

## 스테인레스 강과 알루미늄 합금의 전해연마 가공특성에 관한 연구

김창근\*, 이은상\*\*

### A study on machining characteristics of the Electropolishing of Stainless steel and Aluminum alloy

Chang-geun Kim\*, Eun-sang Lee\*\*

#### Abstract

In electropolishing, the ion from the surface of the metal is eliminated by means of an electrical potential and current. Electropolishing is being generally known as a replacement for mechanical finishing. In addition to making a surface smoother, it is a more visible means of brightening, deburring, cleaning, stress-relieving and improving the physical characteristics of most metals and alloys. Therefore, the aim of the present study is to investigate the characteristic of electropolishing STS304 and Al2024 in terms of current density, polishing time and electrode gap, etc.

**Key Words** : Electropolishing(전해연마), Current density(전류밀도), Electrode gap(전극 간격), Contamination(오염물질), Adhesion(부착)

#### 1. 서론

최근 반도체산업 등에서는 극청정, 초평활한 고품위 표면을 실현하기 위해서 최종공정으로 비

접촉 전기화학 가공인 전해연마(Electropolishing)가 적용되고 있다. 기계연마로는 가공 후에 표면 거칠기가 양호하게 되더라도 표면에는 가공변질층이 발생되기 때문에 양호한 극청정 상태의 표면은 얻을 수 없다. 따라서, 평활하며 화학적으로 안정된 표면을 얻기 위해서 전해연마가 이용되고 있다. 전해연마 가공기술은 주요 기간산업 즉 반도체, 바이오, 전기전자, 자동차, 항공기 등 각 분야에 적용 가능한 기반기술로써 기계 주요 부품용 재료에 사용되는 스테인레스 강과 알루미늄 합금에 전해연마를 적용할 경우 표면품질뿐만 아니라 기계의 수명에도 많은 영향을 미칠 것이다. 이러한 전해연마의 가공특성에 관한 연구들은 전류밀도와 전해액 조성의 관점에서 진행되어 왔다.<sup>(1~3)</sup> 따라서, 본 연구에서는 전류밀도 뿐만 아니라 가공시간, 전극봉의 간극, 전해액의 온도 등의 관점에서 스테인레스 강과 알루미늄 합금의 전해연마 가공 특성을 고찰하고자 한다.

#### 2. 전해연마의 원리

전해연마는 전해액 중에 공작물을 (+) 극에, 불용해성이며 전기저항이 작은 동(銅) 등을 (-) 극에 연결하고 전류를 통할 때 공작물의 표면을 용

\* 인하대학교 기계공학과 대학원(ohskcg@vhanmail.net)

\*\* 인하대학교 기계공학과

해시켜 매끈하고 광택이 있는 면으로 만드는 방법이다.<sup>(4)</sup> 이것은 가공중에 발생하는 점성, 비중, 절연성이 높은 산화막이 표면의 미소한 골(凹)부를 덮어 그 부분의 용해를 방해하고 전류밀도가 집중하는 산(凸)부의 선택적 용해에 의해 전해연마가 이루어지는 것으로<sup>(5)</sup> 전해액 속에서 고전류 밀도로 단시간에 전류를 통하면 금속표면이 깨끗해지고, 보다 평활한 면을 얻을 수 있는 금속연마법이다. 이러한 전해연마는 최근에 반도체 제조장비, 식품위생기기, 의료기기, 정밀 금형 및 원자력기기 등 표면의 정밀도와 청정도를 함께 요구하는 다양한 산업분야에 응용되고 있다.<sup>(5)</sup>

Fig. 1과 같이 전해액 속에 (+) 극에는 공작물을, (-) 극에는 전극을 연결한 후 전류를 인가하면 (+) 극에서는 산소가스가 발생하여 금속의 용출이 이루어지고, (-) 극에서는 용출작용 없이 다량의 수소가스가 발생한다.<sup>(1~2)</sup> 양극에서 발생하는 산소가스의 이동은 반응이 일어나는 지점의 전해액을 활발히 혼합, 유동시켜 전해액의 포화도를 새롭게 만든다. 이와 같은 산소가스의 이동은 보다 신속한 전해연마 반응을 가능하게 한다.

