

리드 프레임 타발공정의 전단특성에 관한 연구(Ⅱ) - 최적 전단 조건의 선정

서의권* · 임상현** · 심현보***

(2001년 8월 29일 접수)

A Study on the Characteristics of the Precision Blanking of Lead Frame (Ⅱ): Determination of Optimal Process Condition

E. K. Suh, S. H. Lim and H. B. Shim

Abstract

Using the Taguchi method, optimum process condition of lead frame blanking has been determined in the point of view of shape of blanked profile. As the main process parameters, clearance, strip holding pressure and bridge width are selected. According to the orthogonal array table, three levels of experiment have been carried out for each factor. The optimal blanking condition is analyzed with the SN ratio. It has been verified that the optimal process condition can be determined with a combination of basic blanking experiment and experiment design method. Both the effect of each factor and gain can be judged in the quantitative manner from the analysis of SN ratio.

Key Words : Lead Frame, Design of Experiment, Taguchi Method, Orthogonal Array Table

1. 서 론

리드 프레임(lead frame)은 반도체(IC) 칩(chip)을 지탱하는 골격으로 블랭킹(blanking), 노칭(notching), 피어싱(piercing), 트리밍(trimming) 등의 여러 공정이 순차적으로 이루어지는 프로그래시브(progressive) 금형에서 생산되는 초정밀 프레스 부품이다. 이러한 리드 프레임의 리드 폭 및 간격은 반도체의 집적도에 따라 달라지

만 현재 생산되는 리드프레임의 최소 리드 간격이 소재의 두께의 50%정도에 불과하기 때문에 블랭킹 가공시 리드의 뒤틀림, 편심, 프레임의 뒤틀림, 휨 등의 불량요인을 안고 있어 양호한 품질의 리드프레임의 생산을 위해서는 이에 대한 대책이 필요하다. 이를 위해서 금형의 초정밀가공 뿐만 아니라 설계단계에서도 리드 프레임 소재의 타발특성, 공정변수의 영향을 잘 파악하여 이들을 적절히 조합하고 기존의 경험과 비교하여 최적의 공

* 김천대학 컴퓨터제품설계과
** 영남이공대학 금속금형디자인과
*** 영남대학교 기계공학부

정 조건을 선정할 필요가 있다. 따라서 공정변수의 영향에 대한 정량적인 파악과 더불어 최적의 품질을 구현하기 위한 공정조건의 도출에 관한 연구가 필요하다.

실험계획법(design of experiment)⁽¹⁾은 실험결과에 영향을 미치는 요인들을 조사하기 위하여 실험의 배치와 실시, 그리고 얻어진 데이터를 통계적 방법으로 분석하는 기법으로 최소의 노력과 비용으로 최대의 정보, 즉 최적 실험조건을 찾아내는 기법이다. 특히 다구찌법(Taguchi method)⁽²⁾은 품질에 손실의 개념을 도입하여 산포의 최소화와 품질 특성치의 최적화를 동시에 이룰 수 있는 장점이 있어 생산현장에서 품질관리와 최적화 기법으로 널리 사용되고 있다. 이병찬 등⁽³⁾은 제품설계 및 공정설계 단계에서 다구찌법을 이용하여 설계목적에 가장 잘 부합하는 효과적인 설계변수의 조합을 획득할 수 있는 시뮬레이션 모듈을 개발하여 가전 제품의 박판 부품의 디프드로잉 공정에 적용하여 그 실용성을 알아보았다. 김동환 등⁽⁴⁾은 냉간 헤딩공정의 최적 예비성형체 설계에 다구찌법을 이용하고 신경망을 적용하여 최적설계변수의 조합을 선정하였다. 오재웅 등⁽⁵⁾은 소음기의 성능향상을 위하여 소음 저감 성능해석을 바탕으로 다구찌 방법과 실험계획법을 이용하여 각 인자의 영향을 파악하여 소음기의 소음 저감 성능향상을 위한 설계방법을 제시하였다. 백승엽 등⁽⁶⁾은 테일러드 블랭크 설계 인자가 신장플랜지 성형에 미치는 영향을 관찰하기 위해 다구찌 실험계획법을 적용하여 성형실험을 수행한 바가 있다.

