

알루미늄 환봉의 나선형 표면 미세입자 분사가공의 조건에 대한 연구

최성윤*, 이은주**, 이세한***, 권대규****, #

*경남대학교대학원, **한국폴리텍 창원, ***경남대학교 기계공학부, ****한국국제대학교 항공부품공학과

A Study on the Fine Particle Dispensing Conditions for a Spiral Surface of Round Aluminum Bars

Sung-Yun Choi*, Eun-Ju Lee**, Sea-Han Lee***, Dae-Gyu Kwon****, #

*Graduate School, Kyungnam Univ., **Korea Polytechnics CHANGWON.,

***School of Mechanical Engineering, Kyungnam Univ.,

****Dept. of Aerospace Engineering, International Univ. of Korea

(Received 27 May 2020; received in revised form 24 June 2020; accepted 25 June 2020)

ABSTRACT

The goal of this study is to determine the influence of major factors on the spiral surface microparticle injection machining of cylindrical specimens by the statistical method ANOVA. Before the experiment, rod-shaped test specimens and jigs for helical surface spraying were prepared, and the surface roughness was measured with a surface roughness meter. The injection particle, nozzle diameter, and injection pressure were the primary parameters of the experiment. Other factors that were considered were injection height, injection time, revolutions, and feed distance. The surface roughness after machining was measured, and the effects of the surface roughness data on the primary factors were determined with ANOVA.

Key Words : Spiral Surface Injection Processing(나선형 표면 분사가공), Micro Particle(미세입자), Cylindrical Specimen(원통형 시편), Injection Pressure(분사 압력), ANOVA(분산분석)

1. 서 론

알루미늄은 우수한 절삭성과 비교적 좋은 내식성을 가진 금속이다. 하지만 알루미늄 소재는 연성재료로 최근 기계구성 부품의 고정밀 및 표면품질의 개선이 지속적으로 요구되고 있으며 이러한 요구는 알루미늄의 활용도를 더욱 넓히기 위해서 표면 형상의 가공이 중요시 되고 있다.

알루미늄의 가공품질을 충족하기 위해 정밀 가공 분야에서는 절삭가공^[1], 방전과 레이저 미세가공^[2-3]등 다수의 연구가 이루어지고 있으며, 그중 표면미세가공분야는 코팅되거나 부식된 표면의 세척, 유리 및 거울의 장식등에 쓰인 오래된 가공법인 입자분사 가공^[4-5] 기술을 응용한 것으로 취성 재료에 대한 마이크로 형상의 기계적인 가공 방법으로 주목 받고 있다.

본 연구는 원통형 시편을 나선형 표면 미세입자 분사가공을 하는 경우 주요 인자들의 영향을 통계적 방법인 분산분석에 의하여 파악하고자 한

Corresponding Author : 1227jkb@hanmail.net

Tel: +82-55-751-8241, Fax: +82-505-999-2160

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다. 주요인자로는 분사 입자(Injection Particle), 노즐직경(Nozzle Diameter), 분사 압력(Injection Pressure) 3가지를 설정하고 변수로 지정한다. 나머지 인자로는 분사 높이(Height Injection), 분사시간(Injection Time), 지그주축회전수(Revolutions), 분당이송거리이며 고정 값으로 조건을 지정하였다. 가공 후 표면 거칠기를 측정하여 데이터를 분산분석으로 주요인자들이 표면 거칠기에 끼치는 영향을 파악하고자 하였다.

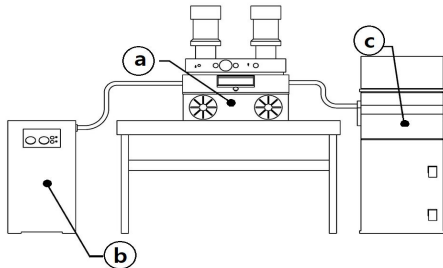
2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 미세입자 분사 가공은 Fig. 1과 같은 Comoco사의 제품인 Dual tank micro blaster (MB1006)를 사용하였으며 환봉형 시편과 전용 지그를 설계하여 실험에 사용하였다.