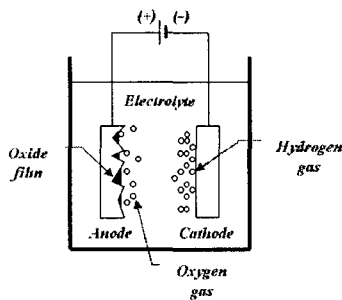


Fig. 1 The principle of electropolishing

### 3. 실험장치 및 구성

Fig. 2는 실험장치로 전극은 구리를 사용하여 (-) 극에 연결하였고, 스테인레스 강으로 제작된 지그를 (+) 극에 연결해 공작물을 고정할 수 있게 하였다. 전원 공급 장치는 최대 50A, 50V 까지 인가할 수 있으며, 전극과 지그는 인산과 황산, 중류수의 혼합 전해액에 담겨져 있다. 실험 시에 온도 영향을 최소화하기 위해 전해액이 순환할 수 있도

록 하였다.

Table 1은 본 연구의 실험 조건이다.

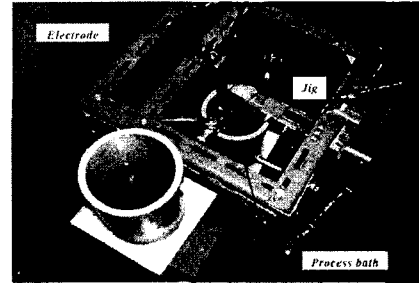


Fig. 2 The experimental setup

Table 1. Experimental conditions

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Power supply             | 50V,50A DC   |
| Workpiece(anode)         | STS304<br>1cm×1cm (t=1.5mm)  |
| Electrolyte              | Phosphoric acid (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )<br>Sulphuric acid (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )<br>Distilled water |
| Electrode(cathode)       | Cu   |
| Jig                      | Stainless steel  |
| Surface roughness tester | Talyplofile 3.0<br>(Surtronic 3+)  |
| Surface measurement      | Kan Scope 3.0  |

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 STS304 에 관한 평가

#### 4.1.1 전압과 전류밀도와의 관계

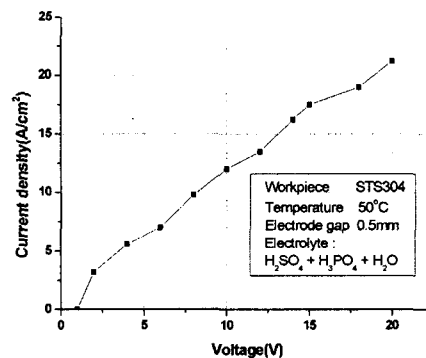


Fig. 3 The current density-voltage curve

Fig. 3은 전해연마 후 얻어진 전압과 전류밀도의 관계를 나타낸 그래프이다. 실험결과 전압의 증가에 따라 전류밀도가 상승하는 경향을 나타내고 있다. 전압의 증가에 따른 전류밀도의 변화가 적은 구간(plateau 구간)에서 전해연마가 발생하는데, 이러한 구간은 전해연마의 필수적인 요소가 아니며, 사용하는 전류밀도치가 더욱 중요하다.<sup>(5)</sup>

