

2축 시퀀스 제어 스테이지와 미세입자 분사장치에 의한 형상 분사가공시 실험계획법에 의한 주요인자 검출

황철웅*, 이세한**, 왕덕현**,#

*경남대학교 대학원 기계융합공학과, **경남대학교 기계공학부

Selection of Main Factors by Experimental Analysis for Profile Blast Machining Based on Microparticle Blasting Equipment with a Two-Axis Sequence Control Stage

Chul-Woong Hwang*, Sea-Han Lee**, and Duck Hyun Wang**,#

*Department of Mechanical Convergence Engineering, Kyungnam Univ.,

**School of Mechanical Engineering, Kyungnam Univ.

(Received 08 August 2020; received in revised form 11 October 2020; accepted 12 October 2020)

ABSTRACT

To determine the effective factors for microparticle blasting with precise sequence position control in the x-axis and y-axis directions, we conducted a statistical experimental analysis of blasted square shapes by considering five condition factors. The control input and output were operated simultaneously by rotation-linear motion conversion and fine particles were blasted onto the aluminum specimen by precise position control driving using multiple execution codes. The micro-driving device used for processing was capable of microparticle blasting and of controlling the system through contact with a limit sensor at high speed and a two-degree-of-freedom driving mechanism. Our experiments were conducted on 1,050 specimens of pure aluminum (containing <1% of other elements). The effects of several factors (e.g., particle and nozzle diameters, blasting pressure, and federate and blasting cycle numbers) on the surface roughness and blasted surface's depth were verified through a statistical experimental analysis by applying the dispersion analysis method. This statistical analysis revealed that the nozzle diameter, the blasting pressure, and the blasting cycle number were the dominant factors.

Key Words : Microparticle Blasting(미세입자 분사가공), Blasting Pressure (분사압력), Blasting Cycle Number(분사 사이클 횟수), Feedrate(이송속도), Experimental Analysis(실험분석)

1. 서 론

제조환경의 급격한 변화로 각종 기계부품의 고정밀

도와 함께 표면처리 가공공정에 대한 연구개발 필요성이 높아지고 있다. 항공부품 및 각종특수 제품으로 많이 사용되는 알루미늄(Al)은 양호한 용접성, 절삭성 그리고 비교적 좋은 내식성을 가지고 있어 고온 구조용 재료로서 우수한 기계적 성질 때문에 경량화 금속재료

Corresponding Author : dhwang@kyungnam.ac.kr

Tel: +82-55-249-2712, Fax: +82-505-999-2160

로 많은 산업분야에서 널리 사용되고 있다.

하지만 알루미늄 소재는 연성재료로 최근 지문이 남는 것을 방지하기 위해 폴리머 코팅을 하고 있으며, 다른 금속과의 코팅이나 이온주입을 위해 거친 표면이 요구된다. 이러한 요구는 향후 알루미늄이 다양한 분야에 사용되기 위해서 거친 표면 형상의 가공이 필요하며, 코팅 또는 이종 재료와의 접착력 향상에 대한 대책이 필요하다.^[1-2] 표면처리 연구는 마이크로 블레스팅 기초연구와 원형단면을 위한 회전 연마^[3] 연구가 진행되었으며, 그중 미세입자 분사가공 (Micro particle blasting-AJM)^[4]은 코팅되거나 부식된 표면의 세척, 유리 및 거울의 장식등에 쓰인 오래된 가공법인 입사분사가공 기술을 응용한 것으로 취성재료에 대한 마이크로형상의 기계적인 부식 방법으로 주목 받고 있다.

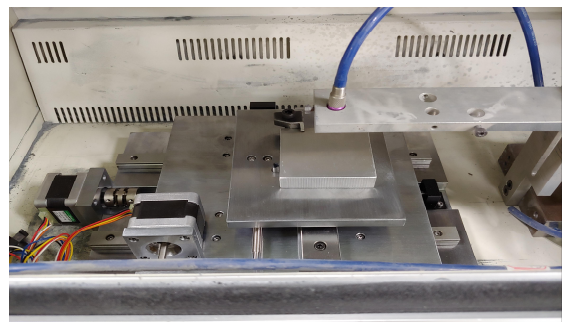
본 연구에서는 미세입자 분사 가공을 가공조건들의 주요인자인 분사입자(Particle), 노즐직경(Nozzle diameter), 분사압력(Blasting pressure), 이송속도(Feedrate), 분사사이클 횟수(Blasting cycle number)의 5개의 인자들을 기반으로, 그리고 분사높이를 25mm 고정 값으로 지정하여 실험계획법에 의한 실험을 진행하여 통계적 분석으로 주요인자를 검출하고자 한다. 미세입자 분사가공을 수행한 후 분사가공면의 표면거칠기와 분사가공면의 최대분사깊이를 측정하여 그 특성값들로 미세입자 분사가공에 인자들이 미치는 영향을 통계적 방법인 분산분석^[5]에 의하여 파악하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

