

알루미늄 합금의 전해연마 가공특성에 관한 연구

이은상*, 김창근†

(논문접수일 2002. 12. 4, 심사완료일 2003. 2. 21)

A Study on machining characteristics of the Electropolishing of Aluminum alloy

Eun-sang Lee*, Chang-geun Kim†

Abstract

Electropolishing is the electrolytic removal of metal in a highly ionic solution by means of an electrical potential and current. It is normally used to remove a very thin layer of material on the surface of a metal part or component. Electropolishing is able to enhance the material properties of a workpiece and to change its physical dimensions. Also, It is suitable for the polishing of both complex shapes and hardened materials, which are difficult to machine mechanically. Therefore, the aim of the present study is to investigate the characteristic of electropolishing Al2024 in terms of current density, polishing time and electrode gap, etc.

Key Words : Electropolishing(전해연마), Current density(전류밀도), Electrode gap(전극 간격)

1. 서론

최근 반도체산업 등에서는 극청정, 초평활한 고품위 표면을 실현하기 위해서 최종공정으로 비접촉 전기화학 가공인 전해연마(Electropolishing)가 적용되고 있다. 기계연마로는 가공 후에 표면 거칠기가 양호하게 되더라도 표면에는 가공 변질층이 발생되기 때문에 양호한 극청정 상태의 표면을 얻을 수 없다. 따라서, 평활하며 화학적으로 안정된 표면을 얻기 위해서 전해연마 기술이 이용된다. 전해연마는 근본적

으로 표면의 미소 돌출부를 선택적으로 용해함으로써 일반 가공부품의 표면 거칠기 값을 50~80% 정도 향상시키며, 기존의 치수 공차가 유지되므로 표면 거칠기의 향상을 도모할 경우 매우 유용한 가공법이다. 또한 전해연마는 기계 가공 후 생기는 스크래치, 불순물 등 여러 가지 결함들을 제거해 줄 뿐만 아니라 우수한 광택도 및 평활한 표면을 얻을 수 있으므로 금속의 효율적인 표면처리가 가능하다. 전해연마 가공기술은 주요 기간산업 즉 반도체, 바이오, 전기전자, 자동차, 항공기 등 각 분야에 적용 가능한 기술로써

* 주저자, 인하대학교 기계공학과 (leees@inha.ac.kr)

주소: 402-751 인천시 남구 용현동 253

† 인하대학교 대학원 기계공학과

기계 주요 부품용 재료에 사용되는 알루미늄 합금에 전해연마를 적용할 경우 표면품질 뿐만 아니라 기계부품의 수명에도 많은 영향을 미칠 것이다. 기존의 전해연마 관련 연구는 주로 전류밀도에 따른 금속학적 측면에서의 표면조직 관찰과 최적의 전해액 조성이 주목적이었다⁽¹⁻⁴⁾. 또한, 전해연마 후의 파괴강도와 각각의 조건에 따른 부동태 상태를 비교해서 전해연마의 최적 조건을 찾는 연구들이 진행되었다⁽⁵⁻⁶⁾. 따라서, 본 연구에서는 전류밀도 뿐만 아니라 가공시간, 전극봉의 간극, 전해액의 온도 등의 관점에서 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 용해시켜 매끈하고 광택이 있는 면으로 만드는 방법이다.

Fig. 1과 같이 가공 중에 발생하는 점성, 비중, 절연성이 높은 산화막이 표면의 미소한 골(凹)부를 덮어 그 부분의 용해를 방해하고, 전류밀도가 집중되는 산(凸)부의 금속이온의 용출로 인해 산화층 내의 금속이온은 주위의 전해액보다 낮은 금속농도를 가지게 된다. 이러한 농도차에 따른 삼투현상(Osmosis)으로 금속이온이 전해액으로 이동하는 현상이 활발하게 진행된다. 또한 산화층 내에서도 전해액과 접하는 바깥층의 이온이동이 활발하게 이루어져 양극의 돌출부위를 덮고 있는 절연성 산화막의 두께를 줄이는데 이러한 이온의 이동이 돌출부위를 전해액 중에 서서히 드러나게 함으로써 금속 표면의 선택적 용해를 촉진시킨다.