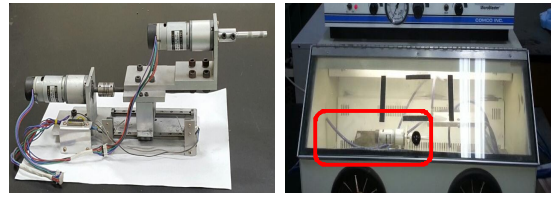


Fig. 1 Photograph of micro blaster



(a) Micro blaster (b) Dust collector (c) Air dryer

Fig. 2 Schematic illustration of micro blaster equipment



(a) Rotating, straight jig (b) Mounted jig

Fig. 3 Experimental jig for rotating and straight movement

Fig. 2에 나타난 바와 같이 미세입자 분사가공 실험에서 건조한 상태를 유지하기 위해 공기 건조기를 부착하여 정밀 미세 입자의 습기를 제거하였으며, 가공 도중 발생하는 분진을 제거하기 위해서는 흡진 장치를 부착하였다.

Fig. 3 (a)는 미세입자 분사가공을 나선형 표면 미세입자 분사가공으로 바꿔줄 회전, 이송이 가능한 지그이며, Fig. 3 (b)는 Dual tank micro blaster 안에 지그를 설치한 모습이다. 지그는 2개의 직류 스텝모터를 이용하여 제작하였으며 회전축에 환봉시편을 부착하여 작동을 시킨다. 또한 시편의 회전수와 전후 이송 속도를 가변적으로 조절할 수 있도록 제작하여 사용하였다.

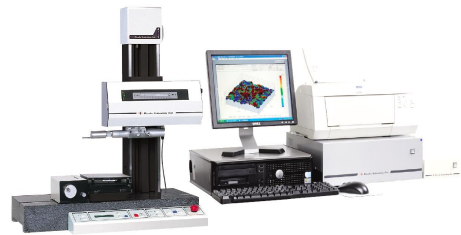


Fig. 4 Surface roughness measuring instrument

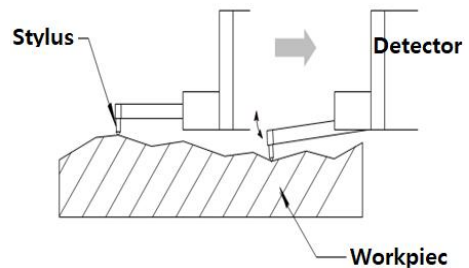


Fig. 5 Measuring method of surface roughness

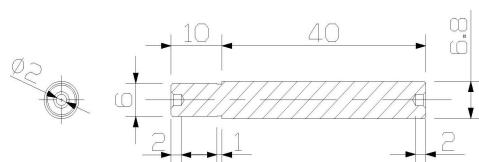
Fig. 4는 표면 거칠기 측정기구로 Surfcoeder-F3500D 제품을 사용하였으며, 사용된 표면 거칠기 측정기의 일반적인 특징으로는 일반 측정과는 별도로 평균치 측정모드, 연속 자동측정모드, 곡면 측정모드, 결함부 제거모드 등 다양한 측정모드가 되며 제품별 측정 조건을 저장할 수 있으며 Fig. 5와 같이 시험편 표면에 촉침을 접촉시켜 표면의 요철에 의해 상하 촉침의 움직임에 의해 전기신호로 변환하고 그 전기 신호를 받아 측정 데이터를 나타낸다.

2.2 실험 시편 제작

본 실험에 앞서 원활한 실험 진행을 위해 실험 시편을 설계 및 가공하였다. 시편의 형상을 정의하여 실험에 사용할 지그 장치를 구상하였다. 시편의 소재는 Al 6061-T6 소재를 사용하였으며, 선삭가공을 통하여 환봉 형상을 만들었다. 만들어진 시편을 원통 연삭가공을 통해 표면 거칠기 Ra 값이 $0.386 \mu\text{m}$ 가 되도록 제작하였다.