미세입자 분사가공은 Fig. 1(a)의 그림에 나타난 Comco사 제품인 Dual tank micro blaster (MB1006)을 사용하였고, 고속분사용 x축, y축 방향의 정밀한 분사 위치 제어가 가능한 미세입자 분사가공용 미세구동장치는 평면 2자유도 메커니즘 (Moving mechanism in 2 degree of freedom)으로 구현되는 실험장치를 설계 제작하여 개발하였다. 미세구동 장치는 회전-직선운동으로 변환하고 백래시 없는 정밀한 위치제어 구동이 가능하여 매우 작은 입자를 원하는 위치에 고속으로 분사가공을 할 수 있으며, 한계(limit) 센서의 접촉으로 시스템 제어를 통하여 미세입자 분사가공이 가능한 구동장치로 실험을 하였다.



(a) Dual tank micro blaster (MB1006)

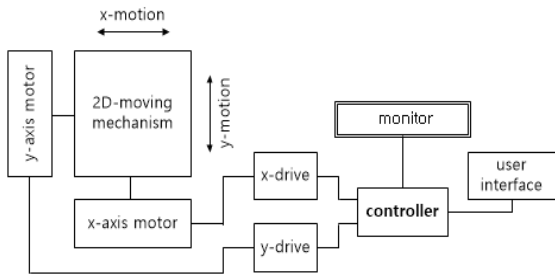


(b) 2-axis sequence control stage

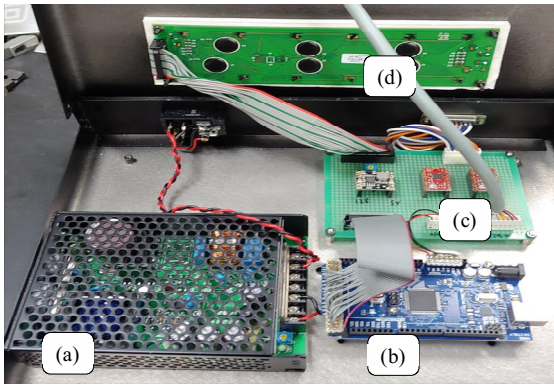
Fig. 1 Micro particle blasting equipment and 2-axis orthogonal stage machine

Fig. 1(b)는 x축, y축 방향의 움직임에 간섭방지를 위해 직교방식으로 스텝모터를 이용하여 정밀한 분사 위치 제어가 가능한 미세입자 분사가공용 구동 장치이다, Fig. 2(a)는 다양한 궤적의 데이터가 컨트롤러(Controllor)에 입력되고 실험장치의 동작현황이 시각적으로 확인하는 LCD 모니터와, 사용자가 입력하는 명령을 실시간 제어에 반영하기 위해서 타이머 인터럽트를 이용한 다분할실행 코드를 아두이노 메가로 구성하고 제어하는 장치의 플랫폼을 나타낸 것이다.

마이크로 컨트롤러에 기반한 장치는 희망하는 궤적의 모양을 선택할 수 있는 모드(mode)키, 해당 궤적의 제원(item)키와 수치값(value)키를 채택하고 있다. 제작된 컨트롤러는 Fig. 2(b)에 나타내었다. (a)는 파워 스플라인이고 (b)는 입력된 신호를 생성하는 ATMEGA2560 아두이노 메가로 구성된 컨트롤러, (c)는 x축, y축 스텝모터를 제어하는 드라이버, (d)는 데이터와 모드가 표시된 LCD 모니터를 나타내고 있다.



