

금속박판을 이용한 쾌속조형의 공정변수에 관한 연구

이상찬*(목포대 기계공학과), 박정남(목포대 기계공학과 대학원), 양동열(한국과학기술원)

A study on the Processing Variables of Rapid Prototyping using Sheet Metal

S. C. Lee(Mech. Eng. Dept., MNU), J. N. Park(Mech. Eng. Dept., MNU), D. Y. Yang(KAIST)

ABSTRACT

The purpose of this study is the development of the extensive Rapid Prototyping Technique, which can resolve the long-term manufacturing process, shrinkage and deformation occurring rapid prototyping technique. To begin with, the various specimens for tensile were manufactured on the basis of this modeling technology. Then, many kinds of the laminate pieces for the test were made by using the sheet metals 1mm and 1.5mm thickness which is composed of the same ingredient. The tensile specimen were manufactured by changing the process variables, Such as electric current, pressure and resistance welding time for the Rapid Prototyping with metal sheet. And then by using the Taguchi method. The interrelation between the specimen and mechanical properties were determined and the system for the optimum process variable organized.

Key Words : Metal sheet(금속박판), Rapid Prototyping Technique(쾌속조형법), Projection welding(프로젝션 용접), Design of Experiment(실험계획법), Process variables(공정변수)

1. 서론

현재의 쾌속조형기술은 광경화성 수지나 종이를 이용하여 설계검증이나 모형을 제작하는데 이용되고 있다. 최근에는 기능성 재료인 세라믹 분말 등을 이용하여 쾌속조형품을 직접 기계부품으로 활용되기도 한다.

최근에는 금속을 이용한 시작품과 부품(part) 제작에 대한 쾌속조형법이 활발히 연구되고 있다. 금속 재료로 만들어진 시작품은 디자인 검증과 평가뿐만 아니라, 제품의 기계적 강도나 인성 평가와 같은 제품의 시험성 평가에도 사용될 수 있으므로 그 효율성이 매우 높다. 소량생산의 경우에는 쾌속 조형법을 이용하여 제품을 바로 만들거나 금형(mold)을 제작하려는 시도가 이루어지고 있다.^{1,2}

본 연구의 목적은 프로젝션 용접을 이용하여 금속박판을 적층한 제품의 굽힘강도나 인장강도 같은 기계적 성질에 영향을 미치는 공정변수에 관해 연구하고 최적의 공정조건을 찾아내는데 있다.^{3,4}

금속박판을 이용한 쾌속조형시의 전류나 압력,

통전시간 등과 같은 공정변수를 달리하여 인장시편을 쾌속조형으로 제작하고 제작한 조형품의 공정변수와 기계적 성질간의 상관관계를 실험계획법을 이용하여 밝히고 최적의 공정변수를 결정하는 시스템을 구축한다.^{5~10}

2. 시작품제작 및 실험

2.1 프로젝션 용접을 이용한 쾌속조형법

프로젝션 용접은 외관이 아름답고 용접속도가 빠르기 때문에 응용범위가 넓게 이용되고 있다. 프로젝션 용접기는 용접공정 중 가압력, 용접전류, 용접시간, 용접돌기, 시편의 두께, 재질 및 표면상태등 다양한 변수들에 의해서 용접품질이 결정된다. 또한 용접성의 판단은 용접공정중에서 가압력, 용접전류, 용접시간의 제어를 통해 인장강도 및 전단강도, 너겟의 지름, 그리고 용접부의 변형량을 통해 이루어진다. 따라서 용접성을 향상시키기 위해서는 위의 주요 공정변수를 조절하여 최적의 용접이 이루어지게 해야한다.

본 연구에서 개발한 프로젝션 용접을 이용한 쾌속 조형법의 공정 순서는 Fig. 1 과 같다. 먼저, 그림과 같이 컴퓨터를 이용하여 3차원 제품 설계를 한 후 2차원 단면형상으로 분할하고, 레이저 형상 절단기를 이용하여 각 단면의 형상대로 가공한다. 형상대로 가공한 금속 박판을 돌기 생성 후 프로젝션 용접기를 이용하여 용접 적층한다. 또한, 형상 경계층을 처리하기 위해 시제품 주변을 NC 머시닝을 한다.

