

EP와 MR Polishing 복합공정에 의한 304 스테인리스강의 경면가공

김동우*, 홍광표⁺, 조명우⁺⁺, 이은상⁺⁺
(논문접수일 2010. 2. 24, 심사완료일 2010. 3. 15)

Mirrorlike Machining of SUS304 by Combined process of EP and MR Polishing

Dong-Woo, Kim*, Kwang-Pyo, Hong⁺, Myeong-Woo, Cho⁺⁺, Eun-Sang, Lee⁺⁺

Abstract

Recently, the magnetorheological (MR) polishing process has been examined as a new ultra-precision polishing technology for mirror surface generation in many applications, such as aspheric lenses, biochips, micro parts, etc. This method uses MR fluids which contains micro abrasives as a polishing media, and can. It is possible to obtain nano level surface roughness under suitable process conditions, however, required polishing time is highly dependent on the applied pre-polishing methods due to its very small material removal rate. Thus, in this study, a combined polishing method is presented to reduce total polishing time for SUS304. First, the electropolishing (EP) method was applied to obtain fine surface roughness, and the MR polishing was followed. Surface roughness variations were investigated according to the process conditions. As the results of this study, it was possible to reduce total polishing time for SUS304 using the proposed combined polishing method.

Key Words : Electro-polishing (전해연마), Magnetorheological fluid(자기유변유체), Surface Roughness(표면거칠기), SUS 304(304 스테인리스강), Hybrid machining(복합가공)

1. 서론

산업의 급속한 발달로 인한 고정도 기계 및 광학 부품의

수요가 급격히 증가하고 있지만 특수합금강, 알루미늄합금, 스테인리스 강 등과 같이 뛰어난 물리적 성질을 가진 난삭 재료들은 신속하고 정밀한 가공에 있어 여러 기술적 문제가 제

* 인하대학교 차세대 수송기계 부품 산학 공동사업단 (kdw525@inha.ac.kr)
주소: 402-751 인천광역시 남구 용현동 253

+ 인하대학교 기계공학과 대학원

++ 인하대학교 기계공학부

기 되고 있다. 특히 전자, 자성, 광학 분야에서 사용되는 경 취 재료의 가공은 나노급 표면 평활성 뿐만 아니라 서브 미크 론의 형상 치수 정밀도를 달성하는 초정밀 가공 기술이 요구 되고 있다. 따라서 초정밀 부품 표면에 대한 경면 연마공정 에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 그 결과 초음파 가공, 인프로세스 드레싱(ELID) 연삭, Micro EDM/ECM, Electro-polishing(EP), 자기유변유체(Magnotorheological fluid) 를 이용한 polishing 등과 같은 새로운 연마기술들이 소개되었 다.⁽¹⁻³⁾ 그러나 이러한 연마기술은 갖자 고유의 특징을 가지 고 있기 때문에 단일 가공방법으로는 다양한 재료와 형상의 제품 제작은 물론 원하는 정밀도 및 높은 생산성을 맞추는 것이 어려운 경우가 많다.⁽⁴⁾ 따라서 최근에 각 가공기술의 장점은 살리면서 단점은 보완하기 위한 복합 가공에 관한 연구들이 부각되고 있다. Kim⁽⁵⁾은 레이저와 방전가공의 복 합가공을 통한 미세 홀 가공의 효율성에 대한 연구를 발표하 였으며, Allen⁽⁶⁾ 등은 금속 박막에 복합 가공 공정을 이용하 여 가공시간을 단축하는 결과를 보이기도 하였다. 본 연구에 서는 전해연마(Electro-polishing, EP)와 최근 광학소자 연 마에 각광받고 있는 MR polishing 기술을 산업분야 전반에 널리 이용되고 있는 SUS304의 고정도 경면연마에 복합적 으로 적용하였다. 그 결과를 기존의 단일 연마 특성과 비교 함으로써 본 연구에서 제안한 복합가공의 적용 타당성을 고 찰하였다.