Table 1 Mechanical properties of aluminum alloy (Al 6061-T6)

Properties	Values
Tensile strength (MPa)	310
Yield strength (0.2% offset, MPa)	275
Brinell hardness (500kg _f load 10mm ball)	95
Elongation (%)	12
Thermal expansion rate (20~100°C)	23.6
Heat conduction (25°C)	167



(a) Drawings of materials



(b) Photos of materials

Fig. 6 Experimental specimen & 2D draw

Table 2 Factor and levels for micro blasting experiment for aluminum 6061-T6(unit: mm)

Division		0, 1, 2, 3
A	Particle (50 μm)	SiC, Al ₂ O ₃
B	Nozzle diameter (mm)	$\varnothing 0.46$, $\varnothing 0.7$, $\varnothing 1.16$, $\varnothing 1.5$
C	Pressure (KPa)	172, 345, 517, 690
D	Height injection (mm)	30
E	Injection time (sec)	120
F	Revolutions (rpm)	12
G	Feed distance (mm/min)	47

Table 1은 Al 6061-T6의 기계적 성질을 나타내고 있으며, Fig. 6 (a) 와 (b) 는 환봉 시편의 모습이다.

2.3 실험방법

본 실험은 Table 2에 보이듯 (A) 분사 입자 (B) 노즐 직경 (C) 분사 압력 3가지 인자를 변수 값으로 지정하고 (D) 분사 높이 (E) 분사 시간 (F) 지그 주축 회전수 (G) 분당 이송거리 4가지 인자를 고정 값으로 한다.

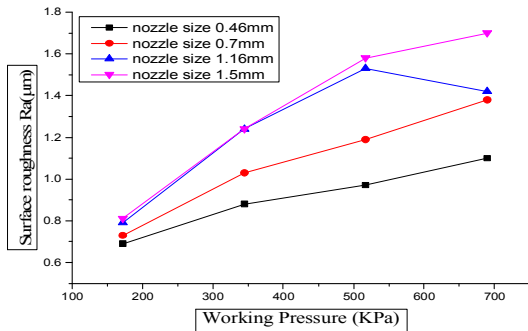
가공 조건은 분사 입자 (SiC, Al₂O₃), 노즐 직경 ($\varnothing 0.46\text{mm}$, $\varnothing 0.7\text{mm}$, $\varnothing 1.16\text{mm}$, $\varnothing 1.5\text{mm}$), 분사 압력 (172, 345, 517, 690)으로 각각의 변수를 적용 및 실험을 진행한다. 또한 고정 값으로는 분사 높이 (30mm), 분사 시간 (120sec) 지그 주축 회전수 (12rpm), 분당 이송거리는 (47mm/min)으로 지정하여 분사실험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

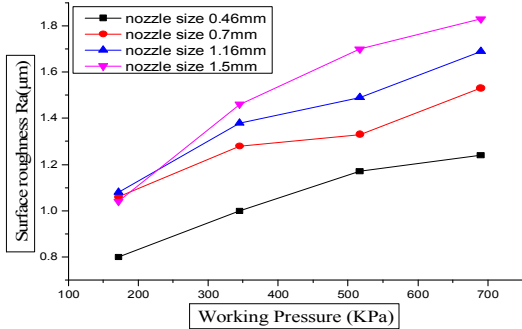
3.1 표면 거칠기 Ra 값을 통한 분석

나선형 표면 분사가공을 한 시편을 표면 거칠기 측정기를 통하여 표면 거칠기 Ra 값을 측정하여 결과 값을 그래프로 나타냈다. 그래프는 분사 입자별로 정리하여 노즐 직경과 분사 압력을 기준으로 그래프를 나타내었다.

Fig. 7 (a)와 (b)의 X축에 분사 압력의 값, Y축에 표면 거칠기 Ra 값으로 지정하여 노즐 직경의 크기별 변화량을 나타내었다.



(a) Graph for SiC



(b) Graph for Al₂O₃

Fig. 7 Average surface roughness(Ra) according to the working pressure

Fig. 7(a)를 살펴보면 노즐 직경이 $\phi 1.16\text{mm}$ 이고 690KPa의 압력일 때를 제외하고는 분사 압력이 증가할 때 표면 거칠기 Ra 값이 일정히 증가하는 모습이 나타났다.