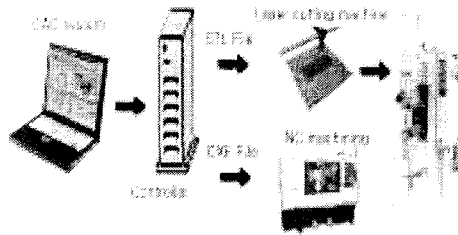


Fig. 1 Manufacturing process of Rapid Prototyping Technique using Projection welding

2.2 시작품제작

다음과 같은 KS B 0801 규정의 인장시편을 다음과 같이 프로젝션 용접을 이용하여 두께 5mm로 제작하였다.

- (1) 1.5t와 1t의 SUS304 박판과 1t의 SS41 박판을 가공여유를 주어 준비한다.
- (2) 준비된 시험편에 돌기를 생성하기 위한 압력 다이(pressure die)와 프로젝션 용접을 위한 탄소전극을 만든다.



Fig. 2 Photograph of the pressure die and carbon electrode

- (3) 압력 다이를 이용하여 준비된 시험편에 돌기 (projection)를 생성한다.
- (4) 실험계획에 의한 직교배열표를 작성한다.

인자와 수준을 선정하여 알맞은 직교배열표를 작성한다. 프로젝션용접에 영향을 미치는 인자로는 용접전류, 용접시간, 가압력, 시편의 표면상태, 시편의 두께, 돌기의 치수, 돌기의 개수 등이 있다. 그중 프로젝션용접의 3대요소인 용접전류, 통전시간, 가압력

등에 비해 나머지 요인은 용접품질에 미치는 영향이 적다고 판단된다. 따라서 용접전류, 통전시간, 가압력을 인자로서 선정하고 시편의 조합에 따른 경우도 첨가하여 4가지 인자를 선정하였다.

인자의 수준에 있어서는 예비실험을 통하여 표면상태, 가공상태, 용접상태 등을 확인하여 Table. 1과 같이 정하였다.

시편의 조합은 1.5t의 sus304를 양쪽으로 하고 가운데 두 개를 1t하여 5t의 두께를 제작한 것이며 표에서 나타내는 조합은 가운데 1t의 조합을 나타내고 있다.

실험 번호	전류(A) (cycle)	통전시간(sec)	압력(C) (MPa)	시편조합(D)
1	50	100	7	sus304
2	50	100	8	ss41
3	50	100	11	sus304 ss41
4	50	100	8	sus304 ss41
5	50	100	11	sus304
6	50	100	7	ss41
7	100	100	11	ss41
8	100	100	7	sus304 ss41
9	100	100	8	sus304

Table 1 Process conditions of tensile specimen

- (5) 프로젝션 용접기를 이용한 시편을 제작한다. 돌기가 생성된 시편을 직교배열표에 의한 수준조건으로 프로젝션 용접기를 이용하여 한층씩 적층시켜 시편을 제작한다.
- (6) 변환한 DXF파일을 이용하여 경계층을 CNC로 가공하여 시편을 완성한다.

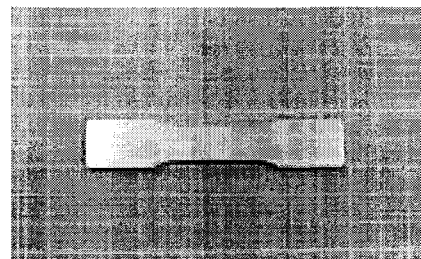


Fig. 3 Result of rapid prototyping using projection welding

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인장시험 결과 및 고찰

직교배열표에 의한 9가지 공정조건에 의하여 쾌속조형법으로 인장시편을 제작하여 각 시편에 대해서 인장시험을 하였다.

Fig. 4는 인장시험 결과 그래프이다. 보는 바와 같이 세가지의 경우로 크게 데이터의 차이를 보이고

있다. 이는 공정변수 중 시편조합의 수준차가 인장 강도에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

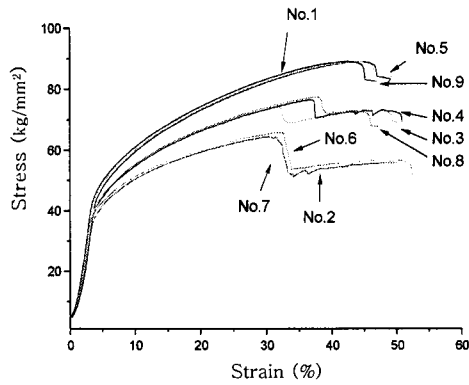


Fig. 4 Stress-strain curve of tensile specimens

Table 2는 각 실험 조건별로 3회씩 실시한 인장 실험 결과를 표로 나타낸 것이다.