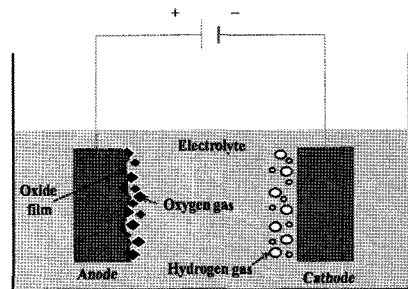
EP는 일반적인 연마공정에 비해 가공시간을 단축시켜 효 과적으로 표면 거칠기를 향상시켜 경면 가공을 가능하게 하 며 내부식성을 향상시키는 장점이 있다. 하지만 전해현상을 이용한 연마방법은 일정 이상의 초경면 연마는 어려울 뿐만 아니라 양극의 용해 작용을 통하여 연마가 이루어지는 전기 화학적 반응이기 때문에 재료에 따른 한계를 보인다. MR polishing은 초경면 연마와 표면하부손상(Subsurface damage) 의 최소화로 재료 표면의 품질 향상에 큰 장점을 보이고 있 으나, 낮은 재료 제거율로 인한 가공 시간의 증가로 생산성 에 문제점을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 SUS304 시 편외의 고정도 경면연마 실험을 위해 EP와 MR polishing 공 정외의 이론적 원리를 설명하고, 위의 두 공정의 기초 실험과 복합 공정 실험을 수행하였으며, 표면 거칠기 향상 및 가공 효율 특성에 대한 고찰을 통하여 그 결과를 분석하였다.

2. 이론적 원리

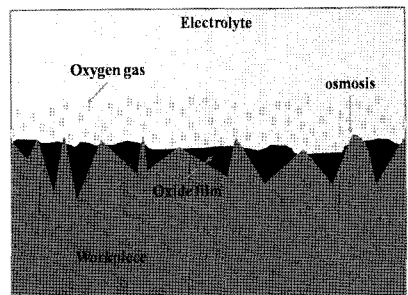
2.1 Electro-polishing(EP)를 이용한 연마 원리

도전성 물체에 전기를 인가하게 되면 모서리부분과 불규

칙한 형상부분에 전류가 집중되며, EP는 이러한 전기화학적 현상을 이용한 가공방법이다. Fig. 1(a)에 EP의 기본 원리를 나타내었다. 양극에서는 산소가스가 발생하여 금속의 용출 이 발생하고, 음극에서는 다량의 수소가스가 발생한다. 이 때 양극에서 발생하는 산소가스는 반응이 일어나는 위치의 전해액을 유동시킴과 새로운 포화를 발생시켜 신속한 전해 연마를 가능케 한다. 공작물의 표면을 micro단위의 관점에 서 보았을 때에 골 부분에 비하여 불규칙한 산을 지니는 부 분에 전류가 집중되어 상대적으로 금속의 용해가 빠르게 진 행되는 현상이 나타난다.⁽⁸⁾ (b)는 산화층에 대한 EP의 메커 니즘을 나타내는 것으로 산화층 내의 금속이온은 주위의 전 해액 보다 낮은 금속농도를 가지므로 농도 차에 의한 삼투압 현상에 의해 금속이온이 전해액으로 이동하는 현상이 생 기게 된다. 산화층 내의 금속 이온 중 전해액과 접하는 바깥쪽 이온은 이동이 활발하게 이루어져 양극의 돌출부위를 덮고 있는 절연성 산화막을 점진적으로 제거하고 결국 돌출부위 를 전해액에 드러나게 하여 그 부분을 선택적으로 용해시킨 다.^(8,9) 그림에서 보듯이 공작물의 산화층 외부에서는 산소가 스가 발생하여 표면으로 부유하며 산화층의 표면을 따라서 전해액으로 이동하며 돌출부분을 우선적으로 용해시킨다.



(a) Principle of EP



(b) EP mechanism

Fig. 1 Schematic of electro-polishing(EP)

전류밀도가 지나치게 높으면 산소가스의 과다 용출로 공작물의 표면에 피트자국이 발생하는 경우도 있다.⁽⁹⁾

EP는 공작물과 공구역할을 하는 전극을 각각 양극, 음극에 연결하여 전류를 인가하는 비접촉식 가공방법이므로 복잡한 모양과 경도가 높은 재료의 연마 작업이 가능하며, 표면에 잔류해 부식의 원인이 되는 불순물과 변형층을 제거하여 내부식성을 향상시킨다. 스테인레스강과 같이 표면에 잔류하고 있는 크롬과 니켈의 성분이 많은 금속의 경우, 크롬은 산소와 반응하여 산화크롬이 되고, 니켈과 크롬, 철, 탄소는 산소와 반응하여 니크롬을 형성하게 된다. EP를 하면 대부분의 탄소는 용해되거나 표면에 산화크롬 층이 형성되어 다른 연마방법에 비하여 15~20배 정도 내부식성을 향상시킨다.⁽⁷⁾

2.2 MR polishing 원리

MR polishing은 자기장의 세기에 따라 유동 특성이 실시간으로 제어되는 스마트 재료의 하나인 자기유변유체(MR fluid)에 연마재를 첨가하여 가공물의 표면을 제거하여 고정도의 표면 거칠기를 얻을 수 있는 연마방법이다.⁽⁸⁾ MR 유체에는 직경 수 μm 정도의 자성입자가 30~40% 정도의 부피 비율로 포함되어 있으며, 자기장에 노출되면 이 입자에 의해 유체의 점성과 항복응력은 빠르게 증가한다.^(11,12)