Fig. 2와 같이 전해액 속에 (+) 극에는 공작물을, (-) 극에는 전극을 연결한 후 전류를 인가하면 (+)극에서는 산소가스가 발생하고, (-) 극에서는 용출작용 없이 다량의 수소가스가 발생한다⁽⁷⁾.

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.

3. 실험장치 및 구성

Fig. 3은 실험장치로서 전극은 구리를 사용하여 (-) 극에 연결하였고, 스테인레스 강으로 제작된 지그를 (+) 극에 연결해 공작물을 고정할 수 있게 하였다. 전원 공급 장치는 최

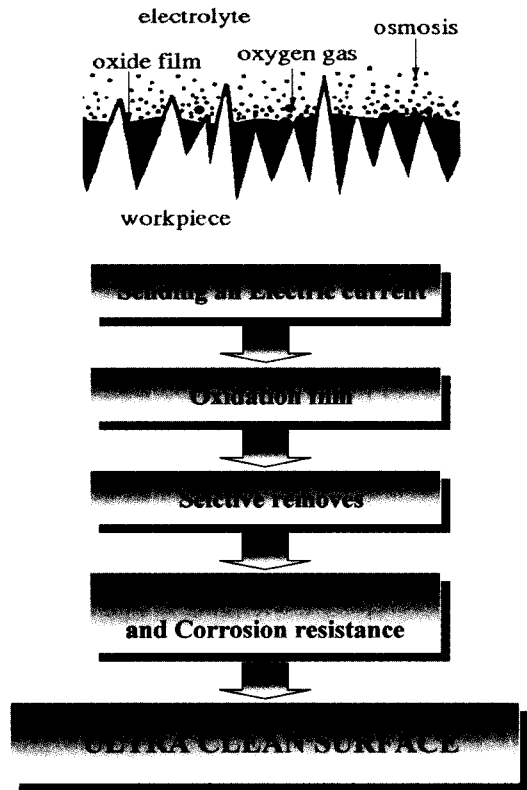


Fig. 1 The electroplishing mechanism

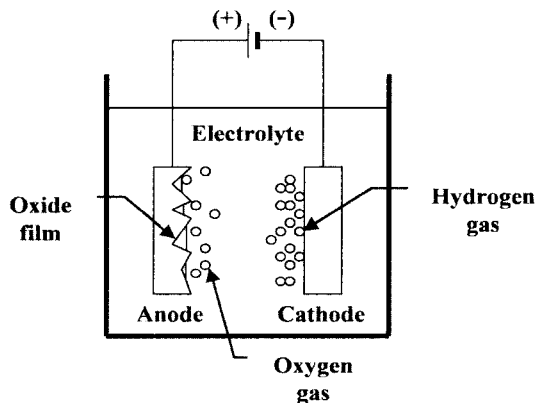


Fig. 2 The principle of electroplishing

대 50V, 50A 까지 인가할 수 있으며, 전극과 지그는 인산과 황산, 증류수의 혼합 전해액에 담겨져 있다. 실험 시에 온도 영향을 최소화하기 위해 전해액이 순환할 수 있도록 하였다.

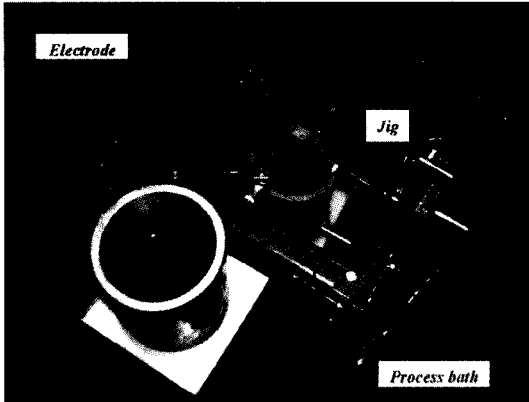


Fig. 3 The experimental setup

Table 1 Experimental conditions

Power supply	50V, 50A DC
Workpiece(anode)	Al2024 2cm×2cm (t=5mm)
Electrolyte	Phosphoric acid (H ₃ PO ₄) Sulphuric acid (H ₂ SO ₄) Distilled water
Electrode(cathode)	Cu
Jig	Stainless steel
Surface roughness tester	Taylor Hobson (Surtronic 3+)
Surface measurement	Kan Scope 3.0