Fig. 7(b)를 살펴보면 172KPa에서 0.7mm, 1.16mm, 1.5mm의 표면 거칠기 Ra 값이 큰 차이가 없이 측정 되었으나 분사 압력의 증가에 따라 표면 거칠기 Ra 값의 증가로 인해 차이가 난다. 또한 분사 압력의 증가에 따라 표면 거칠기 Ra 값이 상승하는 그래프가 나타났다.

이는 분사 입자 SiC의 그래프와 마찬가지로 노즐 직경과 분사 압력의 증가에 따라 표면 거칠기 Ra 값의 증가를 보였다.

Table 3을 보면 주요인자 모두가 P 값이 0.000으로 실험에 미치는 영향이 유의하다고 판별한다. 또한 표면 거칠기 Ra에 영향을 주는 인자의

Table 3 The factor analysis of variance for the average surface roughness(Ra) of micro blasted surface

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	level of contribution (%)
Particle	1	0.2195	0.2195	0.219453	5.32	0.000	7.14
Nozzle diameter (mm)	3	0.9079	0.9079	0.302643	34.92	0.000	29.55
Pressure (KPa)	3	1.7368	1.7368	0.578936	66.81	0.000	56.53
Error	24	0.2080	0.2080	0.008666			6.77
Total	31	3.0722					100.00

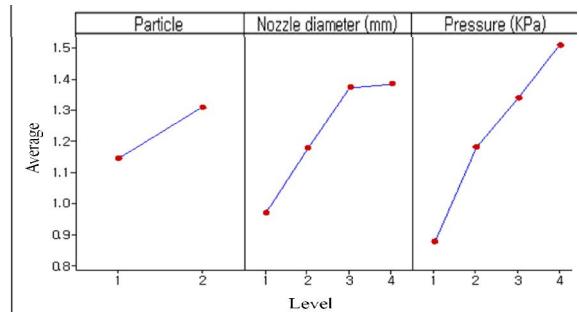


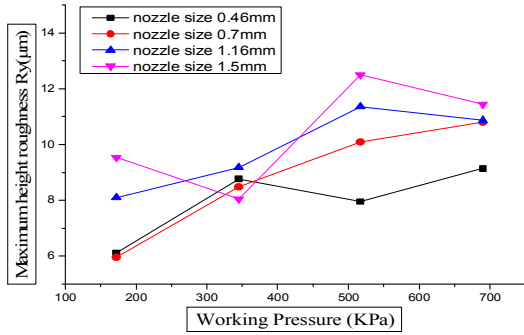
Fig. 8 Main effects plot for average surface roughness(Ra) of micro blasted surface

기여도를 살펴보면 분사 입자가 7.14%, 노즐 직경이 29.55%, 분사 압력이 56.53%로 나타났다.

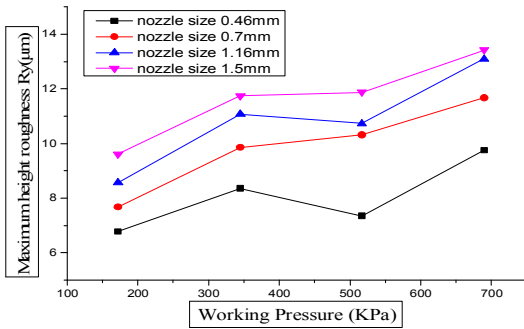
Fig. 8은 표면 거칠기 Ra에 대한 수준별 인자 주 효과도 분석 그래프이다. 수준별 인자를 분석하였을 때 분사 입자는 2수준(Al₂O₃)의 값의 영향력이 더 높았다. 노즐 직경은 3수준($\phi 1.16$)까지는 수준이 증가하는 현상을 보였으나 4수준($\phi 1.5$)에서 영향력이 3수준($\phi 1.16$)과 비슷한 현상이 나타났다. 노즐 직경과 달리 분사 압력은 수준이 높아 질수록 효과가 증가하는 현상이 확연히 나타났다.