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 MR polishing 시스템의 기본 원리를 나타낸 것이며, 일반적으로 0.04~0.1Pa·s(shear rate 800s^{-1} 의 경우 40에서 100cps)의 점성을 갖는 유체가 약 50~300rpm의 속도로 회전하는 직경 120mm의 전자석 휠 표면에 공급된다. MR유체가 자기장의 영향을 받는 휠의 면에 공급이 되면 유체의 점성은 수 msec 동안 수 단위 이상 증가하여 빙햄 소성(Bingham plastic)유체가 된다.

이러한 MR 유체의 거동은 항복응력을 갖는 빙햄 소성체로 설명할 수 있으며, 식 (1), (2)와같이 나타낼 수 있다.⁽¹⁾

$$\tau = \tau_0 + \tau_0(H) \operatorname{sgn}(\dot{\gamma}) \quad (|\dot{\gamma}| \geq |\tau_0(H)|) \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = 0 \quad (|\dot{\gamma}| < |\tau_0(H)|) \quad (2)$$

여기서는 τ 전단응력, τ_0 는 소성점도, $\dot{\gamma}$ 는 전단속도, $\tau_0(H)$ 는 자장에 의한 항복응력이다.

자장이 증가함에 따라 유체의 항복응력이 증가하므로 자성입자의 연결고리를 형성하기 위한 기계적인 에너지도 증가한다. 자장이 부가되지 않을 경우에는 일반적인 뉴토니언(Newtonian) 유체거동을 한다.

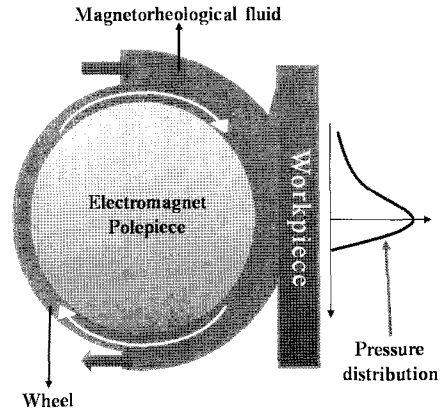


Fig. 2 The figure of polishing principle using a Magnetorheological fluid

이 MR 유체가 자기장의 영향을 받는 휠에 부착되어 지속적으로 회전하는 동안 이 유체위로 펌프에 의해 DI-water와 연마슬러리가 공급되며, 이에 의해 연마가 진행된다.

3. EP 및 MR polishing을 이용한 복합 연마 가공

복합 연마가공 실험은 먼저 선정된 조건을 이용하여 EP를 거친 시편에 대해 MR polishing을 수행하였으며, 각 조건에 대해 시편의 표면 거칠기 거동을 분석하여 그 결과를 기존의 방법과 비교하였다.

3.1 SUS 304의 전해 연마 실험

본 실험에서는 EP 공정을 이용하여 SUS 304 시편 (10mm×10mm×10mm)에 대한 평탄화 연마를 수행한 후 표면 거칠기 특성을 고찰하였다. EP를 위한 실험장치의 구성도를 Fig. 3에 나타내었다.

시스템은 구리전극을 전해조 안의 음극에 연결하고 양극에 연결된 지그를 스테핑 모터에 의해 구동되는 이송장치에 부착하여 전해조 내에서 공작물의 위치 조절이 용이하도록 구성하였다. 전원부는 펄스 발생기를 이용하여 전압 조절을 통해 전류 밀도를 조절 할 수 있도록 하였다.

실험에서는 전해액의 조성, 전해액의 온도 및 공작물과 전극의 간극을 고정 실험조건으로 선정하였으며 전류 밀도와 가공시간을 변화시키며 EP를 수행하였다. 전해액은 황산(H₂SO₄), 인산(H₃PO₄)과 증류수를 5:3:2의 혼합비로 구성하였고, 기존의 예비실험 결과 연마효과가 가장 좋았던 전해