Table 1은 본 연구의 실험 조건이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전압과 전류밀도와의 관계

Fig. 4는 Al2024의 전해연마 후 얻어진 전압과 전류밀도의 관계를 나타낸 것이다. 전압의 증가에 따라 전류밀도가 비례적으로 상승하고 있다. 전압의 증가에 따른 전류밀도의 변화가 적은 구간(Plateau 구간)에서 전해연마가 발생하는데, 이러한 구간은 전해연마의 필수적인 요소가 아니며, 사용하는 전류밀도치가 더욱 중요하다.

4.2 전류밀도에 대한 평가

Fig. 5는 Al2024의 전류밀도에 따른 시편의 표면 거칠기

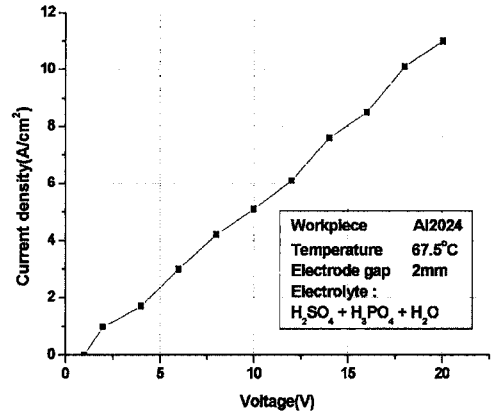


Fig. 4 The current density-voltage curve

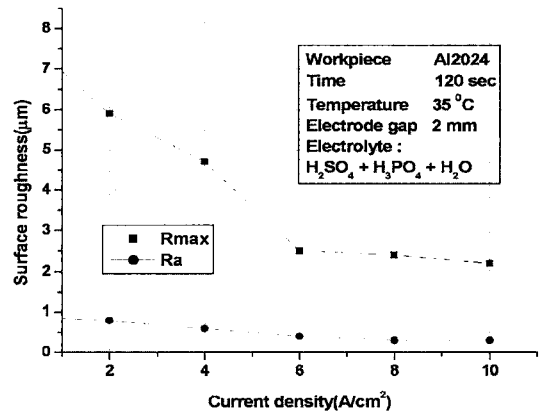
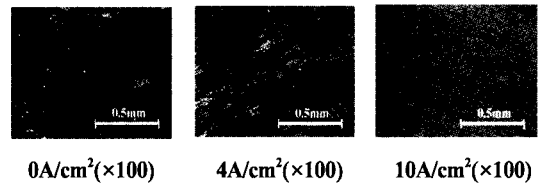


Fig. 5 Relationship between surface roughness and current density

와 표면사진을 보여주고 있다. 실험결과 전류밀도가 높을수록 표면 거칠기는 향상되는 경향을 보인다. 그러나, 전류밀도가 6A/cm² 이상의 영역에서는 표면 거칠기의 향상은 둔화된다. 또한 표면사진을 관찰하면 0A/cm² 일 때는 표면에 수많은 돌출부 등이 관찰되나, 4A/cm² 이상에서는 전류밀도가 커질수록 표면 거칠기가 양호해짐을 알 수 있다. 따라서, 전해연마에서 전류밀도는 중요한 가공특성이다.

