-time pulse duration

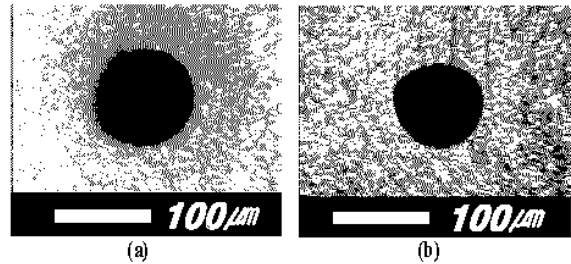


Fig. 10 Hole with 90µm diameter front(a) and back(b) machined by tungsten probe with 80µm diameter, 7.5V applied voltage, 400mV off-time voltage, 450ns on-time, 1µs off-time

4. 결론

지금 80µm의 탐침을 이용하여 새도우마스크에 많이 쓰이고 있는 인바합금에 대해 미세전해가공을 하였고 인가전압과 on-time폭에 따른 가공 특성을 분석하였다. 본 실험에서는 on-time전압7.5V, off-time전압400mV, 450ns on-time, 1µs off-time에서 가장 안정된 가공정밀도를 나타내었다. 이 조건을 기준으로 전압을 낮추거나 on-time을 줄이면 수소기포가 급격히 감소 하면서 가공능률이 급격히 떨어졌고, 반대로 전압과 on-time을 늘리면 수소기포의 급격한 증가로 가공 정밀도가 떨어짐을 알 수 있었다. 따라서 펄스 전해가공은 저항 Re와 Rm의 임계치를 조금 상회하는 부근에서 가장 좋은 가공정밀도를 나타냄을 알 수 있다.

후기

본 연구는 인하대학교 교내 연구지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 인바재료의 기계적 성질에 미치는 풀립 열처리 영향, 원시대, 한국정밀공학회지, Vol. 18, No. 1, PP. 129-138, 2001
2. 박판 메탈 새도우 마스크의 미세 홀 레이저 가공 후 미소 버에 대한 전해 마이크로 디버링 연구, 천영재, 특수가공학, 2004
3. 펄스 전기화학 복합가공기술을 적용한 미세 그루브 가공, 이은상, 박경우, 문영훈, 한국정밀공학회지 Vol.20 No. 9, pp. 32-39, 2003
4. Lee, E. S., Park J. W. and Moon, Y. H., "Development of Ultra Clean Machining Technology with Electrolytic polishing process," International Journal of the KSPE, Vol. 2, No. 1, pp. 18-25, 2001
5. McGeough, J. A., Principles of Electrochemical Machining, Chapman Hallm London, 1974