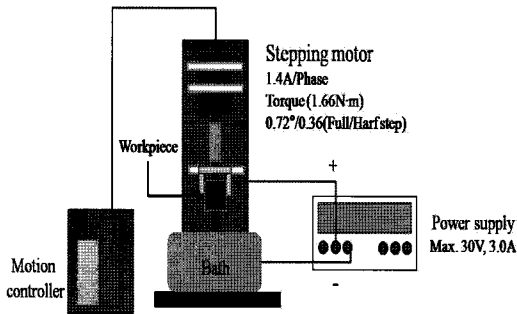
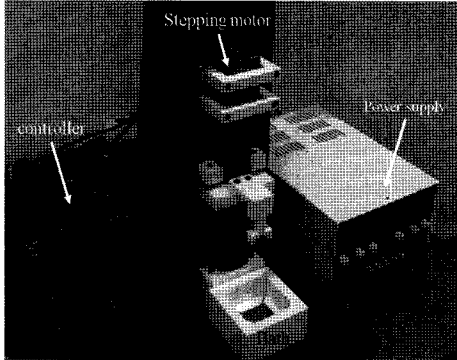


Fig. 3 Electrolytic polishing system

Table 1 Fixed conditions for EP experiment

Composition of Electrolyte	H3PO4:H2SO4:DI-water=5:3:2
Electrode	Copper
Bath Temperature	68°C
Initial Roughness	Ra=3.0μm, Rmax=15.0μm
Electrode Gap	0.5mm

액 온도인 68°C에서 실험을 수행하였다. 공작물과 전극의 간극은 0.5mm로 유지하였으며, Zygo 백색광 간섭 측정기(NV-6200)로 측정된 가공 전 공작물의 표면 거칠기는 Ra=3.0μm, Rmax=15.0μm이었다. 실험에 사용된 가공 조건을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 4는 전류 밀도에 따른 표면 거칠기의 변화를 나타낸 것이다. 3~20A/cm²의 비교적 높은 전류밀도의 영역에서 실험을 하였기 때문에 가공 시간은 150sec로 짧게 유지시켰다. 실험 결과 전류밀도가 높아질수록 표면 거칠기도 향상되는 것을 그래프에서 확인할 수 있는데, Ra 값은 9A/cm²에서부터 표면 거칠기의 향상이 둔화 되지만 Rmax 값은 표면 돌출

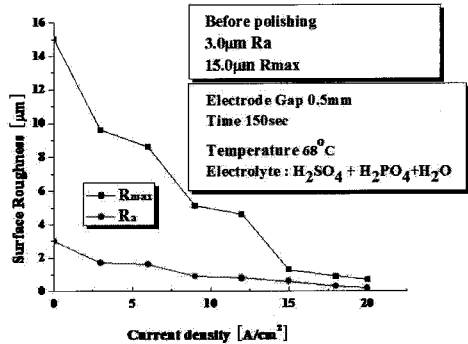


Fig. 4 Relationship between current density and surface roughness after EP

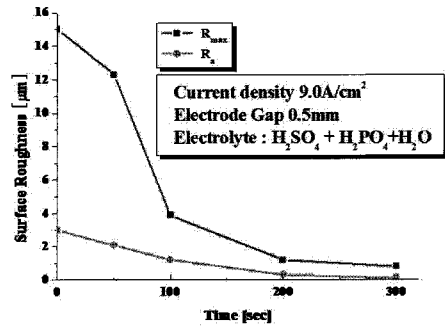


Fig. 5 Relationship between polishing time and surface roughness

부의 전해작용에 의해 15A/cm² 까지 지속적으로 향상되는 것을 알 수 있다.

이로부터 전류밀도가 전해연마에서 중요한 가공특성임을 알 수 있으나, 전체적인 평탄화 및 연마에 있어 특정 값(본 실험에서는 15A/cm²) 이상에서는 큰 변화가 일어나지 않는다는 것을 알 수 있으며 이는 전해연마 가공을 통한 표면 거칠기 향상의 한계를 나타낸다고 할 수 있다.

EP 시간에 대한 표면 거칠기의 변화를 고찰하기 위하여 Rmax=15μm, Ra=3μm인 시편으로 50~300sec까지 가공 시간을 변화시키며 실험을 수행하였다. 전류밀도는 피트현상을 방지하기 위해 9.0A/cm²로 고정하였으며, 가공 후 측정된 표면 거칠기의 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

전반적으로 가공시간이 길어질수록 공작물의 표면 거칠기는 향상되는 것을 알 수 있으며, 특히 Rmax의 경우 가공 시간 100sec에서부터 급격한 향상을 보이다가 표면의 돌출부가 연마된 후에는 향상 정도가 급격하게 감소하는 것을

알 수 있다. 결과적으로 가공시간을 계속 증가시켜도 표면품질의 향상 정도는 크지 않으므로 가공 효율을 고려하여 적절한 시간을 결정하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6에는 300sec 가공한 후 비접촉 표면조도 측정기를 이용하여 측정된 표면 거칠기의 사진을 나타내었다.

