

유한요소해석과 다구찌 방법을 이용한 클린치 스티드의 설계 최적화

변홍석^{1*}, 김강연¹
¹울산과학기술대학교 기계공학부

Optimization Design of the Clinch Stud using the Finite Element Analysis and the Taguchi Method

Hong-Seok Byun^{1*} and Gang-Yeon Kim¹

¹School of Mechanical Engineering, Ulsan College

요 약 본 연구에서는 유한요소해석과 다구찌 방법을 통해 높은 토크 저항력과 결합력을 갖는 클린치 스티드를 설계할 때 이에 영향을 미치는 설계 변수들의 적합한 조건을 도출하였다. 목적함수로 최대성형하중과 소재의 충만율을 고려하였으며 설계변수로 홈 높이, 로브 직경, 로브 높이 그리고 홈 깊이를 선정하였고 이들 제어인자와 마찰을 잡음 인자로 하여 직교배열표를 조합하고 실험횟수별 유한요소해석을 통해 성형하중과 충만율을 평가하였다. 그리고 다구찌 방법의 S/N비를 이용하여 시뮬레이션결과를 해석하였고, 이들 해석결과로부터 최적의 조합조건을 제안하였다. 충만율에 가장 큰 영향을 주는 인자는 로브 높이, 홈 높이, 로브 직경 그리고 홈 깊이 순임을 확인하였다.

Abstract This study derives the optimal conditions for design parameters of clinch stud with high torque resistance and bonding force by using FE simulation and Taguchi method. Maximum forming load and filled rate of material are considered as objective functions. Height and depth of groove with diameter and depth of lobe are chosen as design parameters. These control factors and the friction considered as noise factor are combined by orthogonal array. Forming load and filled rate are evaluated through the simulation. Simulation results are analyzed by using the ratio of signal to noise through Taguchi method. From these results, their optimal combination conditions are proposed. In the order of the most important parameter which affects filled rate, there are the height of lobe, the height of groove, the radius of lobe and the depth of groove.

Key Words : Clinch Stud, FE Simulation, Filled Rate, Forming Load, Taguchi Method

1. 서론

기계요소부품 중 스티드 볼트는 부품을 결합할 때 많이 사용되는 요소부품으로서 자동차, 산업기계, 조선해양, 플랜트, 건축, 토목 등 다양한 산업분야에 사용되고 있다. 이러한 볼트는 외부의 다양한 환경 조건과 기계적 강도를 만족하기 위해서 단조, 전조, 가공 등 다양한 방법으로 제조되고 있다. 여러 종류의 스티드 중에서 클린치 스티드는 일반 볼트와 달리 판재의 구멍속으로 스티드를

삽입하여 표준 프레스로 가압하여 스티드와 판재가 일체가 되도록 결합되는 볼트로서 높은 토크 저항력과 높은 결합력을 요구하는 판재에 체결용으로 사용된다.

클린치 스티드는 볼트머리 하부에 몇 개의 로브(lobe)와 원형의 홈, 그리고 리브(rib) 등의 형상으로 구성되는데 이는 금속의 소성유동이 효과적으로 되도록 하여 체결시 요구되는 높은 결합력과 토크를 만족할 수 있도록 하기 위함이다.

따라서 이러한 조건을 만족하기 위해서는 구성요소의

본 논문은 2013년 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Hong-Seok Byun(Ulsan College)

Tel: +82-52-279-3127 email: hsbyun@uc.ac.kr

Received April 10, 2013

Revised (1st April 24, 2013, 2nd April 29, 2013)