(a) platform of control devices consisting of Arduino Mega



(b)structure of control box

Fig. 2 Internal structure of control box and control platform



(a) Before

(b) After blasted

Fig. 3 Photographs of aluminum 1050-T2 specimens

사각 시편은 $55 \times 55 \times 2$ (t)mm로 사용하였으며 시편의 제작은 알루미늄1050-T2 소재를 절단 후 사면을 가공하고 상면은 평면 연삭가공을 통해 표면 거칠기 Ra값을 $0.368\mu\text{m}$ 로 제작하였다. Fig. 3은 시편의 미세입자 분사가공 전 모습과 가공 후 모습을 각각 나타낸 사진들이다.

또한 실험에 앞서 사각 시편을 고정하고 분사하기

위해서는 분사 노즐의 중심과 시편의 분사면이 수직으로 일치시키고 분사 거리의 조정을 위하여 분사 노즐 고정용 가이드를 별도로 제작하여 실험을 진행하였다.

미세입자 분사 가공 후 측정 방법으로는 접촉식 3차원 형상 측정기(SV-C3000)를 사용하여 분사된 표면 거칠기와 분사 깊이를 측정하였다.

실험 방법으로는 Table 1에 나타내었듯 (A)분사 입자, (B)노즐 직경, (C)분사 압력, (D)분사 이송속도, (E)분사사이클 횟수를 주요인자로 선정하여 변수 값으로 지정하였으며 분사높이를 25mm 고정인자로 선정하여 고정 값을 주었다. 분사가공은 16mm 사각도형 궤적으로 실시하고 사각코너 회전부를 언더컷으로 하여 10mm구간에 한해 측정하였다. 실험은 시편 8개를 준비하고 Table 2 와 같이 실험계획법에 의한 실험 순서대로 진행하였으며 분산분석을 통한 데이터 분석을 진행하였다.

Table 1 Five factors of micro particle blasting experiment for experimental analysis

Division		0	1
A	Particle ($50\mu\text{m}$)	SiC	Al_2O_3
B	Nozzle diameter (mm)	$\varnothing 0.46$	$\varnothing 1.5$
C	Blasting pressure (KPa)	175	700
D	Feed rate (mm/sec)	1	3
E	Blasting cycle number(cycle)	1	5

Table 2 Experimental conditions to find out main factors by using $L_8(2^7)$ in place of the five factor

No	Experimental procedure	Column index							Experimental condition
		1	2	3	4	5	6	7	
1	3	0	0	0	0	0	0	0	$A_0B_0C_0D_0E_0$
2	2	0	0	0	1	1	1	1	$A_0B_0C_0D_1E_1$
3	4	0	1	1	0	0	1	1	$A_0B_1C_1D_0E_0$
4	1	0	1	1	1	1	0	0	$A_0B_1C_1D_1E_1$
5	5	1	0	1	0	1	0	1	$A_1B_0C_1D_0E_1$
6	8	1	0	1	1	0	1	0	$A_1B_0C_1D_1E_0$
7	7	1	1	0	0	1	1	0	$A_1B_1C_0D_0E_1$
8	6	1	1	0	1	0	0	1	$A_1B_1C_0D_1E_0$
Fundamental Presentation		a	b	a b	c	a c	b c	a b c	
Batch		A	B	C	D	E	e	e	

3. 실험결과 및 고찰

실험계획법에 따라 8개의 시편을 이용하여 정사각형 분사가공 실험을 진행하였으며 x축과 y축을 각각의 기준으로 중심선평균거칠기(Ra)값, 최대 높이(Rz)값, 분사 깊이를 측정하여 얻어진 데이터를 그래프로 나타내었다. 측정된 데이터는 분산분석을 통하여 주요한 영향을 끼치는지 판별하고 기여도를 통한 인자들의 중요도를 나타내었다.

Table 3는 y축을 기준으로 측정된 데이터 값을 나타낸 것으로 실험시편 3과 4에서 분사 압력이 높을수록 분사 표면깊이가 깊어지는 경향을 보였으며 Rz값 또한 유사한 경향을 나타내고 있었다. 중심선평균거칠기 값인 Ra는 차이가 크지 않음을 알 수 있다. Table 4에서 보는 바와 같이 분사 압력의 P값이 0.08, 노즐 직경의 P값이 0.18, 분사사이클 횟수의 P값이 0.25로 나타나 5가지 요인중 주요인자 3가지로 다른 인자보다 더 많은 영향을 끼치는 것으로 판단할 수 있다. 또한 분사 깊이에 영향을 주는 인자의 기여도를 살펴보면 분사 압력이 48.93%로 절대적이며, 다음으로 분사노즐 18.05%, 분사사이클 횟수 12.04%, 분사 입자는 10.66%의 순서로 나타났다. 기여도를 통한 분사깊이의 영향력을 비교하였을 때 분사 압력, 분사 노즐, 분사사이클 횟수 순으로 영향을 주는 것으로 판단된다.