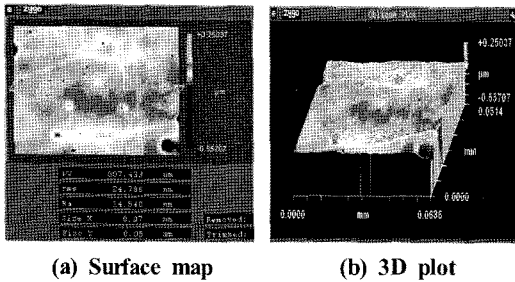


Fig. 6 Surface roughness of polished sus304 using EP (Ra = 14.54nm)

3.2 MR polishing을 이용한 SUS304의 초경면 연마

앞에서 기초실험을 통해 얻은 EP 조건(전류밀도: 9.0A/cm², 가공시간: 300sec)으로 얻어진 시편을 대상으로 MR polishing 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 시스템은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 회전하는 원형 전자석 휠에 MR 유체가 부착되어 연마작업을 수행하도록 제작되었으며, 휠의 상부에 설치된 슬러리 주입구를 통하여 독립적으로 연마 슬러리를 유연하게 공급하도록 하였다.

연마 휠은 고정되고 공작물은 직선 운동기구에 의하여 X-Y-축으로 이송이 가능하도록 제작되었으며, 공작물을 스테이지에 고정시키기 위해서 진공 척을 사용하였다. 공작물의 정확한 고정과 정확한 위치 제어는 정밀한 가공을 위한 매우 중요한 요건이며, 이러한 장치들의 초기 셋업에 대한

정확도는 전체 시스템의 성능을 좌우하게 된다. 따라서 고수준의 분해능을 가지는 레이저 센서를 사용하여 공작물의 tilting을 측정하여 Z축 스테이지에 장착한 지그를 이용하여 오차범위 약 0.2~0.3μm 이내로 조절될 수 있도록 하였다.

MR 유체를 이용한 연마공정에 적용되는 표준 슬러리는 자성입자, 연마입자, 그리고 운반유체인 DI-water로 구성되어 있으며, 여기에 소량의 분산안정제와 재료제거율을 높이기 위하여 Cerium Oxide, Diamond powder, Al₂O₃ 입자 등과 같은 비자성 연마제가 첨가된다. 분산 안정제로서 글리세롤(glycerol)을 사용하는데 이는 자성 유체의 점성을 증가시켜주고 연마 입자들과 자성 입자의 혼합을 조절하는데 도움을 준다. 산화현상은 MR 유체의 안정성 문제를 야기하는 주요 원인으로서 유체가 수용성 슬러리에서 미세하게 분해된 철 입자들을 부식시킴으로써 발생된다.

산화된 철은 Carbonyl Iron(CI)에 비해 다른 자성 특성을 가지기 때문에 산화된 자성 유체의 자성 특성은 MR polishing 결과 예측을 매우 어렵게 한다. 또한 MR 유체가 부분적으로 대기에 노출되면 CO₂를 흡수하여 유체의 pH 농도가 저하되면서 산화가 발생되기도 한다. DI-water를 운반액으로 사용하여 부식을 낮출 수는 있지만 이 방법이 완벽한 해답이 되지는 않는다. 따라서 이러한 문제 해결 방법의 하나로 pH농도를 약 10~12정도로 증가시킬 수 있는 Na₂CO₃ 같은 알칼리의 첨가를 들 수 있는데 이는 제거율의 상승과 안정성을 향상시키며 완충제의 역할도 한다.⁽⁸⁾ 실험에 사용된 MR 유체는 Table 2와 같이 제조하였으며, Fig. 8에 MR 유체 입자의 SEM사진을 나타내었다.

Table 2 Compositions of MR fluid for experiment

CI powder	DI Water	Na ₂ CO ₃	Glycerin
50%	48%	1%	1%

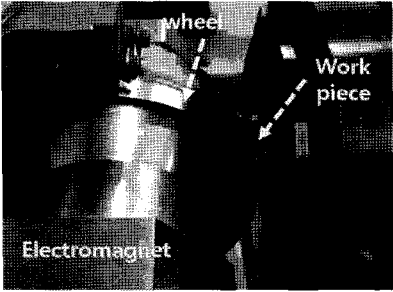


Fig. 7 Experimental setup for the MR polishing

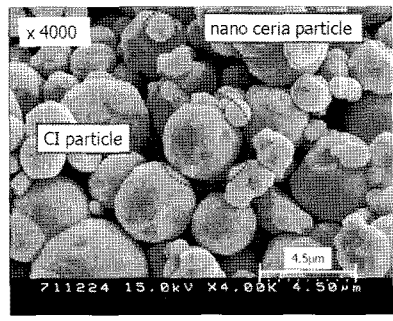


Fig. 8 SEM image of used MR fluid

Table 3 Material properties of used abrasives

Color	Gray
Density	2.0~3.0
Particle size	4~6 micron
% iron	max 99.5
% carbon	max 0.05
% Oxygen	max 0.5
% nitrogen	max 0.1