#### 4.1.2 전류밀도에 대한 평가

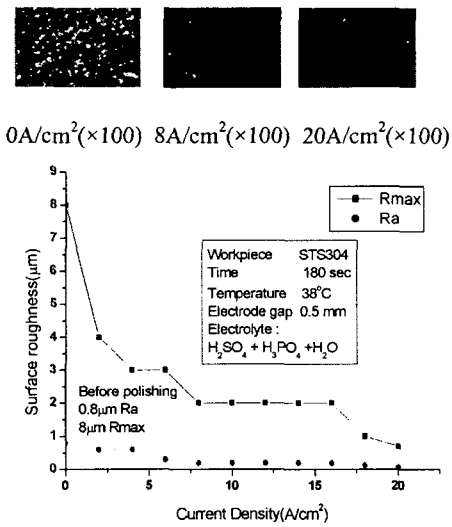


Fig. 4 Relationship between surface roughness and current density

Fig. 4는 STS304의 전류밀도에 따른 표면 거칠기와 표면사진을 나타내고 있다. 실험결과 전류밀도가 높을수록 시편의 표면 거칠기는 향상되는 경향을 보이고 있다. 그러나, 전류밀도가 약 8A/cm<sup>2</sup> 이상의 영역에서는 표면 거칠기의 향상은 둔화된다. 또한 표면사진을 비교해보면 0A/cm<sup>2</sup> 일 때는 표면에 수많은 돌출부 등이 관찰되나, 8A/cm<sup>2</sup> 이상에서는 양호한 표면이 보인다. 따라서, 전해연마에서는 전류밀도가 중요한 가공특성임을 알 수 있다.

#### 4.1.3 가공시간에 대한 평가

Fig. 5는 STS304 시편을 가공시간에 따라 전해연마하여 공작물의 표면 거칠기와 표면사진을 나

타낸 것이다. 실험결과 가공시간이 길어질수록 공작물 표면 거칠기가 향상됨을 알 수 있었다. 표면사진을 관찰하면 처음에는 표면에 수많은 돌기가 보이나, 약 120sec 이후에는 표면 거칠기가 향상되고, 약 300sec 가 되면 표면품위가 양호하고 입계가 선명한 조직이 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서, 고품위의 평면을 얻기 위해서는 전해연마 시 적절한 가공시간의 선택이 필요함을 알 수 있다.

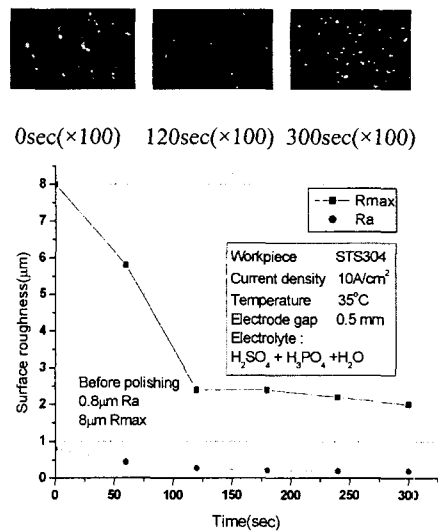


Fig. 5 Relationship between surface roughness and polishing time

#### 4.1.4 전해액 온도에 대한 평가

Fig. 6은 전해액의 평균온도에 따른 공작물의 표면 거칠기 변화와 표면사진을 나타낸 그래프이다. 실험결과 온도가 상승함에 따라 표면 거칠기가 서서히 양호해 지고, 특히 약 80°C의 온도에서 표면이 가장 우수함을 알 수 있다. 또한 표면사진에서도 약 24°C에서는 전해연마 작용이 제대로 일어나지 않아 표면에 돌출부가 관찰되고, 약 47°C 이상에서는 표면의 거칠기가 점점 양호해 짐을 알 수 있다. 이는 전해액의 온도가 높을수록 전해액의 점성이 증가하여 전해연마의 선택적 용해가 더욱 활발히 진행되어 금속의 가공성을 증가시키기 때문이다.<sup>(5)</sup>