본 연구는 리드프레임의 타발공정의 전단특성에 관한 연구에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 앞서 수행된 전단실험을 통한 전단공정인자의 정량적인 영향 조사⁽⁷⁾를 바탕으로 여기에 다구찌 실험계획법과 직교배열표(orthogonal array table)를 적용하여 최적 전단 조건을 도출하는 것을 목적으로 한다.

최적 전단 조건이라 함은 관점에 따라 금형 수명 또는 제품 품질로 서로 다르게 해석할 수 있다. 금형 수명의 관점에서는 금형수명 최대 조건이 되고, 제품 품질의 관점에서는 타발면 형상이 가장 좋아지는 조건, 즉 타발면에서 치짐(roll over)이 차지하는 비율이 최소이며, 전단면(burnish)이 차지하는 비율은 최대가 되는 조건이 된다. 본 연구에서는 리드 프레임의 열 및 전기적 통로로서의 기능을 원활하게 해주도록 하는 기능적인 측면을 고려하여 타발면 형상 최적조건을 최적 전단조건으로 설정하였다. 이렇게 도출된 최적조건을 현재의 공정조건과 비교하여 정량적인 이득도 함께 비교하였다.

2. 이 론

2.1 실험 계획

다구찌 실험계획법을 이용한 문제 해결 절차는 Fig. 1과 같다.

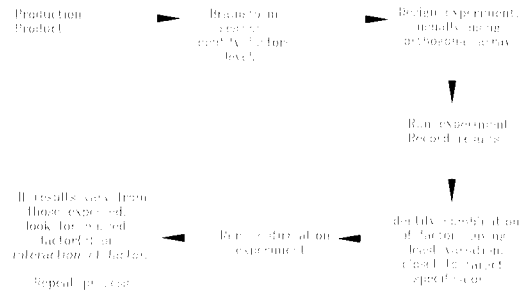


Fig. 1 Problem solving procedure using Taguchi method

이러한 다구찌 실험계획법에서는 품질을 정의할 때 제품이 출하된 후에 발생하는 기능의 산포에 의한 손실과 사용 코스트, 그리고 폐해항목에 의한 손실의 세가지 합으로 정의되는 손실함수(loss function)를 사용한다. 이 손실함수로부터 SN비 (signal to noise ratio)가 유도된다. 즉 측정값이 y 이고 목표값이 m 이라 할 때 $L(y)$ 로 정의되는 손실함수를 목표치 근처에서 Taylor 전개를 하면 다음 식과 같이 표현된다.⁽²⁾

$$L(y) = L(m) + L'(m)(y-m) + \frac{L''(m)}{2}(y-m)^2 + \dots \quad (1)$$

여기서 목표치에서의 손실 $L(m)$ 을 영으로 가정하고, 또 목표치에서의 손실이 최소가 되기 때문에 $L'(m) = 0$ 이 된다. 여기에 3차 이상의 고차항을 무시하면 손실함수는 다음 식과 같이 근사적으로 표현된다.

$$L(y) = k(y-m)^2 \quad (2)$$

이렇게 유도된 손실함수를 이용하여 다구찌 실험계획법에서는 품질 특성치를 망목 특성(nominal the better), 망소 특성(smaller the better), 망대 특성(larger the better)의 세 가지로 분류하고 각각의 SN비를 이용하여 주어진 데이터들을 분석하게 된다.

