

항공기 유압유 저장조 내면연마를 위한 슈퍼피니싱 장치 개발에 관한 연구

최수현*, 공광주**, 조영태*.#

*창원대학교 기계공학부, **쌍용자동차(주)

Development of Superfinishing Machine to Polish the Inner Surfaces of Aircraft Hydraulic Oil Reservoirs

Su Hyun Choi*, Kwang Ju Kong**, Young Tae Cho*.#

*Department of Mechanical Engineering, Changwon National University, **Ssangyong Motor Company LTD.

(Received 28 April 2020; received in revised form 13 May 2020; accepted 14 May 2020)

ABSTRACT

Aircraft hydraulic oil reservoirs made with aluminum 7075 have an anodized coating to enable airtightness and corrosion resistance. To maintain a stable oil pressure, the internal surface roughness of the reservoir should be less than approximately 0.2 μm . To this end, precision polishing must be performed. However, ensuring the processing quality is challenging, as most polishing operations are performed manually, owing to which, the inner surface roughness is not uniform, and the product quality is irregular. Therefore, we developed a special superfinishing machine to realize the efficient inner polishing of an aircraft hydraulic oil reservoir, by using an abrasive film to improve the process throughput and uniformity. In the experiment involving the superfinishing of an anodized aluminum 7075 cylinder specimen by using the proposed machine, a higher surface roughness than that achieved in the repetitive manual polishing process could be realized.

Key Words : Aircraft Hydraulic Oil Reservoir(항공기 유압유 저장조), Superfinishing Machine(슈퍼피니싱 장치), Polishing Film(연마필름), Performance Evaluation(성능평가)

1. 서 론

항공기에서 유압장치는 강착장치(landing gear), 비행조종계통, 고출력 및 민첩한 작동과 정확한 조종이 요구되는 장치 등에 광범위하게 이용되고 있다.

기내 많은 유압장치 중 항공기 유압유 저장조는 각종 유압장치 및 회로의 유압유 손실을 보충함과

동시에, 고압라인과 저압라인의 압력균형을 유지하면서 유압유를 저장하는 중요한 장치로서 항공 산업의 발달과 더불어 항공기 유압유 저장조의 수요가 급증하고 있다.

이러한 저장조는 aluminum 7075를 소재로 제작되며, $-40^{\circ}\text{C} \sim 135^{\circ}\text{C}$ 의 온도환경에서 내부 피스톤 운동에 의해 구동된다. 유압장치의 구동 시 효율 손실을 최소화하며 유압유의 저장 및 분배, 기밀 유지를 위해서는 저장조 내면이 내마모성과 내부식성을 가질 뿐만 아니라 Ra 0.2 μm 이하의 표면거칠

Corresponding Author : ytcho@changwon.ac.kr

Tel: +82-55-581-2239, Fax: +82-55-213-2859

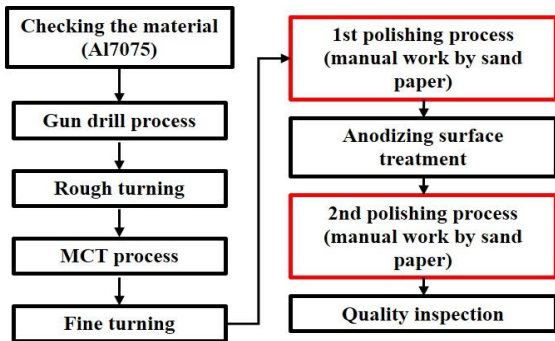


Fig. 1 Manufacturing process of aircraft hydraulic oil reservoir

기를 가질 필요가 있다¹⁻²⁾.

현재 항공기 유압유 저장조 제조 공정은 Fig. 1과 같으며, 내마모성과 내부식성 향상을 위해 aluminum 표면에 산화층을 생성시키는 아노다이징 공정이 수행된다³⁾. 하지만 화학적 반응에 의해 aluminum 표면에 산화층을 생성하는 아노다이징 공정때문에 표면거칠기가 상승하여 후속 폴리싱 공정이 필수적이다. 후속 폴리싱 공정은 작업자가 수동적으로 연마포지를 사용하여 내경부를 연마하는 방식으로 수행되어 저장조 내면의 표면이 균일하지 않아 기능을 저하시키는 원인이 되며 생산성 측면에서 효율성이 떨어질 뿐만 아니라 작업자의 안전 문제를 야기하고 있다.