Fig. 4는 y축에 대한 수준별 인자 주효과도이다. 수준별 인자를 분석 하였을 때 분사 횟수는 0수준(SiC)의 값이 영향력이 높았다. 노즐 직경과 분사 횟수도 0수준(\emptyset 0.46/1cycle) 보다 1수준(\emptyset 1.5/3cycle)의 값이 영향력이

Table 3 The Ra, Rz and maximum depth values according to the y- axis direction measured from blasted square shape

Experiment number	Y Axis Direction		
	Ra	Rz	Max Depth
1	1.2651	11.8421	13.5407
2	1.0053	8.2302	12.5271
3	2.2236	17.7670	34.2702
4	2.8001	21.1200	36.6862
5	1.9490	13.6886	17.5221
6	1.3026	12.2061	16.7613
7	1.8723	12.6633	19.3593
8	1.1380	10.228	12.2205

Table 4 The factor analysis of variance for y- axis direction of micro blasted square surface

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	level of contribution (%)
Particle	1	11.08	11.08	11.08	2.28	0.27	10.66%
Nozzle diameter (mm)	1	19.69	19.69	19.69	4.05	0.18	18.95%
Blasting pressure (KPa)	1	50.84	50.84	50.84	10.5	0.08	48.93%
Feed rate (mm/sec)	1	0.06	0.06	0.06	0.01	0.92	0.06%
Blasting cycle number	1	12.51	12.51	12.51	2.57	0.25	12.04%
Error	2	9.73	9.73	4.87			9.36%
Total	7	103.91					100.00%

Main effects plot for Y- Axis Direction(μ m) (Data average)

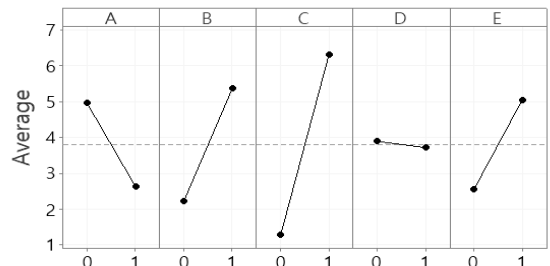


Fig. 4 Main effects plot for maximum hole diameter of y- axis direction of micro blasted surface

높았으며 분사 압력은 1수준(700Kpa)이 0수준(175Kpa)보다 월등히 영향력이 높았으나 분사 이송속도는 수준별 차이가 크게 나타나지 않았다.

Table 5는 x축을 기준으로 측정된 데이터 값을 나타낸 것으로 y축 값들과 같이 분사 압력이 높을수록 분사 표면깊이가 깊어지는 경향을 보였으며 Rz 또한 비슷한 경향을 나타내고 있었다. 중심선 평균거칠기(Ra)값은 차이가 크지 않음을 알 수 있다. Table 6를 보면 분사 압력의 P값이 0.07 노즐 직경의 P값이 0.17 분사사이클 횟수의 P값은 0.23으로 나타나 5가지 요인중 주요인자 3가지로 실험에 미치는 인자로 볼 수 있다. 또한 분사 깊이에 영향을 주는 인자의 기여도를 살펴보면 분사 압력이 52.02%로 절대적 이었으며 다음으로 분사노즐

Table 5 The Ra, Rz and maximum depth values according to the x- axis direction measured from blasted square shape

Experiment number	X Axis Direction		
	Ra	Rz	Max Depth
1	0.8171	7.5973	11.7801
2	1.2801	9.5066	18.3853
3	3.3316	26.2924	40.1135
4	3.0599	21.0575	37.5796
5	1.5774	12.9184	17.7923
6	1.3484	11.0031	18.3686
7	1.8265	12.7165	28.9058
8	1.1581	9.8311	14.8737

Table 6 The factor analysis of variance for x- axis direction of micro blasted surface

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Level of contribution (%)
Particle	1	7.08	7.08	7.08	1.91	0.30	8.14%
Nozzle diameter (mm)	1	15.94	15.94	15.94	4.3	0.17	18.34%
Blasting pressure (KPa)	1	45.23	45.23	45.23	12.19	0.07	52.02%
Feed rate (mm/sec)	1	0.15	0.15	0.15	0.04	0.86	0.18%
Blasting cycle number	1	11.11	11.11	11.11	3	0.23	12.78%
Error	2	7.42	7.42	3.71			8.54%
Total	7	86.93					100.00%