본 연구에서는 최적 전단조건으로 치짐의 비율이 최소이고 전단면의 비율이 최대인 특성치를 선정하였으므로

처짐은 작을수록 좋은 망소 특성으로, 전단면은 클수록 좋은 망대 특성으로 분석하였다. 식 (3)과 식 (4)는 처짐의 망소 특성과 전단면의 망대 특성에 대한 SN비를 나타낸다.

$$\text{처짐의 SN 비} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3)$$

$$\text{전단면의 SN 비} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (4)$$

여기서 n은 실험횟수로 본 연구에서는 4 번의 반복실험을 수행하였으며, 식 (3)의 y는 초기 소재두께에서 처짐이 차지하는 비율을, 식 (4)의 y는 전단면이 차지하는 비율을 의미한다.

2.2 인자 및 수준의 설정

리드프레임 타발공정에서 형상불량의 요인으로는 틱새의 크기, 금형 표면 거칠기, 인선부의 마모정도, 가공정밀도, 블랭킹 속도, 판 압축력, 커팅유, 펀치의 세장비, 리드의 폭 및 길이의 두께비 등 여러 가지 인자를 고려할 수 있다. 이들 인자들 중 틱새, 압축력, 잔폭 등의 3 가지 공정인자를 대상으로 이들 인자가 형상정밀도에 미치는 영향에 관한 연구는 이미 타발실험을 통하여 이루어졌고⁽⁷⁾, 본 연구에서는 이 실험결과를 바탕으로 최적전단조건을 도출하고자 하였으며, 이때 틱새, 압축력, 잔폭을 제어인자(설계인자)로 선정하고, 기타 인자는 잡음인자로 분류하였다.

Table 1 Factors and Levels for Experiment Design

Factor \ Level	Level #1	Level #2	Level #3
Clearance	4%	6%	8%
Pressure	5 N/mm ²	20(30*) N/mm ²	40(60*) N/mm ²
Bridge width	0.8 t	1.0 t	1.5 t

Note) * Alloy42

Table 1은 리드프레임 재료인 C194와 Alloy42에 대하여 실험계획법에서 채택한 설계인자와 각 인자의 수준을 나타내고 있다. 즉 본 실험계획에서는 각 재료에 대해 3 인자 3 수준으로 Table 2에서와 같이 L27 직교배열표를 사용하여 타발 실험을 수행하였다.

타발 시편의 형상은 10mm×10mm로 C194는 두께 0.205mm, Alloy42는 두께 0.201mm의 정사각형이며 실험에 관한 내용은 참고문헌⁽⁷⁾에 상세히 설명되어 있다.

Table 2 Orthogonal array of experiment

Factor No.	Clearance (%)	Pressure (N/mm ²)	Bridge width (t)
Case 1	4	5	0.8
Case 2	4	5	1.0
Case 3	4	5	1.5
Case 4	4	20(30*)	0.8
Case 5	4	20(30*)	1.0
Case 6	4	20(30*)	1.5
Case 7	4	40(60*)	0.8
Case 8	4	40(60*)	1.0
Case 9	4	40(60*)	1.5
Case 10	6	5	0.8
Case 11	6	5	1.0
Case 12	6	5	1.5
Case 13	6	20(30*)	0.8
Case 14	6	20(30*)	1.0
Case 15	6	20(30*)	1.5
Case 16	6	40(60*)	0.8
Case 17	6	40(60*)	1.0
Case 18	6	40(60*)	1.5
Case 19	8	5	0.8
Case 20	8	5	1.0
Case 21	8	5	1.5
Case 22	8	20(30*)	0.8
Case 23	8	20(30*)	1.0
Case 24	8	20(30*)	1.5
Case 25	8	40(60*)	0.8
Case 26	8	40(60*)	1.0
Case 27	8	40(60*)	1.5

Note) * Alloy42

3. 최적전단조건 선정

3.1 C194의 최적 전단 조건

C194 재질에 대하여 타발 실험을 4회 수행한 후 타발면의 형상을 광학식 측정기(Optical Gauging Product Co., resolution ; 0.5µm)를 사용하여 처짐, 전단면, 파단면의 크기를 측정하였다.⁽⁷⁾ 이렇게 측정된 결과를 평균하여 판두께에 대한 비율로 표현한 값과 역시 측정 결과를 식 (3)과 (4)에 적용하여 구한 처짐의 망소특성 SN비와 전단면의 망대특성 SN비, 그리고 이들 두 SN비의 합을 Table 3에 함께 나타내었다.