Table 4 Experimental conditions for MR polishing

	Magnetic field [KA/m]	Wheel speed [mm/s]	Feedrate [mm/min]
1	4.7	309	0.5
2		927	
3		1236	
4		1854	
5	3.8	1854	
6	4.7		
7	5.5		
8	6.2		

본 실험에서 사용된 연마재는 나노 세리아 슬러리(Celexis Cx slurry)이며 연마입자에 대한 물성치를 Table 3에 나타내었다.

본 실험에 사용된 조건은 Table 4에 나타내었으며 조건별 연마 실험 후에 표면 거칠기의 변화를 고찰하였다.

동일한 조건의 EP 공정과 각각의 조건에 따른 MR polishing 실험 후, 비접촉식 표면 측정기(Zygo NV6200)를 이용한 측정 결과를 분석하여 각 공정 후의 표면 거칠기 변화를 고찰하였다. 본 실험에 사용된 MR polishing 공정 변수로 휠의 회전속도와 자기장의 세기를 선정하였으며 회전속도의 조건은 309mm/sec(50rpm)~1854mm/sec(300rpm), 자기장의 세기는 3.8~6.2KA/m로 설정하였다. 시편과 휠 사이의 간격은 0.5mm로 유지하고 이송속도는 0.5mm/min로 설정하여 Raster 방식의 가공경로에 의해 총 20분간 연마실험을 수행하였다. 초기 시편의 표면 거칠기는 EP 실험을 통해 설정한 전류밀도 9.0A/cm²와 가공시간 300sec의 조건을 통해 얻은 Ra=42nm 수준으로 일정하게 유지시켰다. Fig. 9와 10에 나타난 것처럼 다양한 실험 조건에 의해 수행된 MR polishing 결과로 EP에 의한 결과보다 향상된 표면 거칠기를 얻을 수

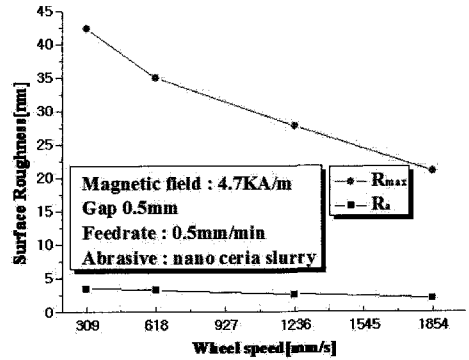


Fig. 9 Result of surface roughness according to Wheel speed

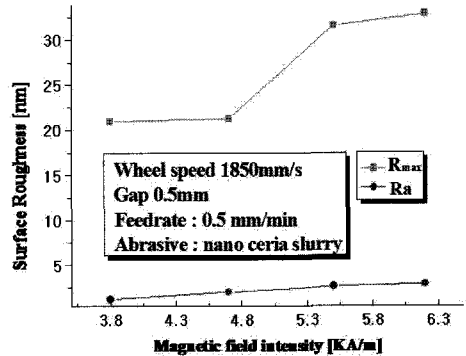


Fig. 10 Result of surface roughness according to magnetic field

있었다. 이는 MR polishing은 유체유동에 의해 전단응력을 받는 지립으로 재료를 제거하기 때문에 제거 메커니즘의 차이로 인하여 전해연마에 의한 것보다 훨씬 좋은 표면 거칠기를 얻을 수 있기 때문이다. 자기장의 세기가 작아질수록 MR 유체는 점성도의 저하에 기인한 낮은 전단력으로 인해 soft polishing pad와 같은 역할을 함에 따라 표면 거칠기가 향상되는 것을 알 수 있다. 하지만 MR polishing 자체의 낮은 재료 제거율로 가공물의 표면 거칠기 향상은 적은 가공 시간에서는 오히려 높은 제거율을 가지는 높은 자장의 조건에서 큰 효과를 보일 수 있다. 또한 휠 속도의 상승과 자장의 세기가 작아질수록 가공면의 표면 거칠기가 향상이 되는 것을 알 수 있었다. 연마된 표면은 휠 속도 1854mm/sec, 자기장 세기 3.8KA/m에서 최상의 표면 거칠기(Ra=1.167nm)를 얻을 수 있었으며, 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