이에 저장조 내면을 Ra 0.2 μ m 이하로 균일하게 연마할 수 있는 자동화 장치의 필요성이 대두되었으며, 본 연구에서는 항공기 유압유 저장조뿐만 아니라 원형 소재 내면을 경면 수준으로 균일하게 연마 가능한 장치 제작을 목적으로 연구를 수행하였다³⁾.

2. 내면 슈퍼피니싱 장치의 설계 및 제작

2.1 슈퍼피니싱 장치의 개념설계

내면 연마 전용 슈퍼피니싱 장치를 개발하기 위하여 연마필름을 이용한 슈퍼피니싱 장치를 범용선반에 장착, 구동하는 방식으로 Fig. 2와 같이 개념설계를 진행하였다. 연마필름을 이용하게 되면 필름이 이송되면서 연마공정 중 새로운 입자가 연속으로

공급된다는 이점이 있다⁴⁻⁶⁾. 그리고 공정의 이점으로는 일반적인 연마공정은 공작물의 회전방향과 연마 진행방향이 동일하여 공작물의 표면에 방향성을 띄어 표면거칠기 개선에 한계가 있다. 하지만 슈퍼피니싱 공정은 연마 방향과 수직인 방향으로 oscillation을 주어 방향성을 제거함으로써 수백 nm의 표면거칠기 개선이 가능하다는 장점이 있다⁴⁻⁸⁾. 개발된 슈퍼피니싱 장치의 oscillation은 내부 cam에 의해 구동되며, 진폭은 ± 4 mm로 설계하였다.

장치의 구성요소는 Table 1과 같이 크게 구동부, 연결부, 연마부, 제어부, 장착지그로 설계하였고 주요 세부구성요소는 다음과 같다.

구동부는 contact roller를 접촉시켜 좌우 이송을 제어하는 진동모터, 필름을 공급 및 회수하는 필름 이송모터, 소재 내면에 superfinisher(요동장치)를 접촉시키는 공압실린더로 구성되어 있다.

그리고 연결부는 슈퍼피니싱 공정 중 전, 후진 유격을 최소화하기 위하여 cam shaft에 connecting rod를 조립하여 구성하였다. 그리고 개발 장비를 통

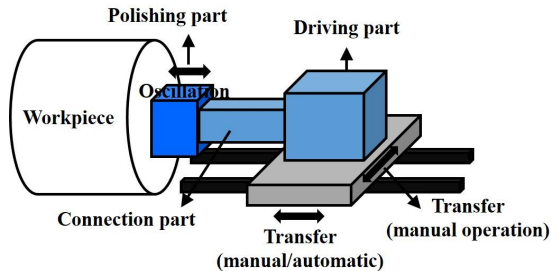


Fig. 2 Conceptual design of cylinder inner surface superfinishing machine

Table 1 Components list of developing machine

Part	Components
Driving	Oscillation motor, Film feed motor, Pneumatic cylinder
Connection	Connection shaft
Polishing	Contact roller, Film supply and recovery unit
Control	Control box, S/W

해 실제로 연마를 진행하는 중요한 구성요소인 연마부는 연마필름과 공작물을 접촉시켜주는 contact roller와 필름 공급·회수 roller로 구성된 superfinisher가 연결부와 결합되어 균일한 경면 연마가 가능하도록 설계하였다.

제어부는 control box 및 제어 소프트웨어가 포함되어 있다. 그리고 장착 지그는 박판 소재의 내면 슈퍼피니싱 시 소재의 앞뒤 균일 연마 및 변형 방지를 위해 제작되었다.

2.2 슈퍼피니싱 장치의 2D, 3D 상세설계

Fig. 3은 내면 슈퍼피니싱 장치의 상세설계를 통해 작성된 2D 도면의 정면도, 평면도, 우측면도이며, 크기는 가로×세로×높이(450×320×157mm)로 설계하였다. 그리고 장치는 KS 규격품 및 표준구매품을 제외하고 본체, 본체를 선반에 고정하기 위한 장착 지그, 연마를 수행하는 superfinisher, 연마필름의 공급 및 회수를 담당하는 부품을 포함하여 총 58종의 부품으로 구성된다.