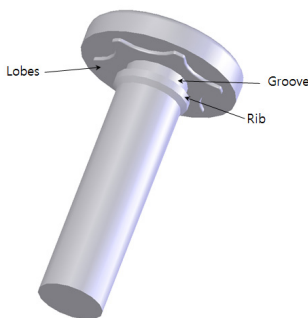
Accepted July 11, 2013

변수 즉, 로브, 홈 및 리브의 형상 변수를 어떻게 설계를 하는가가 매우 중요한 부분이라 할 수 있다. 그런데 이러한 설계변수로 인하여 금속유동에 의한 결합, 재료의 파손 또는 재료의 미충만, 금형 파손 등 공정설계의 문제에 직면하게 되며 이러한 결합 발생을 방지하기 위해서는 주요한 설계 변수를 고려하는 것이 매우 중요하다. 다양한 설계 변수들의 결정문제와 최적변수의 값을 찾는 것이 재료 성형공정에서 매우 중요하고 이를 위해 유한요소해석은 매우 유용한 설계, 해석 도구로서 중요한 설계 정보를 제공한다. 그리고, 유한요소해석에 다구찌 기법을 적용하여 최적 설계 변수를 찾는 것이 제품 설계 공정에 많이 이용되고 있으며 이와 관련된 연구가 많이 진행되고 있다. 몇몇 관련된 연구를 살펴보면, 여러 가지 설계변수에 대한 해답을 찾기 위해서 유한요소해석을 통해 최소한의 시행착오적 시뮬레이션 절차를 수행하여, 공정의 최적화에 대한 연구가 수행된 바가 있다[1,2]. 또한 피스톤의 단조공정 설계 변수 최적화를 위해 다구찌 기법을 적용한 연구가 수행되었고[3] 알루미늄 주조 공정의 강건 설계를 위해 다구찌 기법을 적용하여 주조공정의 최적 변수를 설계하였고[4], 황동의 인발 공정 최적화를 위해 다구찌 기법과 유한요소해석을 통해 인발 공정의 최적 설계 값을 찾는 연구가 수행된 바가 있다[5].

본 연구에서는 금속의 성형공정해석에 많이 사용되는 유한요소해석과 설계 최적화에 적용되는 다구찌 방법을 적용하여 설계자의 직관적 설계를 탈피하여 클린치 스티드의 주요 설계 변수의 최적 값을 제시하고자 하였다. 목적함수로서 최대 성형하중과 스티드 홈에 재료의 충만율(filled rate)을 두고, 이에 영향을 미치는 설계변수를 선정하여 최적의 설계변수 값을 제안하고자 하였다.

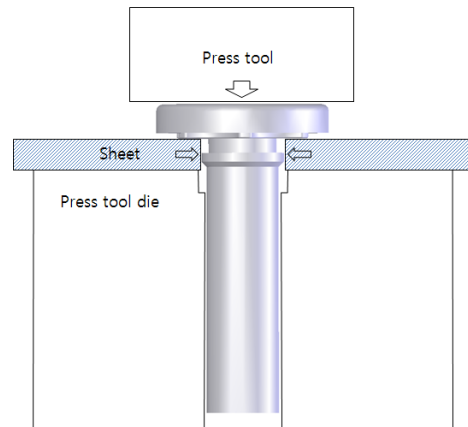
2. 유한요소해석

2.1 클린치 스티드



[Fig. 1] 3D model of clinch stud

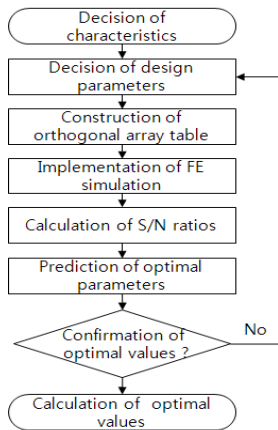
Fig. 1처럼 클린치 스티드는 일반 스티드와 달리 볼트 머리 아래에 돌출된 로브와 홈, 나사산 부위에 돌출된 리브로 구성되어 있는 것이 특징이다. 스티드의 주요 용도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 적당한 판재 구멍에 클린치 스티드를 삽입하고 프레스를 가압하여 재료가 홈으로 유동이 일어나 충전되도록 하여 높은 토크(회전) 저항력과 결합력을 갖게 하여 판재 제품에 안전하게 결합하도록 한다. 또한 결합된 판재에 추가적으로 플라스틱 등 다양한 판재나 부품을 덧붙여 결합하거나 조립을 할 수 있다.