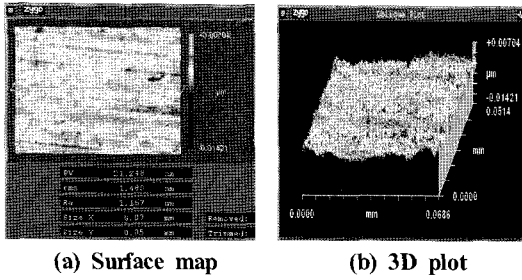


Fig. 11 surface profile of polished surface(Ra = 1.167nm)

4. 실험 결과 및 고찰

본 연구를 통해 제시된 복합 연마의 효율을 비교하기 위해 서로 동일한 표면 품질에 따른 조건하에서 래핑-MR polishing의 결과와 본 연구에서 제안한 EP-MR polishing 복합공정의 결과를 비교하였다. 일반 polishing(래핑-MR polishing) 공정을 수행하기 위하여 #400, #800, #1200 그리고 #1500 mesh의 SiC 입자를 사용하여 래핑 공정을 하여 EP 공정을 통해 얻은 표면 거칠기 값과 근사한 결과를 얻었다. 이후 MR polishing 공정을 휠 회전속도(Wheel speed), 자기장의 세기(magnetic field intensity)를 변수로 하여 20분 동안 수행하여 최상의 표면 거칠기 (Ra=1.167nm)를 얻을 수 있었다.

Fig. 12는 위의 두 가지 복합공정 사이의 표면 거칠기를 비교한 것이다. 기존의 일반적 polishing과 MR polishing의 복합공정을 수행할 경우 원 시편에 대한 다단계의 래핑을 거쳐 MR polishing 공정을 수행하여야 하지만 EP와 MR polishing의 복합공정을 이용하면 전 공정을 EP 한 단계의 공정으로 단축시킬 수 있었다. 두 공정 사이의 가공시간을 비교한 결과 일반적인 polishing 공정과 MR polishing의 복합공정은 최상의 표면 거칠기(Ra=1.639nm)를 얻기 위해 래핑 20분 및 MR polishing 20분으로 총 40분의 가공시간이 소요되었지만 EP와 MR polishing을 적용할 경우 최상의 표면 거칠기(Ra=1.167nm)를 얻기 위해 EP 5분, MR polishing 20분으로 총 25분의 시간이 소요되었다. 따라서 연마 효율이 낮은 철계 재료는 일반적인 연마 방법으로는 형상 정밀도를 달성하기 어렵다는 문제점을 안고 있기 때문에, 본 연구에서 제시한 복합 연마기술을 통해 최소한의 연마로 경면 가공한다면 가공 시간을 획기적으로 단축하고 원가 절감에 크게 기여할 것이라 판단되며, 또한 이러한 비교 실험을 통해 고강성의 재료의 경면 가공에 효과적이라는 것을 알 수 있다. Fig. 13은 EP와 MR polishing의 복합공정 적용 결과 측정된 SUS304 시편을 비교한 것이다.