Fig. 4는 2D 설계를 바탕으로 각각의 부품을 Inventor S/W를 이용하여 3D 상세설계한 것을 나타낸다. 제작품 58종과 구매품 11종을 3D modeling한 후 assembly하였다. Assembly 작업 중 부품 간 간섭이 발생하는 부품에 대해서는 설계를 수정하는 과정을 거쳤다. 그리고 조립된 장치를 이용하여 Fig. 5와

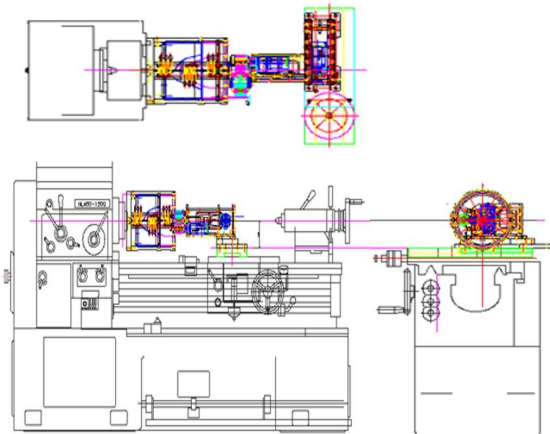


Fig. 3 2D drawings of developing superfinishing machine

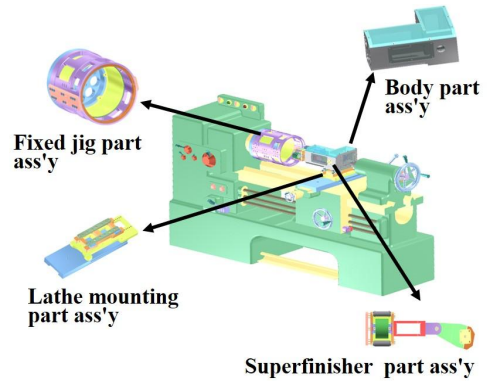


Fig. 4 3D modeling and assembly name

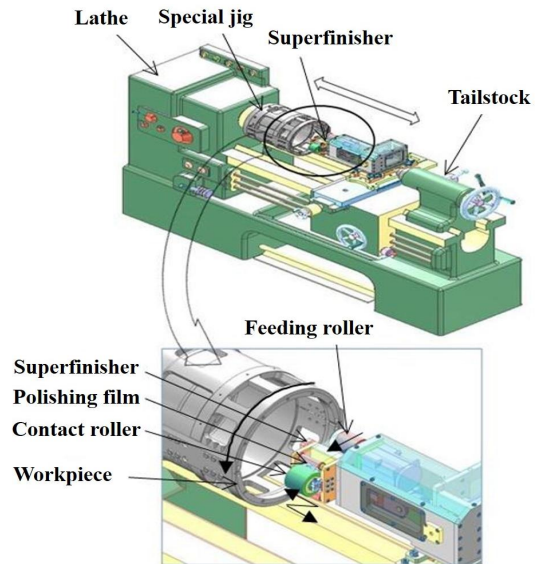


Fig. 5 Operating simulation of superfinishing machine

같이 가상의 제품을 대상으로 operating simulation을 진행하여 내면 슈퍼피니싱 장치의 정상적인 작동을 확인했다.

2.3 슈퍼피니싱 장치의 제작

2.2절에 기술된 장치의 설계를 바탕으로 내면연마 전용 슈퍼피니싱 장치를 제작하였다. 제작된 모든 부품이 공차 이내의 치수로 제작되었으며 최종적으로 제작이 완료된 장치는 Fig. 6에 나타내었다. 사전 assembly 작업과 operating simulation을 통해

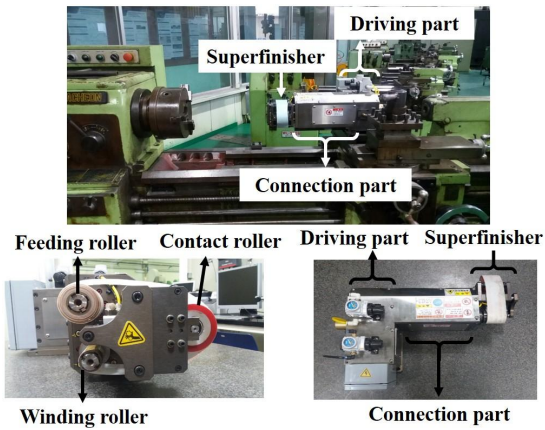


Fig. 6 Developed superfinishing machine

확인한 바와 같이 선반에 장착되어 구동됨을 확인하였다.

그리고 장치 구동에 필요한 motor로 oscillation motor는 servo motor, 필름회수와 공급을 위한 motor로는 각각 stepping motor와 DC motor를 채택하여 장치를 제작하였다.