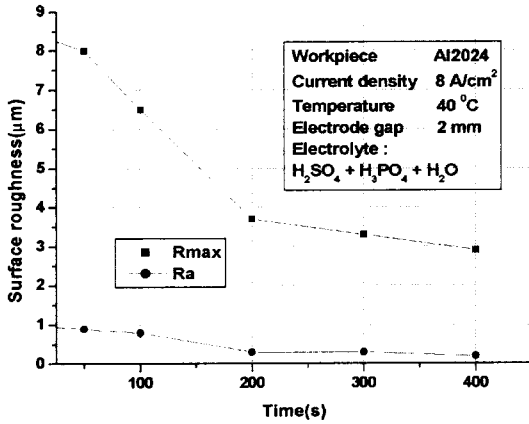
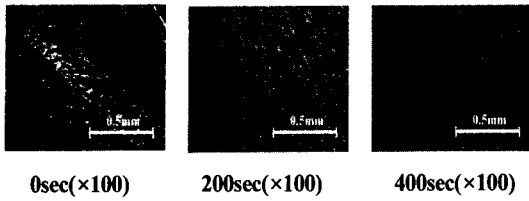


Fig. 6 Relationship between surface roughness and polishing time

4.3 가공시간에 대한 평가

Fig. 6은 Al2024 시편을 전해연마하여 공작물의 표면 거칠기와 표면사진을 가공시간에 따라 나타낸 것이다. 실험결과 가공시간이 길어질수록 공작물의 표면 거칠기가 향상됨을 알 수 있었다. 표면사진을 관찰하면 처음에는 표면에 수많은 돌기가 보이나, 200sec를 넘어서면 표면 거칠기가 향상되는 것을 알 수 있다. 따라서, 고품위의 평면을 얻기 위해서는 전해연마 시 적절한 가공시간의 선택이 필요함을 알 수 있다.

4.4 전해액의 온도에 대한 평가

Fig. 7은 전해액의 온도에 따른 실험 후, 시편의 표면 거칠기와 표면사진을 나타낸 것이다. 실험 전, 후 약 2°C 정도의 온도 변화가 발생하였는데, 이 실험에서는 실험 전, 후의 평균온도로 나타내었다. 위의 그래프를 보면 온도가 상승함에 따라 표면 거칠기가 서서히 양호해 지고, 특히 65°C의 온도에서 표면이 가장 우수함을 알 수 있다. 또한 표면사진에서도 16°C에서는 전해연마가 제대로 일어나지 않아 표면에 돌출부가 관찰되나, 65°C에서는 평활한 표면을 볼 수 있다. 이는 전해액의 온도가 높을수록 전해액의 점성이 증가

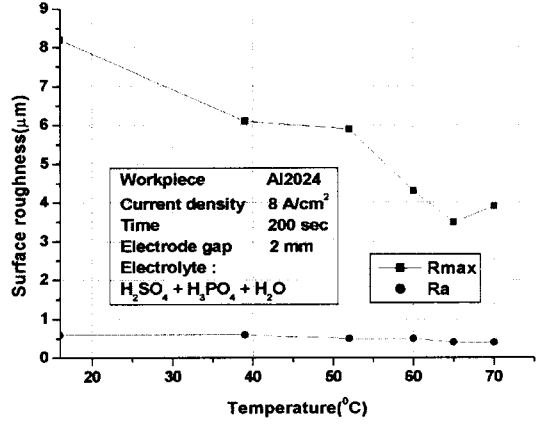
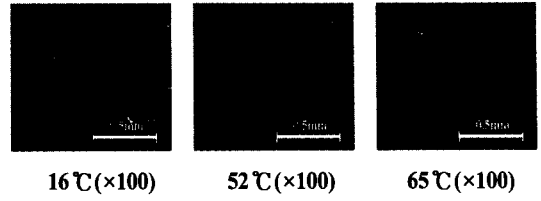


Fig. 7 Relationship between surface roughness and electrolyte temperature

하여 전해연마의 선택적 용해가 더욱 활발히 진행되기 때문에 일어나는 현상이다⁽⁸⁾.

4.5 전극 간극에 대한 평가

Fig. 8은 Al2024 시편을 전해연마한 후 공작물과 전극의 간극에 따른 표면 거칠기와 표면사진을 나타내고 있다. 실험결과 전극 간극이 커질수록 표면이 거칠어지는 경향을 보인다. 또한 표면사진에서도 간극이 2.0mm 일 때는 표면 거칠기가 양호하나, 6.0mm 이후에는 거칠어지는 것을 알 수 있다. 이는 전극의 간극이 커질수록 처음에 용출되었던 금속들이 표면에 재응착 되기 때문이다. 또한 전극간극이 2mm 이하일 때는 공식현상(pitting)이 발생하였다. 이 실험에서는 전극간극이 약 2mm 일 때 양호한 결과를 얻었다.