이 결과를 이용하여 구한 SN비 합의 수준별 요인효과표를 Table 4에 나타내었는데, SN비 합에 미치는 틱새의 기여율은 90.6%, 압축력은 4.8%, 잔폭은 4.5%로 나타났다. 즉 전단면의 형상에 미치는 영향은 틱새가 가장 크며, 압축력과 잔폭의 영향은 작다는 것을 알 수 있다.

Table 3 Results of experiment and SN ratio(C194)

Run	Roll over (%)	Burnish (%)	Fracture (%)	Roll over SN ratio	Burnish SN ratio	Sum of SN ratio
1	7.6	47.8	44.6	21.46	-6.51	14.95
2	7.7	47.5	44.8	22.29	-6.47	15.82
3	6.8	47.9	45.3	23.46	-6.59	16.87
4	8.2	46.4	45.4	21.15	-6.82	14.33
5	10.0	49.1	40.9	19.99	-6.18	13.80
6	8.4	47.5	44.1	21.44	-6.49	14.96
7	7.5	47.7	44.8	22.35	-6.63	15.72
8	7.8	48.6	43.6	22.08	-6.27	15.80
9	6.7	47.5	45.8	23.41	-6.48	16.93
10	12.1	45.4	42.5	18.29	6.88	11.41
11	14.3	42.8	42.9	16.86	7.40	9.46
12	14.2	43.4	42.4	16.91	-7.26	9.65
13	12.1	44.7	43.2	17.69	-7.00	10.69
14	11.3	44.5	44.2	18.81	-7.06	11.75
15	11.6	46.7	41.7	18.65	-6.62	12.04
16	11.1	47.1	41.8	19.06	-6.94	12.12
17	11.6	44.9	43.5	18.71	-6.98	11.73
18	11.6	44.6	43.8	18.70	-7.01	11.69
19	9.8	49.6	40.6	20.13	-6.13	14.00
20	9.2	49.9	40.9	20.75	-6.05	14.70
21	10.3	48.5	41.2	19.68	6.31	13.38
22	9.9	47.5	42.6	20.15	-6.46	13.69
23	7.3	47.1	45.6	22.50	-6.53	15.97
24	8.1	44.3	47.6	21.79	-7.08	14.72
25	10.2	44.1	45.7	19.75	-7.14	12.61
26	10.6	42.6	46.8	19.44	-7.42	12.02
27	11.9	43.6	44.5	18.47	-7.24	11.23

SN비 합이 클수록 전단면의 형상이 양호해지기 때문에 Table 4의 요인효과표로부터 틈새는 1 수준일 때 최대값인 15.47로, 압축력은 2 수준일 때 최대값인 13.55로, 그리고 잔폭은 3 수준일 때 13.49로 나타나 최적전단 조건은 틈새가 4%, 압축력은 20 N/mm², 잔폭은 1.5t일 때로 나타났다.

현재 리드프레임 타발에 적용하고 있는 공정조건은 틈새 6%, 압축력 20N/mm²로 각각 제 2수준, 그리고 잔폭은 두께의 1.5배로 3수준을 적용하고 있는데 이 현행 조건과 최적공정조건을 비교하면 식 (5)의 계산과 같이 최적 조건이 현재 적용하고 있는 공정조건에 비하여 4.3 dB의 이득, 37.8%의 SN비 향상이 이루어짐을 알 수 있다. 그리고 압축력이나 잔폭에서는 수준에 따른 SN비의 차이가 나타나지 않으나 틈새의 경우 1수준과 2수준에서 큰 차이를 보이고 있어 현행공정과 비교하여 최적공정조건을 현행공정과 비교하여 이득이 나는 것은 틈새의 변화에 주로 기인하는 것으로 사료된다.