3. 개발된 장치의 성능평가

제작된 장치의 성능을 검증하기 위해 한국산업규격(KS)에 의거하여 성능평가를 진행하였으며, 주요 3가지 성능지표와 KS 규격을 근거로 한 평가방법을 Table 2에 나타내었다^[4].

Table 2 Performance evaluation items and methods

Items	Unit	Target value	Evaluation method
Amplitude	mm	$\pm 1 \sim \pm 4$	KS B ISO2786-1 Tolerances for length fixtures and KS B 5203 : Vernier Calipers and others
Frequency	Hz	≥ 10	KS B 0703 Spindle Vibration Test Method and KS B ISO7919-3: Machine Vibration-Rotation In addition to mechanical vibration evaluation by measuring the shaft
Contact force	N	Max 150	KS B 6409 Load Cell Measurement

3.1 요동장치의 진폭 및 진동수

슈퍼피니싱 요동장치(superfinisher)의 진폭과 진동수는 공작물 표면의 연마 방향성을 제거하여 거칠기 개선에 직접적으로 영향을 미치는 주요한 요인이다. 개발된 슈퍼피니싱 요동장치의 진폭을 측정하기 위해 분해능 0.05mm의 버니어 캘리퍼스를 이용했으며, 요동장치를 구동시킨 후 기준점으로부터의 진폭을 측정하는 방식으로 Fig. 7과 같이 진행하였다. 총 5회 반복 측정하였으며, 진폭의 평균값은 $\pm 2.2\text{mm}$ 로 성능목표인 $\pm 1\text{mm} \sim \pm 4\text{mm}$ 를 만족하였다.

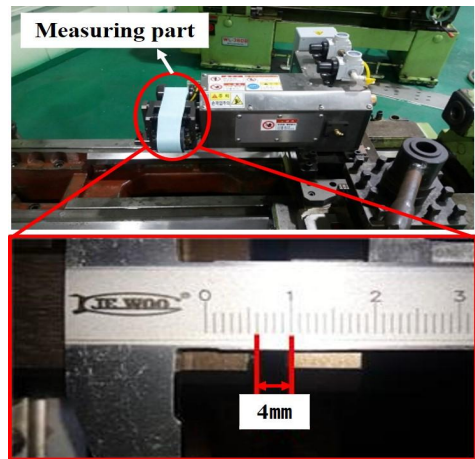


Fig. 7 Measurement of oscillation amplitude

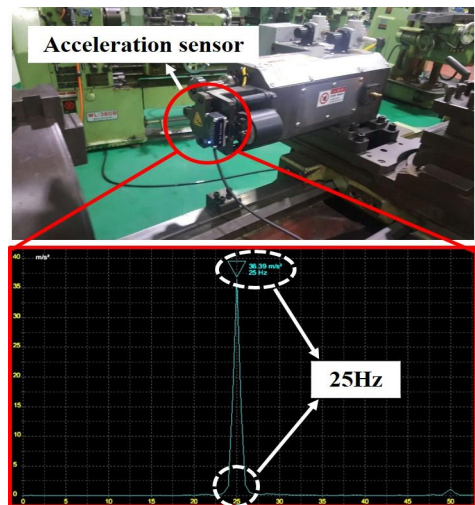


Fig. 8 Measurement of oscillation frequency

슈퍼피니싱 요동장치의 진동수를 측정하기 위해 Fig. 8과 같이 요동장치에 가속도 측정 센서를 부착한 후 개발 장치가 구동 가능한 최대 oscillation 속도를 적용하여 5회 반복 측정하였다. 측정결과는 최대 25Hz로 성능목표인 $\geq 10\text{Hz}$ 를 만족함을 확인하였다.

3.2 공작물과 요동장치 간의 접촉력

슈퍼피니싱 요동장치와 공작물 간 작용하는 접촉력은 적용 조건에 따라 연마필름 상의 입자에 작용하는 힘이 달라져 연마성능과 수명에 직접적인 영향을 미치므로 슈퍼피니싱 장치의 주요 성능 인자라 할 수 있다. 그리고 연마입자가 버틸 수 있는 임계하중을 초과하는 힘이 작용할 경우 연마입자가 필름에서 탈락되어 연마성능이 저하되므로 적정 하중의 최대 접촉력이 장치에 구현되어야 한다.

이러한 접촉력을 측정하기 위해 Fig. 9와 같이 연마필름이 공작물과 접촉하는 전면에 로드셀을 부착하였으며, 로드셀과 접촉하여 힘을 측정하기 위해 선반에 직경 50mm, 길이 250mm의 환봉을 고정하였다. 5회 반복 측정하였으며, 그 결과는 Table 3에 나타내었다. 평균 150.09N의 접촉력이 측정되어 성능목표인 150N에 근사한 값을 확인하였다.