실험 번호	인장조건				인장강도 data			
	1	2	3	4	Y1	Y2	Y3	Y MEAN
No.1	0	0	0	0	88.28	88.86	88.55	88.56
No.2	0	1	1	1	68.80	68.37	68.35	68.51
No.3	0	2	2	2	70.10	71.05	70.94	70.69
No.4	1	0	1	0	76.00	76.25	76.40	76.22
No.5	1	1	0	0	87.45	88.98	89.00	88.81
No.6	1	2	0	1	64.70	64.75	64.90	64.78
No.7	2	0	2	1	64.85	64.70	64.60	64.72
No.8	2	1	0	2	77.35	77.35	77.40	77.37
No.9	2	2	1	0	80.10	88.15	88.55	88.13
평균	A	B	C	D				100.00

Table 2 Results of tensile experiments.

Table 3은 데이터평균을 이용한 보조계산표이다.

구분	대역	합계
A	$T_{A0} = 88.38 + 0.17 + 0$	258.14
	$T_{A1} = 76.58 + 88.82 + 66.02$	231.42
	$T_{A2} = 65.38 + 88.37 + 89.1$	231.85
B	$T_{B0} = 88.38 + 76.58 + 66.02$	230.98
	$T_{B1} = 64.57 + 88.82 + 71.23$	230.62
	$T_{B2} = 75.82 + 82.89 + 1$	231.51
C	$T_{C0} = 88.38 + 88.82 + 71.23$	230.97
	$T_{C1} = 64.57 + 76.58 + 89.1$	230.25
	$T_{C2} = 75.82 + 65.38 + 1$	230.00
D	$T_{D0} = 88.38 + 88.82 + 89.1$	266.30
	$T_{D1} = 64.57 + 66.02 + 65.38$	195.97
	$T_{D2} = 75.76 + 77.40 + 1$	238.16

Table 3 Supplementary Table

Fig. 5는 각 인자들의 수준에서의 인장강도를 나타내고 있다. 여기서 주의깊게 보아야 할 점은 A인자와 C인자이다. A인자는 수준이 2일 때 가장 큰 값을 가지고 있다. 이는 더 높은 전류의 값에서 더 좋은 인장강도가 나올 수 있음을 암시한다. C인자는 0수준일 때 가장 큰 강도를 나타낸다. 마찬가지로 더 낮은 가압력에서 더 좋은 강도가 나오는 것을 알 수 있다.

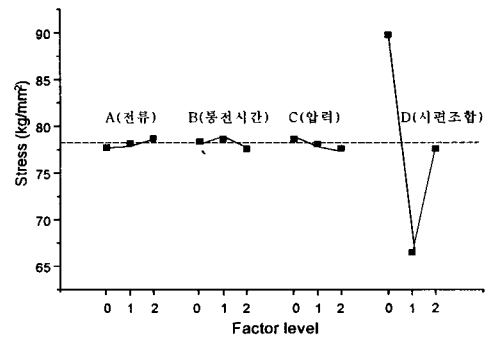


Fig. 5 Representation of tensile strength in each factor level

3.2 직교배열법의 해석

(1) 분산분석표 분석

Table 4의 분산분석표에서 보듯이 인자 D인 시편의 조합이 인장강도에 가장 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 다음으로는 전류(A), 가압력(C), 통전시간(B)의 순서임을 알 수 있다.

인자	수	합	차	F ₀	F _α
A	3	683	2	3.31	10.47
B	3	1.32	2	0.03	2.96
C	3	1.38	2	0.03	2.96
D	3	2573.46	2	1272.88	3838.25
합계	24	2595.24	24		

Table 4 ANOVA Table

(2) 최적조건의 결정

Table 4에서 유의확률(α)로부터 A인자와 D인자는 유의수준 5%에서 유의하고, C인자는 유의수준 10%에서 유의하다. 나머지 B인자도 유의수준 10%에서 유의하지 않지만 무시할 수 없다고 판단되므로 무시하지 않고 특성치를 최대화 하는 최적조건을 구한다. 모든 인자의 조건을 무시하지 않기로 했으므로 Table. 4로부터 A2와B1 그리고 C0, D0이 특성치를 가장 크게 함을 알 수 있다. 따라서 최적조건은 A₂, B₁, C₀, D₀이다.