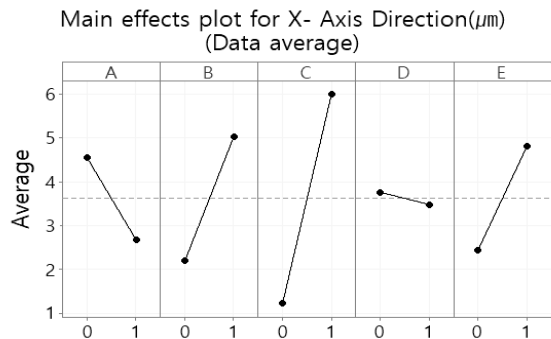


Fig. 5 Main effects plot for maximum hole diameter of x- axis direction of micro blasted surface

18.34%, 분사사이클 횟수 12.78%, 분사 입자는 8.14% 순서로 나타났다. 기여도를 통한 분사깊이의 영향력을 볼 때 분사 압력, 분사 노즐, 분사사이클 횟수 순으로 영향력이 높다고 판단된다.

Fig. 5은 x축에 대한 수준별 인자 주효과도이다, 수준별 인자를 분석 하였을 때 노즐직경이 0수준($\varnothing 0.46$) 보다 1수준($\varnothing 1.5$)의 값이 영향력이 높았으며 분사사이클 횟수도 0수준(1cycle)보다 1수준(3cycle)의 영향력이 높았다. 분사 압력도 1수준(700Kpa)이 0수준(175Kpa)보다 월등히 영향력이 높았으나 분사 이송속도는 수준별 차이가 미미하게 나타났다. 분사 입자는 0수준(SiC)의 값이 영향력이 높았다.

x축과 y축의 측정 데이터로 분석한 주효과도는 노즐 직경, 분사 압력, 분사사이클 횟수에서 0수준보다 1수준의 영향력이 높게 나타났고 분사 입자에서는 0수준의 영향력이 1수준보다 높게 나타났다.

4. 결론

본 연구는 미세입자 분사 가공시 실험계획법중 하나인 분산분석기법으로 가공조건인 인자들 중 주요 인자를 변수 값으로 지정하고 나머지 인자를 고정 값으로 지정하여 실험을 진행한다. 분사가공면의 최대깊이와 중심선평균 표면거칠기를 측정하여 인자들이 미세입자 분사가공에 미치는 영향을 확인하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주요인자로 설정한 분사압력, 노즐직경, 분사사이클 횟수가 표면거칠기와 최대 분사깊이에 관하여 유의한 영향을 미치는 인자로 판명되었으며 코팅 또는 이종 재료와의 접착력 향상에 대한 기계적인 부식 방법인 미세입자 분사가공의 기준을 설정하는데 기여할 것으로 보인다.
2. 실험 영향력을 비교하기 위해 실험 기여도를 분석한 결과 표면거칠기와 최대 분사깊이 모두 분사 압력, 노즐 직경, 분사사이클 횟수 순으로 영향력이 크다고 판단되었다.
3. 분사 깊이에 관하여 수준별 인자 분석한 결과 분사 입자는 SiC, 노즐 직경은 $\varnothing 1.5$ 분사 압력은 700KPa로 노즐 직경이 클수록, 분사 압력이 높을수록 영향력이 크게 나타났다.

4. 분사 깊이와 Ra, Rz에 관하여 수준별 인자 분석한 결과 x축과, y축은 노즐 직경, 분사 압력, 분사사이클 횟수에서 0수준보다 1수준의 영향력이 높게 나타났고 분사 입자에서는 0수준의 영향력이 1수준보다 높게 나타나는 동일한 경향을 나타냈다.
5. 분사 깊이와 Ra, Rz에 관하여 인자별 기여도를 분산 분석한 결과 분사압력(52.02%), 노즐직경(18.34%), 분사사이클 횟수(12.78%), 입자(8.14%), 이송속도(0.18%)순으로 분사압력, 노즐직경, 분사사이클 횟수가 주요 3인자로 확인되었다.

Movement”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No, 4, pp. 125-130, 2012.

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", Transactions of Materials Processing, 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