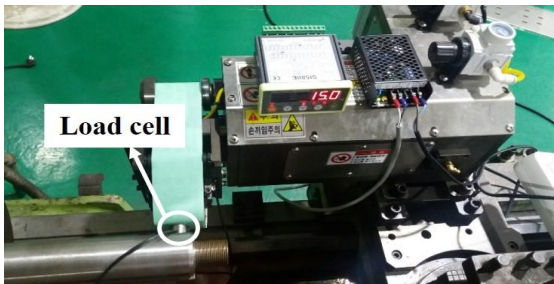


Fig. 9 Measurement of contact force

Table 3 Measurement results of contact force

No.	1	2	3	4	5	Ave.
Force	150.09N	149.11N	151.07N	151.07N	149.11N	150.09N
Items	Unit		Target		Measurement result	
Force	N		150		150.09	

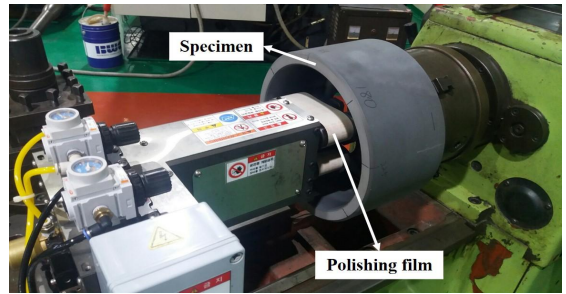


Fig. 10 Superfinishing experimental setup for cylinder inner surface of Al7075 with anodizing treatment

4. 개발 장치를 이용한 내면 슈퍼피니싱 실험

4.1 실험조건 및 방법

개발한 내면 슈퍼피니싱 장치의 연마성능을 확인하기 위해 실험을 진행하였다. 실험에는 항공기 유압유 저장조와 같은 Al7075 소재에 아노다이징 표면처리한 시편을 사용하였으며 Fig. 10에서 볼 수 있듯이 외경 280mm, 내경 260mm의 원통 형상을 사용하였다.

실험에는 총 3가지 연마필름(SiC, Al₂O₃, diamond)을 사용하였고 연마입자의 종류에 따른 연마 후 표면거칠기의 개선을 확인하였다.

실험조건은 specimen spindle speed : 32rpm, polishing film feed rate : 50mm/min, oscillation speed : 500rpm, contact roller hardness : 90HRc, contact pressure : 3bar, polishing grain : MF 20 μm Film을 적용하였다^[4-6]. 그리고 슈퍼피니싱 실험 중 마찰에 의해 발생하는 열로 인한 연마성능의 저하를 배제하기 위해 일정량의 water를 공급하면서 20sec 간 실험을 진행하였다.

4.2 실험결과

aluminum 표면에 화학적 반응을 통해 산화층을 생성시키는 아노다이징 표면처리는 Fig. 11과 같이 불균일한 표면거칠기의 상승을 야기하고 이는 실험결과의 오차로 작용한다. 이러한 오차를 제거하기 위해 본 실험에 사용된 시편의 실험 전 초기

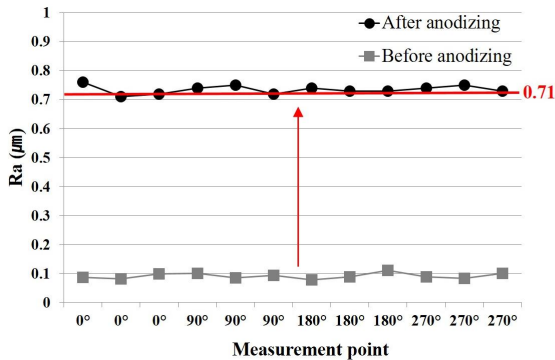


Fig. 11 Surface roughness change before and after anodizing

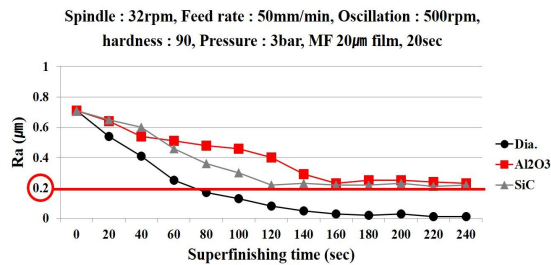


Fig. 12 Experimental results of superfining with several polishing film using developed machine

표면거칠기 값을 Fig. 11의 아노다이징 후 표면거칠기의 평균값인 $0.71\mu\text{m}$ 로 fitting하여 실험결과를 분석하였다.