(3) 모평균의 추정

최적조건에서 모평균을 추정하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{y}(A_2, B_1, C_0, D_0) &= \bar{A}_2 + \bar{B}_1 + \bar{C}_0 + \bar{D}_0 - 3\bar{T} \\ &= \frac{241.85}{3} + \frac{230.56}{3} + \frac{230.57}{3} + \frac{206.50}{3} - 3 \times \frac{100.22}{3} \\ &= 77.28 + 76.85 + 76.85 - 88.77 - 200.07 = 89.82 \end{aligned}$$

(4) 신뢰구간 추정

조건에서 모평균의 95%신뢰구간은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{1}{k_1} &= \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} - \frac{3}{25}, \quad k_1 = 1.213 \\ \bar{y}(A_2, B_1, C_0, D_0) \pm k_1 \phi_0 \sqrt{\frac{F_{\alpha/2}}{k_1}} \\ &= 89.82 \pm 2.101 \sqrt{\frac{0.331}{1.213}} = (88.72, 90.92) \end{aligned}$$

(5) 최적조건에서의 인장실험

Fig. 6은 최적조건인 A2, B1, C0, D0의 수준값으로 인장시편을 제작하여 인장실험을 통하여 얻은 응력과 변형율의 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 위에서 추정된 최적조건에서의 인장강도가 모두 모평균 신뢰구간 안에 있음을 알 수 있다.

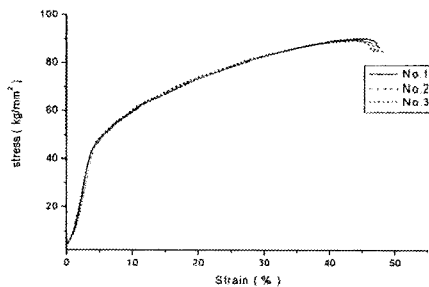


Fig. 6 Stress-strain curve of tensile experiments in optimum conditions

4. 결론

연구에서는 프로젝션 용접을 이용한 쾌속조형법으로 제작한 인장시편의 기계적 특성을 실험한 결과 공정변수가 제품의 품질에 다음과 같은 영향을 끼치는 것을 알 수 있었다.

1. 금속박판을 프로젝션용접을 이용하여 쾌속조형품을 제작 시 가장 중요한 공정변수는 재질이 다른 금속박판들의 조합임을 알 수 있다.
2. 위의 공정조건에서 최적의 조건은 전류(A)는 50cycle, 통전시간(B)은 55sec, 가압력(C)는 7MPa 이고 시편의 조합(D)은 SUS304로 구성하는 것이다. 또한, 최적 조건에서의 모평균은 89.82 이며,

모평균 95% 신뢰구간은 (88.72, 90.92)이다.

3. 가압력이 중간수준에서 인장강도가 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 가압력이 너무 크게되면 인장강도가 오히려 떨어짐을 알 수 있었다.
4. 시편의 재질이 다를 때의 경우 즉, ss41의 재질이 들어있는 시편일수록 인장강도가 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 재질의 낮은 강도가 원인이겠지만 인장실험 시 용접부위에서 약한 재질이 먼저 파단되는 영향도 많이 있는 것으로 보인다. 그러므로 돌기의 간격이 좁디 조밀할 필요성이 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 신민철, 양동열, "금속재료를 이용한 직접식 3차원 형상 제조 공정의 실험적 연구," 한국과학기술원, 1995.
2. 강상부, "Projection welding을 이용한 쾌속 3차원 조형법의 개발," 목포대학교, 2001.
3. 염영하, "용접공학," 동명사, pp. 138-147.
4. 김명준, "저항용접," 기문사 pp. 253-265.
5. 박성현, "다구찌방법을 중심으로 한 응용 실험계획법," 영지문화사, pp. 22-45.
6. 김재형, 김재정, "쾌속조형에서 직교배열표를 이용한 단면화," 한국정밀공학지, 제6호, 2000.
7. Madhav, S. Phadke, "Quality Engineering Using Robust Design," PTR Prentice-Hall Inc, New Jersey, pp 41-66, 1989.
8. 김영식, 박기철, "재료변수와 공정변수가 스탬핑 성형성에 미치는 영향," 대한기계학회논문집(A) 제20권, 제7호, p2246-2256, 2000.
9. Phadke, M. S., "Quality Engineering Using Robust Design, Prentice-Hall International Editions," 1989.
10. 이상복, "기초부터 현장까지 알기쉬운 다구찌기법," 창조사, pp 15-128, 2000.