$$\begin{aligned} \text{최적조건} &= A_1+B_2+C_3-(2 \times T) = 15.69 \text{ db} \\ \text{현행조건} &= A_2+B_2+C_3-(2 \times T) = 11.39 \text{ db} \\ \text{이득} &= 15.69 - 11.39 = 4.3 \text{ db} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 A, B, C는 각각 틈새, 압축력, 잔폭의 공정인자의 SN비를 의미하고, 숫자는 수준을 나타낸다. 즉, A1은 틈새 1 수준에 해당하는 SN비를 표시한다. 또한 T는 SN비의 평균이다.

Table 4 Contribution of the factors on the SN ratio (C194)

Factor Level	clearance	pressure	bridge
1	15.47	13.36	13.28
2	11.17	13.55	13.45
3	13.59	13.32	13.49
range	4.29	0.23	0.21
contribution	90.6%	4.8%	4.5%

다음으로 치짐만이 최소가 되는 상태와 전단면이 최대가 되는 조건을 각각 구하여 보았다. Table 5는 치짐에 미치는 공정인자의 기여율을 표시하였는데 틈새의 영향이 92.7%, 압축력의 영향이 0.5%, 그리고 잔폭의 영향이 6.8%로 나타났다. 이는 앞서의 치짐과 전단면을 함께 고려했을 때보다 틈새와 잔폭의 영향이 조금 더 증가하고 있음을 알 수 있고 아울러 치짐 최소 공정조건은 틈새는 1 수준(4%), 압축력은 2 수준(20 N/mm²), 잔폭은 3 수준(1.5t)일 때로 추정할 수 있다.

Table-5 Contribution of the factors on minimum roll over condition (C194)

Factor Level	clearance	pressure	bridge
1	21.96	19.98	20.00
2	18.19	20.24	20.16
3	20.30	20.22	20.28
range	3.77	0.02	0.28
contribution	92.7%	0.5%	6.8%

Table 6은 전단면에 미치는 공정인자의 기여율을 나타내었는데 틈새의 영향이 59.3%, 압축력의 영향이 31.7%, 잔폭의 영향이 9.0%로 나타났다. 즉 전단면 최대 조건은 치짐 최소조건에 비하여 틈새의 영향은 줄어들고 압축력의 영향이 상대적으로 크게 나타났으며 아울러 전단면 최대 조건은 틈새와 압축력은 1 수준, 그리고 잔폭은 2 수준으로 나타나 틈새가 4%, 압축력이 5N/mm², 잔폭은 1.0t 일 때로 나타났다.

Table 6 Contribution of the factors on maximum burnish condition (C194)

Level	Factor	clearance	pressure	bridge
1		-6.49	-6.62	-6.72
2		-7.02	-6.69	-6.71
3		-6.71	-6.90	-6.79
	range	0.52	0.28	0.08
	contribution	59.3%	31.7%	9.0%

3.2 Alloy42의 최적 전단 조건

앞서의 C194의 최적 조건의 선정과정과 마찬가지로 Alloy42 재질에 대하여도 동일한 타발실험을 수행한 후 Table 7과 같이 SN비를 구하였다.

이로부터 구한 각 공정인자의 기여율은 Table 8의 요인효과표로부터 틈새의 영향이 81.9%, 압축력의 영향이 12.7%, 잔폭의 영향이 5.4%로 나타났다. C194재질과 마찬가지로 틈새가 가장 큰 영향을 미치는 공정인자로 나타났다. 그러나 압축력의 기여율도 C194에 비하여 크다는 것을 알 수 있고 최적 공정조건은 틈새는 1 수준(4%), 압축력은 1 수준(5 N/mm²), 잔폭은 2 수준(1.0t)으로 나타났다.