실험결과는 Fig. 12와 같으며 개발 장비를 이용하여 $Ra\ 0.2\mu\text{m}$ 의 경면 제작에 핵심 요소인 연마 방향의 수직방향으로 작용하는 oscillation에 의한 연마 방향성 제거를 관찰한 결과, 연마필름의 종류(SiC, Al_2O_3 , diamond)에 상관없이 연마 방향성이 제거됨을 확인하였다.

그리고 슈퍼피니싱 실험 후 시편의 최종 표면 거칠기를 기준으로 연마필름에 따른 연마성능을 분석한 결과, Al_2O_3 입자와 SiC 입자보다 diamond 입자의 우수한 연마성능을 확인하였으며 diamond 입자를 사용하여 70초 동안 슈퍼피니싱을 수행했을 때 $0.2\mu\text{m}$ 이하의 우수한 표면거칠기를 도출하였다.

5. 결론

아노다이징 표면처리로 인해 불균일하게 상승한 표면거칠기를 $Ra\ 0.2\mu\text{m}$ 이하로 개선 가능한 내면연마 전용 슈퍼피니싱 장치를 제작하기 위한 연구를 진행하였으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 연마방향과 수직한 방향으로 oscillation을 주어 연마방향성을 제거함으로써 수백 nm급의 표면거칠기 개선이 가능한 슈퍼피니싱 공정 장치를 구동부, 연결부, 연마부, 제어부, 장착지그로 개념 설계하였으며, 상세설계 단계에서 3D modeling, assembly, operating simulation을 거쳐 개발 장치의 정상 구동을 사전 검증하였다.
2. 설계된 슈퍼피니싱 장치를 공차 이내의 치수로 제작함으로써 기술적 완성도를 향상시켰으며 연마성능에 직접적인 영향을 미치는 세 가지 항목에 대해 성능평가를 진행하여 장치의 성능을 확인하였다.
3. 개발한 슈퍼피니싱 장치를 이용한 원통형상의 내면 슈퍼피니싱 실험 결과, diamond 입자의 연마필름을 사용하였을 때 약 70초만에 $Ra\ 0.2\mu\text{m}$ 이하로 표면거칠기를 개선시킬 수 있음을 확인하였다.

후 기

“이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A5A808320111)”

REFERENCES

1. Kim, J. S., Yu, H. S. and Park, D. K., "An Experimental Study on the Effect of Temperature and Humidity on the Pressure Change of the Bootstrap type Reservoir in the Aircraft," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 5, pp. 170-175, 2012.
2. Kim, W. B., Cho, Y. T. and Jung, Y. G., "Manufacturing Process Improvement for Precision Inner Surface Polishing of Anodizing Treated

- Airplane Reservoir," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 2, pp. 72-77, 2016.
3. Tsangaraki-Kaplanoglou, I., Theohari, S., Dimogerontakis, T., Wang, Y. M., Kuo, H. H. H. and Kia, S., "Effect of Alloy Types on the Anodizing Process of Aluminum," Surface and Coatings Technology, Vol. 200, No. 8, pp. 2634-2641, 2006.
 4. Jung, S. Y., Park, K. B., Jung, S. Y. and Jung, Y. G., "An Experimental Study on the Determination of Efficient Superfinishing Conditions using Polishing Film," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 8, pp. 55-61, 2009.
 5. Lee, S. J., Choi, S. H., Cho, Y. T., Jung, J. Y. and Jung, Y. G., "Selection of the Efficient Superfinishing Condition on an Anodized Al7075 Surface in Experimental Design," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 33, No. 12, pp. 993-998, 2016.
 6. Kim, S. K., Cho, Y. T. and Jung, Y. G., "Determination of Efficient Superfinishing Conditions for Mirror Surface Finishing of Engineering Ceramics," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 5, pp. 76-81, 2014.
 7. Higuchi, M., Yamaguchi, T., Furushiro, N., Sugimoto, T., Shimada, S., Matsumori, N. and Ogura, H., "Development of Superabrasive Stone for Mechanochemical Superfinishing," Precision Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 65-70, 2009.
 8. Miura, K., Yamada, T., Takahashi, M. and Lee, H. S., "Application of Superfinishing to Curved Surfaces," In Key Engineering Materials, Vol. 581, pp. 241-246, 2014.