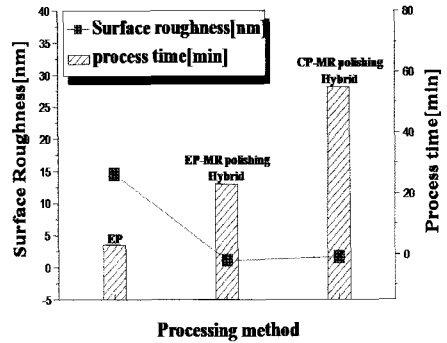


Fig. 12 Comparison of CP and EP with MR polishing

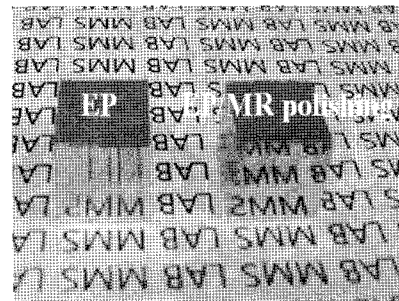


Fig. 13 Comparison of EP with MR polishing

5. 결론

본 실험에서는 SUS304 시편에 대한 EP와 MR polishing 복합 공정 연마실험을 적용하여 가공시간 및 표면 거칠기 특성을 고찰하였다. 본 실험은 MR polishing을 위한 기존의 전처리 공정을 EP로 대체하여 짧은 시간으로 전처리 공정의 효과를 극대화시켜 전체 연마시간을 단축하는데 목적을 두었다. 실험에 사용된 MR 유체는 Carbonyl Iron을 자성입자로, 나노 세리아 슬러리를 연마재로 구성하였으며, SUS304의 고경도 경면연마에 있어 EP와 MR polishing의 복합공정을 통하여 휠 속도와 와 자기장 세기의 변화에 따른 표면 거칠기 변화를 고찰할 수 있었으며, 이에 따른 연구 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) SUS 304의 고경도 경면연마를 위해 Electro-polishing과 MR polishing 공정을 수행하였다.
- (2) 기존의 래핑공정을 EP로 대체하였으며, 짧은 시간에 기계적 polishing과 유사한 효과를 확인 할 수 있었다.
- (3) 실험에 사용된 MR 유체는 Carbonyl Iron과 나노 세리아

아 슬러리로 구성하였으며, 적용된 가공변수는 휠의 회전속도와 자기장의 세기로 선정하였으며, 조건 별로 표면 거칠기를 고찰하였다.

- (4) 실험결과 휠의 회전속도 증가는 표면 거칠기를 향상시키는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 MR 유체의 조밀한 입자와 MR polishing 공정의 낮은 재료제거율이 연마에 영향을 주었기 때문이다. 이에 따른 결과로 표면의 경면 효과를 확인할 수 있었다.

향후 MR polishing 과 EP의 지속적인 연구를 통해 연마 성능을 향상시키고 동시에 여러 실험조건의 적용으로 최적의 조건을 도출해 낸다면, SUS 304를 포함하여 여러 산업 분야에 널리 이용되고 있는 타 금속재료에도 본 연구결과의 적용이 가능할 것으로 보인다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구의 일부입니다. (No. 2009-0074199)

참 고 문 헌

- (1) Shin, Y. J., Kim, D. W., Lee, E. S., and Kim, K. W., 2004, "The Development of Polishing System A Magnetorheological Fluids," *J. of KSPE*, Vol. 21, No. 7, pp. 46~52.
- (2) Akami, Y. and Asari, k. L., 1998, "Characterization of particle motion for polishing and texturing under AC field by using partide disperation type ER fluid," *J. of Int. Mat. Sys. Struc.*, Vol. 9, pp. 672~675.
- (3) Lee, E. S., Kang, J. H., and Je, T. J., 2000, "High precision grinding technology using electrolytic dressing method," *J. of KSMTE*, Vol. 9, No. 5 pp. 25~33.
- (4) Kim, J. D. and Choi, M. S., 1995, "Development of the magnetic electrolytic abrasive polishing(MEAP) (2nd) - Development of the MEAP system and finishing characteristics," *J. of KSMTE*, Vol. 4, No. 3, pp. 31~38.
- (5) Kim, S. H., Chung, D. K., Kim, B. H., Oh, K. H., Chong, S. H., and Chu, J. N., 2009, "Micromachining using hybrid of laser beam and electrical discharge machining," *J. of KSPE*, Vol. 26, No. 10, pp. 108~115.
- (6) Allen, D. M. and Huang, S. X., 1997 "The reduction of tool wear and machining time for the micro-electro discharge machining of micro-holes by using copper vapour laser machining as a roughing process," *Int. J. of Elec. Mach*, No. 2, pp. 9~11.
- (7) Ganesh, S., Sundara Raman, and Padmanabhan, K. A., 1995, "Effect of electropolishing on the room temperature low-cycle fatigue behavior of AISI 304LN stainless steel," *Int. J. of Fatigue*, Vol. 17, No. 3, pp. 179~182.
- (8) Hryniewicz. T., 1990 "Towards a new conception of electropolishing of metals and alloys," *Proc. of First East-West Symposium on Materials and Processes*. pp. 244~252.
- (9) Caire. J.P., Chainet. E., Nguyen. B., and Valenti. P. 1993, "Study of A New Stainless Steel Electropolishing Process," *Proc. of the 80th AESF Annual Technical Conference, USA*, pp. 149~156
- (10) Lee, J. W. Kim, D. W. Shin, Y. J., Jang, H. S., and M. W. Cho., 2007, "A Study on the Polishing Process Characteristic of Fused Silica Glass Using Magnetorheological Fluid," *Proc. of the KSMTE Autumn Conf.*, pp. 359~364.
- (11) Kim, K. D., 2000, "A Controllable Micro Damper Using Magnetorheological Fluids," *J. of KSPE*, Vol. 17, No. 8, pp. 44~45.
- (12) Kim, D. W., Shin, Y. J., Lee, E. S., and Cho, M. W., 2003, "The Principle of Magnetorheological Finishing for A Micro Part," *J. of KSPE*, Vol. 3, No. 1, pp. 1840~1843.