[Fig. 2] Installation of clinch stud with sheet

2.2 설계절차

클린치 스티드가 판재와 결합될 때 높은 토크 저항력과 결합력을 가지기 위해서는 재료의 유동이 고르게 일어나야 하고 스티드의 홈에 가능한 많은 판재 재료가 채워져야 한다. 이르기 위해서는 클린치 스티드의 특징적 형상 정보를 요구조건에 맞게 설계하는 것이 매우 중요하다. 제품에 응력을 미치는 정도와 제품 형상 변형 정도를 고려하여 파괴가 이루어지지 않도록 주요 형상을 결정하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 따라서 스티드의 기능에 영향을 주는 특징 형상을 설계변수로서 선정하고 다구찌 방법과 유한요소해석을 적용하여 스티드의 최적 설계 변수를 도출하고자 하였다. Fig. 3에 보여지는 것처럼 먼저, 스티드의 설계 변수를 선정하고 수준을 결정하여 직교배열표를 구성한다. 직교배열표의 실험순서에 따라 유한요소해석을 수행하고 목적함수의 값을 분석한다. 이로부터 S/N비를 계산하고 최적변수를 예측한다. 예측된 최적 변수의 설계조합으로부터 다시 S/N비를 계산하고 이전 값에 비해 높으면 수락하고 최적 설계 변수 조합으로 결정한다.



[Fig. 3] Procedure for designing optimal parameters using FE simulation and Taguchi method

2.3 성형해석

본 연구의 성형해석을 위해 범용 강소성 유한요소해석 도구인 DEFORMTM-3D을 사용하였다. 이 해석도구는 금속성형 해석을 위해 많이 사용되고 있으며 이를 통해 수행된 많은 연구문헌들[6-8]을 찾아볼 수 있다.

클린치 스티드의 해석은 그 대칭성을 고려하여 1/6형상에 대하여 해석이 수행되었다. 소재와 금형의 마찰조건은 접촉면에 일정전단마찰이 작용하는 것으로 하였고, 마찰계수는 냉간단조일 경우에 있어서 전형적으로 0.08-0.15를 사용함으로 여기서는 0.12를 책정하였다.

[Table 1] Conditions for FE simulation

Conditions	Data
Tool velocity(mm/s)	100
Friction Coefficient	0.12
Thickness of material(mm)	3
Number of element	10737
Material	AISI-1045

판재소재의 격자의 크기는 모든 해석공정에 동일하게 하였으며, 금형은 강체로 보고 소재의 탄성변형은 무시하였다. Table 1은 성형해석에 사용된 해석조건을 나타내고, 해석에 사용된 소재는 AISI 1045이다.

3. 다구찌 방법 적용

다구찌 방법은 가장 널리 알려지고 사용되고 있는 강건 설계 방법 중의 하나이다. 다구찌 방법의 기초적 원리

는 최소한의 실험으로부터 여러 가지 설계 변수의 설계 조합에 대한 효과와 개별 변수에 대한 효과를 해석하는 것이다. 이 방법의 목적은 외적 잡음인자(noise factor)들을 실험에 포함시켜 최적조건을 도출하여 잡음에 둔감한 인자를 발견해냄으로써 강건설계가 될 수 있게 하는 것이다.

다구찌 방법은 여러 가지 변수의 현 변화를 양적화하기 위해 일반적인 S/N(Signal to noise)비를 채택한다. S/N 비는 품질의 특성치에 의존하고 망목특성(NB:nominal is best), 망대특성(HB:higher is better), 망소특성(LB:lower is better)의 3가지로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 목적함수를 최대 성형하중과 재료의 흠 충만율(filled rate)로 하고 이때 최대 성형하중은 유한요소해석 결과에서 나타난 최대값이다. 성형하중은 망소특성, 충만율은 망대특성으로 하였으며 이에 의해 각각 S/N비가 아래와 같이 주어진다.

$$(S/N)_{LB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

$$(S/N)_{HB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2)$$

여기서, n 은 잡음인자를 고려하여 동일 설계변수 조건하에 수행한 시뮬레이션 반복 횟수를 나타내며, y 는 특성치를 나타낸다.

위의 식(1),(2)는 S/N 반응표와 반응그래프를 구성하기 위해서 적용된다. 또한, 설계변수의 상대적 중요도를 결정하고 최적 변수 조합을 획득하기 위해 평균분석(analysis of mean)이 사용된다.