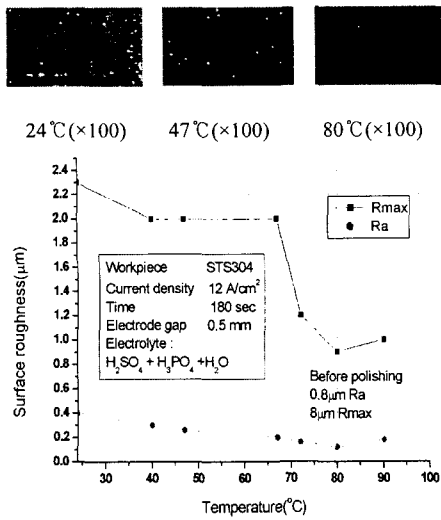


Fig. 6 Relationship between surface roughness and temperature

#### 4.1.5 전극 간극에 대한 평가

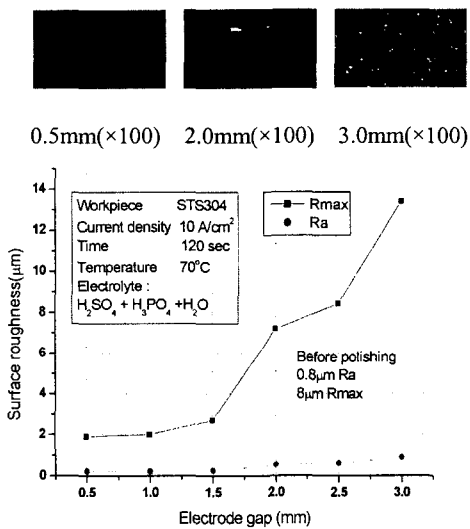


Fig. 7 Relationship between surface roughness and electrode gap

Fig. 7은 STS304 시편을 전해연마한 후 전극 간극에 따른 표면 거칠기와 표면사진을 나타내고 있다. 실험결과 전극간극이 커질수록 표면 거칠기가 나빠지는 결과를 얻었다. 또한 표면사진에서도

간극이 0.5mm 일 때는 표면 거칠기가 양호하나, 2.0mm 이후에는 수많은 돌기가 관찰된다. 이는 전극간극이 커질수록 처음에 용출되었던 금속들이 표면에 재응착되기 때문이다.<sup>(5)</sup> 이 실험에서는 전극간극이 약 0.5mm ~ 1.0mm 일 때 양호한 결과를 얻었다.

#### 4.1.6 가공시간에 따른 크롬발생량에 대한 평가

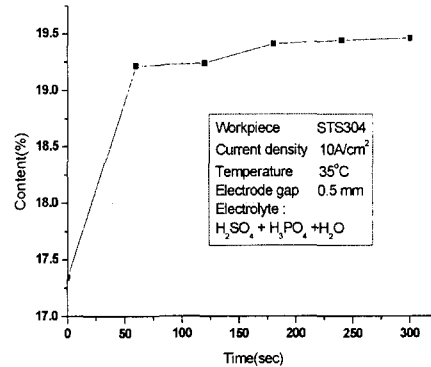


Fig. 8 Relationship between Cr and polishing time

Fig. 8은 시편을 가공시간에 따라 전해연마한 후 크롬(Cr)의 함유율을 측정된 것이다. 가공시간이 약 60sec 가 되면 시편의 크롬함유율이 처음보다 약 10% 정도 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 전해연마 반응이 일어나면 크롬이 함유된 산화피막이 생겨 선택적인 이온의 용출이 일어나기 때문이다.<sup>(5)</sup> 60sec 이후에는 크롬의 함유율에 크게 변화가 없는데, 이것은 전류가 인가되면 곧바로 일정한 두께의 산화피막이 생기기 때문이다.