3.2 표면 거칠기 Ry 값을 통한 분석

나선형 표면 분사가공을 한 시편을 표면 거칠기 측정기를 통하여 표면 거칠기 Ry 값을 측정하여 결과 값을 그래프로 나타냈다. 그래프는 분사 입자별로 정리하여 노즐 직경과 분사 압력을 기준으로 그래프를 나타내었다.



(a) Graph for SiC



(b) Graph for Al₂O₃

Fig. 9 Maximum height roughness(Ry) according to the working pressure

Fig. 9 (a)와 (b)의 X축에 분사 압력의 값, Y축에 표면 거칠기 Ra 값으로 지정하여 노즐 직경의 크기별 변화량을 나타내었다.

Fig. 7(a)와 비교해보면 노즐 직경이 ϕ 1.5mm일 때의 그래프에서 표면 거칠기 Ry 값의 변화를 관측하기 힘들다 다른 데이터를 관측 시 대체적으로 분사 압력이 증가할 때 표면 거칠기 Ry 값이 증가하는 현상을 보이며, Fig. 7(b)와 비교해 볼때는 517KPa에서 노즐 직경이 ϕ 0.46mm, ϕ 1.16mm의 표면 거칠기 Ry 값이 줄어들게 측정 되었으나 대체적으로 분사 압력의 증가에 따라 표면 거칠기 Ry 값이 상승하는 그래프가 나타났다.

분사 입자 SiC의 그래프와 비교하면 표면 거칠기 Ry 값이 노즐 직경과 분사 압력 증가에 따라 증가하는 모습이 비교적 잘 나타난다.

Table 4를 보면 주요인자 모두가 P 값이 0.000

Table 4 The factor analysis of variance for the maximum height roughness(Ry) of micro blasted surface

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	level of contribution (%)
Particle	1	0.2195	0.2195	0.219453	25.32	0.000	7.14
Nozzle diameter (mm)	3	0.9079	0.9079	0.302643	34.92	0.000	29.55
Pressure (KPa)	3	1.7368	1.7368	0.578936	66.81	0.000	56.53
Error	24	0.2080	0.2080	0.008666			6.77
Total	31	3.0722					100.00

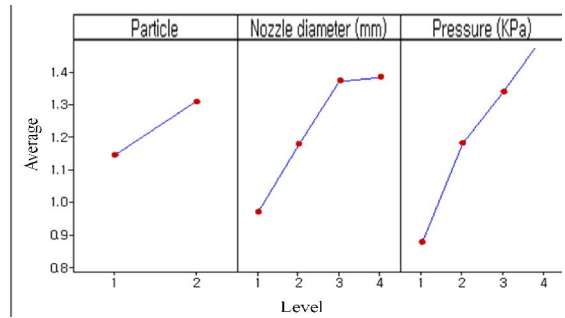


Fig. 10 Main effects plot for maximum height roughness Ry of micro blasted surface

으로 실험에 미치는 영향이 유의하다고 판별한다. 또한 표면 거칠기 Ra에 영향을 주는 인자의 기여도를 살펴보면 분사 입자가 7.14%, 노즐 직경이 29.55%, 분사 압력이 56.53%로 나타났다.

Fig. 10은 표면 거칠기 Ry에 대한 수준별 인자 주 효과도 분석 그래프이다. 수준별 인자를 분석하였을 때 분사 입자는 2수준(Al₂O₃)의 값의 영향력이 더 높았다. 노즐 직경은 3수준(ϕ 1.16)까지는 수준이 증가하는 현상을 보였으나 4수준(ϕ 1.5)에서 영향력이 3수준(ϕ 1.16)과 비슷한 현상이 나타났다. 노즐 직경과 달리 분사 압력은 수준이 높아질수록 효과가 증가하는 현상이 확연히 나타났다.

표면거칠기 Ra와 Ry ANOVA분석 후 주사식 전자 현미경으로 2000배 확대하여 Fig. 11 과 같이 분사가공 전후의 표면 거칠기 변화를 비교 확인하였다.