4.6 전(前)가공 표면 거칠기에 대한 평가

Fig. 9는 #600, #1000, #2000의 연마입자로 래핑하여 공작물의 전(前)가공 표면 거칠기를 달리한 후 실험한 결과이다. 실험결과 전해연마한 후의 표면 거칠기 향상정도가 한계가 있으므로 보다 양호한 표면품위를 얻기 위해서는 공작물의 전(前)가공이 필요하다.

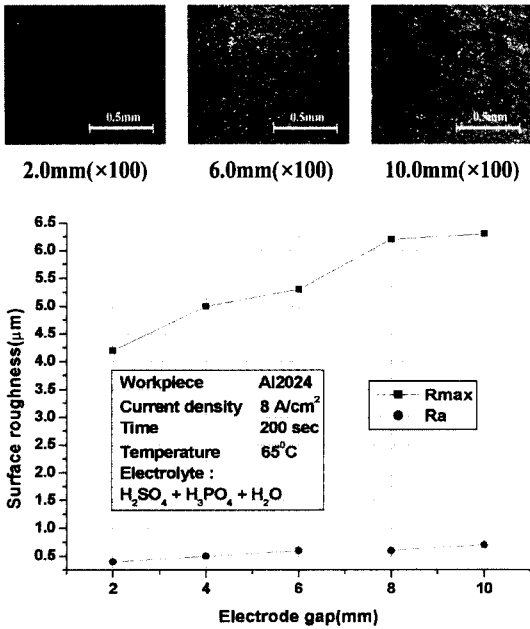


Fig. 8 Relationship between surface roughness and electrode gap

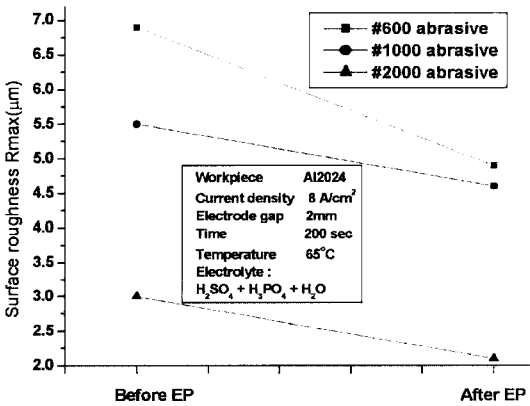


Fig. 9 Relationship between surface roughness of before and after electropolishing

Fig. 10은 밀링 작업한 후 시편에 발생한 버(Burr)를 전해연마를 통해 제거한 사진(×500)이다.

Fig. 11은 전해연마 전, 후의 표면형상(Roughness profile)을 비교한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 표면 거칠기 값이 처음보다 약 2배 향상되었음을 알 수 있다.