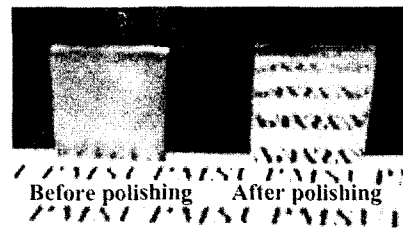


Fig. 9 Appearance between before and after electropolishing

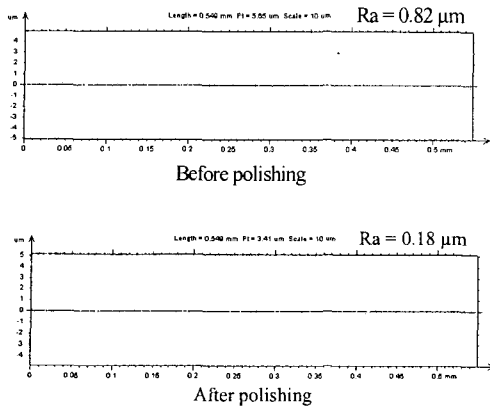


Fig. 10 Surface profiles between before and after electropolishing

Fig. 9는 STS304의 전해연마 전, 후의 표면의 광택도를 비교한 그림이고, Fig. 10은 전, 후의 표면 형상(Roughness Profile) 사진이다. 그림에서 보는 바와 같이 표면 거칠기 값이 처음보다 약 4배 향상되었음을 알 수 있다.

## 4.2 Al2024에 관한 평가

### 4.2.1 전압과 전류밀도와의 관계

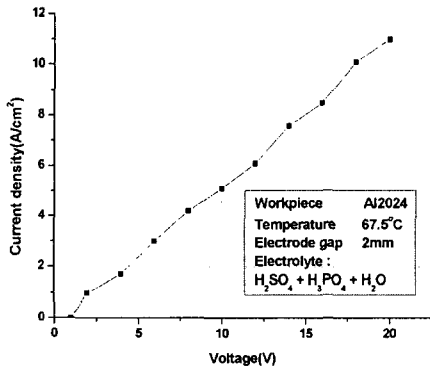


Fig. 11 The current density-voltage curve

Fig. 11은 Al2024의 전해연마 후 얻어진 전압과 전류밀도의 관계를 나타낸 그래프이다. 전압의 증가에 따라 전류밀도가 상승하는 경향을 나타내고 있다.

### 4.2.2 전류밀도에 대한 평가

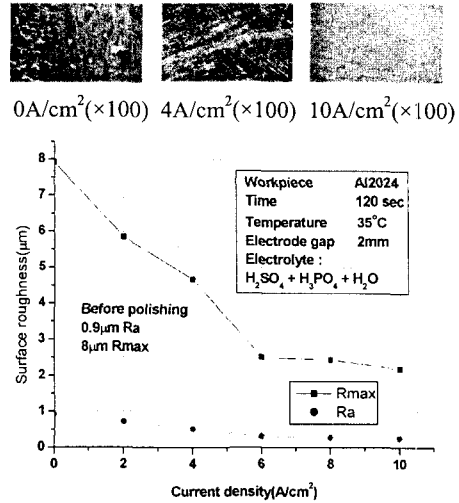


Fig. 12 Relationship between surface roughness and current density

Fig. 12는 Al2024의 전류밀도에 따른 시편의 표면 거칠기와 표면사진을 보여주고 있다. 실험결과 전류밀도가 높을수록 표면 거칠기는 향상되는 경향을 보인다. 또한 표면사진을 관찰하면 0A/cm<sup>2</sup>일 때는 표면에 수많은 돌출부 등이 관찰되나, 4A/cm<sup>2</sup> 이상에서는 전류밀도가 커질수록 표면 거칠기가 양호해짐을 알 수 있다. 따라서, Al2024의 전해연마 시 6A/cm<sup>2</sup> 이상의 전류밀도를 선택해야 한다.

### 4.2.3 가공시간에 대한 평가

Fig. 13은 Al2024를 가공시간에 따라 전해연마하여 공작물의 표면 거칠기와 표면사진을 나타낸 것이다. 실험결과 가공시간이 길어질수록 공작물 표면 거칠기가 향상되는 경향을 보이고 있으나, 약 200sec를 넘어서면 표면 거칠기의 향상정도는 둔화되는 경향을 보인다. 또한 표면사진을 관찰하면 처음에는 표면에 거친 돌기가 보이나, 약 200sec 이후에는 표면 거칠기가 향상되고 있다. 따라서, 고품위의 평면을 얻기 위해서는 전해연마 시 적절한 가공시간의 선택이 필요함을 알 수 있다.