현재 Alloy42 재질의 리드프레임 타발에 적용하고 있는 공정조건은 틈새 6%, 압축력 30N/mm²로 각각 제 2 수준, 그리고 잔폭은 두께의 1.5배로 3수준을 적용하고 있는데 이 현행 조건과 최적공정조건을 비교하면 식 (6)의 계산결과와 같이 최적 조건이 현재 적용하고 있는 공정조건에 비하여 4.42 dB의 이득, 37.2%의 SN비 향상이 이루어짐을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{최적조건} &= A1+B1+C2-(2 \times T) = 16.29 \text{ db} \\ \text{현행조건} &= A2+B2+C3-(2 \times T) = 11.87 \text{ db} \\ \text{이득} &= 16.29 - 11.87 = 4.42 \text{ db} \end{aligned} \quad (6)$$

다음으로 치짐이 최소가 되는 조건과 전단면이 최대가 되는 조건을 각각 구하였다. Table 9는 치짐에 영향을 미치는 공정인자의 기여율을 표시하였는데 틈새의 영향이 75.0%, 압축력의 영향이 13.0%, 잔폭의 영향이 12.0%로 나타났다. 치짐에 영향을 주는 가장 큰 인자는 틈새로 나타났다. 그러나 C194 재질은 압축력과 잔폭의 영향이 거의 없었던 것이 비하면 Alloy 재질은 상당한 정도의 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 치짐이 가장 작은 조건은 틈새 1 수준(4%), 압축력 3 수준(60 N/mm²), 잔폭 2 수준(1.0t)으로 나타났다.

Table 7 Results of experiment and SN ratio (Alloy42)

Run	Roll over (%)	Burnish (%)	Fracture (%)	Roll over SN ratio	Burnish SN ratio	Sum of SN ratio
1	8.5	58.5	33.0	20.91	-4.74	16.17
2	8.4	55.9	35.7	21.51	-5.07	16.44
3	8.4	54.9	36.7	22.10	-5.21	16.89
4	9.7	52.5	37.8	19.78	-5.61	14.16
5	9.1	52.1	38.8	20.47	-5.63	14.84
6	9.5	54.7	35.8	20.44	-5.26	15.17
7	8.4	57.2	34.4	21.08	-4.85	16.23
8	8.2	57.3	34.6	21.68	-4.86	16.82
9	8.0	55.0	37.0	21.80	-5.22	16.58
10	12.4	53.5	34.1	18.13	-5.47	12.66
11	12.7	47.7	39.6	17.94	-6.45	11.49
12	13.6	45.3	41.1	17.17	-6.29	10.88
13	12.7	53.3	34.0	17.87	-5.50	12.37
14	11.3	52.2	36.5	18.89	-5.66	13.22
15	11.4	50.3	38.3	18.80	-5.99	12.81
16	11.6	49.9	38.5	17.96	-6.05	11.91
17	11.7	51.3	37.0	18.61	-5.81	12.80
18	11.7	50.6	37.7	18.61	-5.97	12.64
19	11.7	56.3	32.0	18.65	-5.00	13.65
20	11.1	51.8	37.1	19.02	-5.72	13.30
21	12.4	52.6	35.0	18.08	-5.63	12.45
22	12.5	52.3	35.2	18.05	-5.70	12.35
23	13.1	52.4	34.5	17.64	-5.68	11.96
24	12.7	50.2	37.1	17.90	-6.00	11.90
25	13.0	49.4	37.6	17.74	-6.14	11.60
26	11.8	52.3	35.9	18.56	-5.63	12.93
27	11.3	50.6	38.1	18.26	-5.94	12.32

Table 8 Effect of factors on SN ratio (Alloy42)

Level	Factor	clearance	pressure	bridge
1		15.92	13.77	13.46
2		12.31	13.20	13.76
3		12.50	13.76	13.52
	range	3.61	0.56	0.24
	contribution	81.9%	12.7%	5.4%

Table 10은 전단면에 미치는 공정인자의 기여율을 나타내었는데 틈새의 영향이 63.4%, 압축력의 영향이 13.7%, 잔폭의 영향이 22.9%로 나타나 전단면에 가장 크게 영향을 주는 인자는 역시 틈새이나 앞서의 결과와는 달리 잔폭의 영향이 압축력의 영향보다 크게 나타나고 있다. 아울러 전단면 최대 조건은 틈새는 1 수준(6%), 압축력은 1 수준(5 N/mm²), 잔폭은 1 수준(0.8t)일 때로 나타났다.