Fig. 11의 (a), (b)는 분사 입자 SiC, 노즐의 직경 ϕ 1.16mm, 분사 압력 690 KPa의 분사가공 전, 후

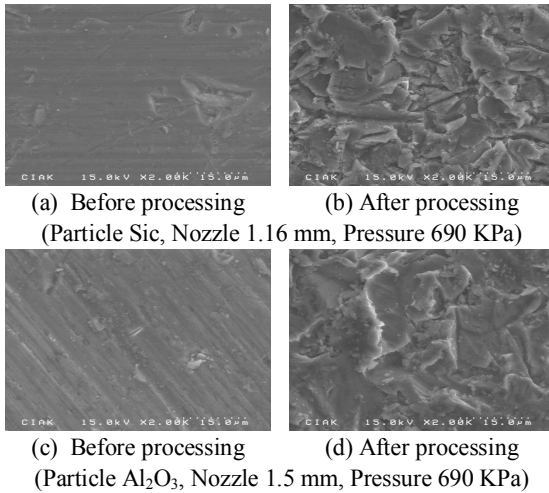


Fig.11 SEM micrographs (magnification X2000)

의 결과이고 (c), (d)는 분사 입자 Al_2O_3 , 노즐의 직경 $\varnothing 1.5mm$, 분사 압력 690 KPa이며 노즐 직경이 증가할 때 표면 거칠기가 증가하는 모습이 나타났다.

4. 결론

본 연구는 환봉형 시편에 나선형 표면 미세입자 분사가공을 한 후 시편의 표면 거칠기 Ra와 표면 거칠기 Ry를 측정하였다. 실험에서 주요인자로 선정한 분사 입자, 노즐 직경, 분사 압력을 분산분석을 통하여 표면 거칠기 Ra 값과 표면 거칠기 Ry 값에 미치는 영향을 분석하고 인자의 기여도에 따른 영향력 비교를 하였다. 또한 주 효과도를 통한 수준별 비교를 이용하여 인자별 데이터를 분석하고 영향력이 높은 수준을 찾아내었다.

1. 표면 거칠기 Ra와 표면 거칠기 Ry에 끼치는 인자들의 영향을 분석한 결과 주요인자로 선정한 분사 입자, 노즐 직경, 분사 압력 3가지 인자 모두 실험에 주요한 영향을 미치고 있다고 나타났다.
2. 주요한 영향을 끼친 인자들의 기여도를 분석한 결과 분사 압력, 노즐 직경, 분사 입자 순으로 기여도가 높은 것으로 나타났으며 알루미늄을

이종재료와 접착 및 코팅공정에서 표면 거칠기를 조절하는데 기여할 것이라 기대한다.

3. 실험에 영향을 끼친 주요인자들의 수준별 인자 비교 결과 분사입자는 Al_2O_3 , 노즐 직경은 $\phi 1.16$, $\phi 1.5$, 분사 압력은 690KPa 일 때 영향력이 높은 것으로 나타났다.

REFERENCES

1. Choi, S. Y., Kwon, D. G., Park, I. S., Wang, D. H., "A study on the optimal conditions for machining accuracy when endmill fillet cutting at the corner", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15 No. 4, pp. 101-108, 2016.
2. Yun,, J. D., Wang, D. H., Ahn,, Y. C., Go, C. H., "Electrical Discharge Machining of Alumina Ceramic Matrix Composites Containing Electro-conductive Titanium Carbide as a Second Phase", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 34, No.10, pp. 1092-1098, 1997.
3. Jang, H. S., Kim, H. S., Shin, K. H., "A Study on Performance Improvement of Electrical Discharge Machining for Producing Micro-holes Using a Shot Blasting Surface Treatment", Journal of the The Korean Society for Technology of Plasticity., Vol. 21 No. 5, pp. 312-318, 2012.
4. Kwon, D. G., Wang, D. H., "Optimal Blasting Conditions for Surface Profile when Micro Particle Blasting by Statistical Analysis of Orthogonal Arrays", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers., Vol. 15, No. 4, pp. 148-154, 2016.
5. Kim, S. H., Wang, D. H., Lee,, S. H., "The Characteristics of Surface Roughness when Micro Blasting of Titanium Alloy with Spiral Movement", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers., Vol. 11, No, 4, pp. 125-130, 2012.