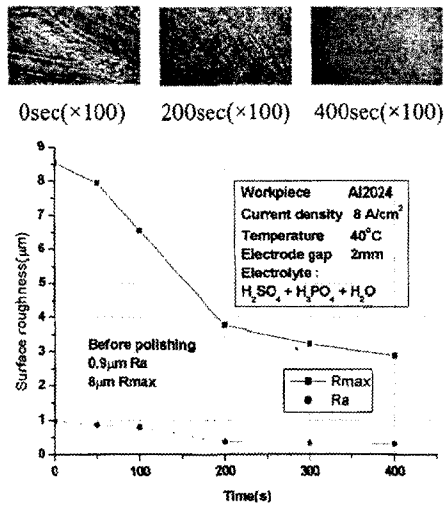


Fig. 13 Relationship between surface roughness and polishing time

#### 4.2.4 전극 간극에 대한 평가

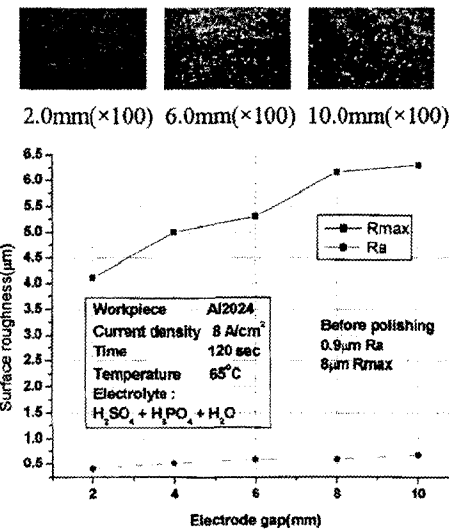


Fig. 14 Relationship between surface roughness and electrode gap

Fig. 14는 Al2024 의 전극 간극에 따른 표면 거칠기와 표면사진을 나타내고 있다. 실험결과 전극 간극이 커질수록 표면이 거칠어 지는 경향을

보인다. 또한 표면사진에서도 전극의 간극이 커질수록 전해연마 반응이 제대로 일어나지 않아서 표면에 돌출부가 관찰된다. 이 실험에서는 전극간극이 약 2mm 일 때 양호한 결과를 얻었다.

#### 5. 결 론

1. 실험결과 전해연마 시 전류밀도가 중요한 요소로 작용하며, 특히 STS304 일 경우  $8A/cm^2$  이상일 때, Al2024 인 경우  $6A/cm^2$  이상의 전류밀도일 때 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있었고, 가공시간은 STS304 일 경우 120sec 이상일 때, Al2024 인 경우 200sec 이상일 때 표면 거칠기의 향상 정도가 둔화되는 경향을 나타내었다.
2. STS304 인 경우 전극 간극은 0.5mm ~ 1.0mm 일 때, Al2024 인 경우 2mm 일 때 양호한 결과를 얻었다.
3. STS304 인 경우 전해액의 온도가  $80^\circ C$  일 때 표면형상과 조적이 가장 양호하였다.
4. STS304 는 전해연마가 시작되면 표면의 크롬 (Cr)함유율이 처음보다 약 10% 정도 증가한다.

#### 참고문헌

1. Davis, R.L., "An Electropolishing Primer," Products Finishing, pp. 68~71, 1995.
2. E. S. Lee, J. W. Park and Y. H. Mo 'Development of Ultra Clean Machining Technology with Electrolytic Polishing Process', International Journal of KSPE, Vol. 2, No. 1, pp. 18~25, 2001.
3. Kovacheva, R., Dafinova, R. and Gidikova, N., "Electropolishing of Copper and Copper Base Alloy for Metallographic Inspection", Prakt, Metallogr 30, pp. 558~566, 1993.
4. 康明順, 孫明煥, "最新 機械工作法", 文運堂, pp.777~778, 1997.
5. 이은상, 김정두, "고농률·고품위 전해연마", 月刊 機械技術, Vol. 26, No. 3, pp. 18~34, 1999.