Table 9 Effect of the factors on minimum roll over (Alloy42)

Level \ Factor	clearance	pressure	bridge
1	21.08	19.28	18.91
2	18.22	18.87	19.37
3	18.21	19.37	19.24
range	2.87	0.50	0.46
contribution	75.0%	13.0%	12.0%

Table 10 Effect of the factors on maximum burnish (Alloy42)

Level \ Factor	clearance	pressure	bridge
1	-5.16	-5.51	-5.45
2	-5.91	-5.67	-5.61
3	-5.72	-5.61	-5.72
range	0.75	0.16	0.27
contribution	63.4%	13.7%	22.9%

4. 결론

본 연구에서는 리드프레임의 최적 타발조건을 선정하기 위해 다구찌 실험계획법을 적용하여 기초실험을 수행한 후 이 결과로부터 최적 타발조건을 선정하였다. 틸새, 압축력, 잔폭의 세 가지 제어인자에 대하여 전체 타발면 형상 최적, 치짐 최소, 전단면 최대 조건을 SN비의 계산으로부터 각각 구하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) C194에서는 전단면의 형상에는 압축력과 잔폭의 영향이 미미한 반면 틸새의 영향이 가장 크게 나타났다.

(2) Alloy42의 경우는 압축력과 잔폭의 영향이 틸새에 비하여 작은 편이나, C194의 경우보다는 약간 높게 나타났다.

(3) 요인효과표 분석을 통하여 최적공정조건의 선정뿐만 아니라 최적조건의 이득을 정량적으로 계산할 수 있다.

(4) C194 및 Alloy42에서 치짐이 최소인 전단조건과 전단면이 최대인 전단조건을 각각 분리하여 각각의 경우에 대한 최적조건을 선정할 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2001년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원 되었음.

참 고 문 헌

- (1) 박동규, 1999, "최신 실험계획법", 기전연구소, pp. 13~14.
- (2) Taguchi G., 1986, "Introduction to quality engineering: Designing quality into products and processes ", Asian Productivity Organization, pp. 97~112.
- (3) 이병찬, 문재호, 강연식, 양동열, 1997, "다구찌방법을 이용한 디프드로잉 공정의 가공성평가에 관한 연구 ", 한국정밀공학회지, 제14권 제11호, pp. 17~24.
- (4) 김동환, 김동진, 고대철, 김병민, 최재찬, 1998, "가공성을 고려한 다단계 금속성형공정의 예비성형체 설계방법: 다구찌 방법을 이용한 신경망의 적용", 대한기계학회논문집 A권, 제22권 제9호, pp. 1615~1624.
- (5) 오재용, 차경준, 이규태, 진정언, 1999, "다구찌 방법과 실험계획법을 이용한 소음기의 설계 방법", 한국자동차공학회논문집, 제7권 제5호, pp. 121~129.
- (6) 백승엽, 권재욱, 이경돈, 2000, "다구찌법을 이용한 테일러드 블랭크의 신장플랜지 성형에 미치는 설계인자의 영향 분석", 한국소성가공학회지, 제9권 제4호, pp. 339~347.
- (7) 임상현, 서의권, 심현보, 2001, "리드 프레임 타발공정의 전단특성에 관한 연구(I) - 전단 공정 인자의 영향", 한국소성가공학회지, 제10권 제5호, pp. 425~432.