Fig. 12는 Al2024의 전해연마 전, 후의 표면 광택도를 비

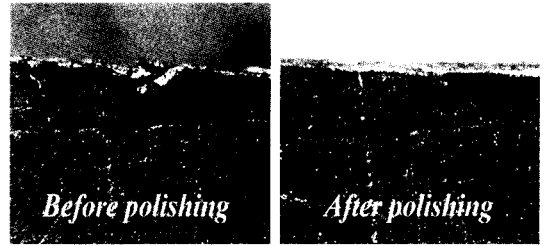


Fig. 10 Burr removal with electropolishing

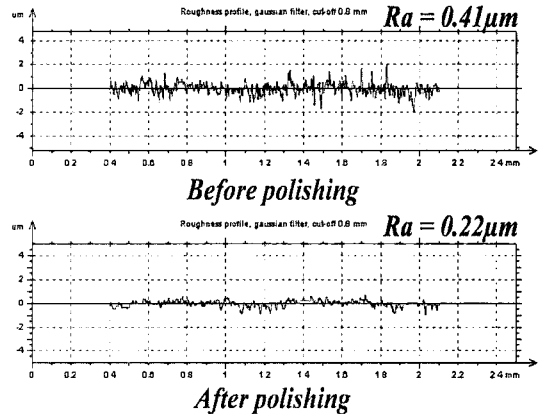


Fig. 11 Surface profiles before and after

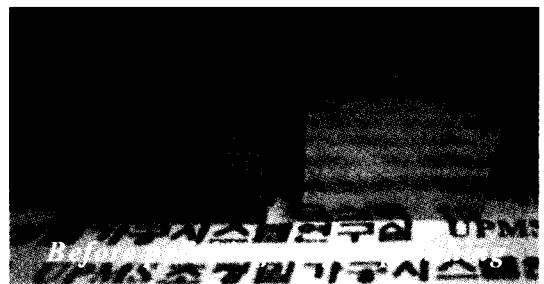


Fig. 12 Appearance profiles before and after electropolishing

교한 그림이다. 전해연마 후에는 경면이 생성됨을 알 수 있다.

5. 결 론

알루미늄의 전해연마 실험을 통해 조건에 따른 시편의 표면 거칠기와 표면 사진을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실험결과 전해연마 시 전류밀도가 중요한 요소로 작용하며, Al2024 인 경우 $6A/cm^2$ 이상의 전류밀도일 때 양호한 표면 거칠기를 얻을 수 있었고, 가공시간은 200sec 이상일 때 표면 거칠기의 향상 정도가 둔화되는 경향을 나타내었다.
- (2) 공작물과 전극의 간극은 2mm 일 때 양호한 결과를 얻었다.
- (3) 전해액의 온도가 65℃ 일 때, 표면형상과 표면 거칠기가 가장 양호하였다.
- (4) 전해연마 시 표면 거칠기의 향상정도는 한계가 있으므로 고품위의 표면을 달성하기 위해서는 전(前)가공이 필수적임을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) Kovacheva, R., Dafinova, R. and Gidikova, N., 1993, "Electropolishing of Copper and Copper Base Alloy for Metallographic Inspection", *Praktische Metallographie* 30, pp. 558~566.
- (2) Kovacheva, R., Zadgorsky, S. and Lilova, A., 1993, "Electrolytic Polishing of Zn-Al-Cu Alloys", *Praktische Metallographie*, Vol. 30, pp. 62~72.
- (3) Kovacheva, R., Gidikova, N. and Lilova, A., 1992, "A New Electropolishing Technique for Metallographic Specimen Preparation of Zinc and Zinc Alloy",

- Materials Characterization*, Vol. 28, pp. 205~211.
- (4) Labarga, J. E., Bastidast, J. M. and Feliut, S., 1991, "A Contribution to the Study on Electropolishing of Mild Steel and Aluminum using Alternating Current", *Electrochimica Acta*, Vol. 36, No. 1, pp. 93~95.
- (5) Murali, S., Ramachadra, M., Murthy, K. S. S. and Raman, K. S., 1997, "Electropolishing of Al-7Si-0.3Mg Cast Alloy by Using Perchloric and Nitric Acid Electrolytes", *Materials Characterization*, Vol. 38, No. 4-5, pp. 273~286.
- (6) Raman, G. S. and Padmanabhan, K. A., 1995, "Effect of Electropolishing on the Room- Temperature Low-Cycle Fatigue Behaviour of AISI 304LN Stainless Steel", *International Journal of Fatigue*, Vol. 17, No. 2, pp. 179~182.
- (7) Lee, E. S., Park, J. W. and Moon, Y. H., 2001, "Development of Ultra Clean Machining Technology with Electrolytic Polishing Process", *International Journal of KSPE*, Vol. 2, No. 1, pp. 18~25.
- (8) Carie, J. P., Chainet, E., Nguyen, B. and Valenti, P., 1993, "Study of a New Stainless Steel Electropolishing Process", *Proceedings of the 80th AESF Annual*, USA, pp. 149~156.