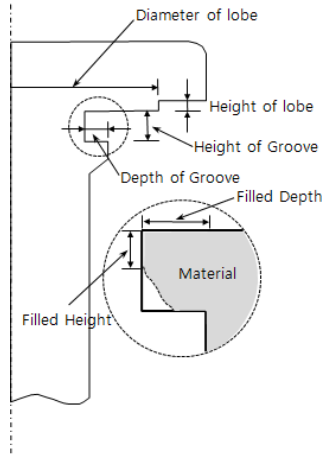
$$M_{j,i} = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{L_j} (S/N)_{j,i} \quad (3)$$

수준 i 에 대해 j 번째 인자의 평균 S/N비는 아래와 같이 주어진다. 여기서, n_j 는 직교배열표에서 j 번째 인자에 나타나는 수준 i 의 수이고, $(S/N)_{j,i}$ 는 수준 i 의 j 번째 인자 S/N비를 의미한다.

3.1 목적함수

본 연구에서는 스티드 제품의 최적 설계를 위하여 단조시 금형의 파손이나 마멸 등에 큰 영향을 미치는 최대 성형하중을 목적함수로 선정하였고, 이를 최소화하는 설계 변수의 조합을 구하고자 하였다. 또한 판재와 결합될 때 스티드의 높은 결합력과 뒤틀림에 대한 저항력을 갖

기 위해서는 스테드 홈의 재료 충만성이 매우 중요함으로 홈의 충만율을 목적함수로 하여 이를 최대화하는 설계변수조합을 구하고 최대 성형하중의 특성값과 비교하였다.



[Fig. 4] Section view of clinch stud and filled area

Fig. 4은 클린치 스테드의 단면 형상과 스테드 홈에 재료의 충만상태를 보여주고 있다.

$$FR = \frac{1}{2} \left(\frac{Filled\ Depth}{Depth\ of\ Groove} + \frac{Filled\ Height}{Height\ of\ Groove} \right) \times 100(\%) \quad (4)$$

[Table 2] Design parameters and levels

Factors	Description	Level 1	Level 2	Level 3
A	Height of groove(mm)	1.0	1.5	2.0
B	Diameter of lobe(mm)	16.0	20.0	23.0
C	Height of lobe(mm)	0.5	1.0	1.5
D	Depth of groove(mm)	0.25	0.5	1.0

[Table 3] S/N ratios for forming load

Experiment Number	Factors				Forming load(kN)		S/N
	A	B	C	D	y1	y2	
1	1	1	1	1	68.7	70.1	-36.83
2	1	2	2	2	71.1	72.0	-37.09
3	1	3	3	3	80.8	81.3	-38.18
4	2	1	2	3	76.9	79.1	-37.84
5	2	2	3	1	91.0	101.0	-39.66
6	2	3	1	2	74.4	75.2	-37.48
7	3	1	3	2	64.2	68.8	-36.46
8	3	2	1	3	72.3	72.9	-37.22
9	3	3	2	1	73.5	78.7	-37.63

그리고, 스테드의 홈 충만율은 식(4)와 같이 정의한다.

3.2 변수선정

스테드와 판재 제품을 결합할 때 특성치에 영향을 주는 설계변수는 Fig. 4에서 보듯이 로브 직경(또는 로브 반경), 로브 높이, 홈 깊이 그리고 홈 높이이므로 이 네 가지 인자를 직교배열표에서 제어인자로 선정하였다. 모든 인자는 3수준으로 적용하였고, 잡음인자는 금형과 소재의 접촉면에 발생하는 마찰로 하였으며 2수준 설정하여 설계변수의 영향을 살펴보고자 하였다. Table 2는 네 가지 제어인자에 대한 각각 3수준을 나타내고 있다.

설계변수가 4개이고 3수준이므로 직교배열표 $L_9(3^4)$ 를 선택하였다. 인자 A,B,C,D는 설계에 영향을 미치는 설계변수로 할당하고 잡음인자 2수준을 마찰계수의 -5%(0.114) 와 +5%(0.126) 오차로 두고 유한요소해석을 각각 수행하였으며 인자간 교호작용은 무시하였다.

4. 해석결과

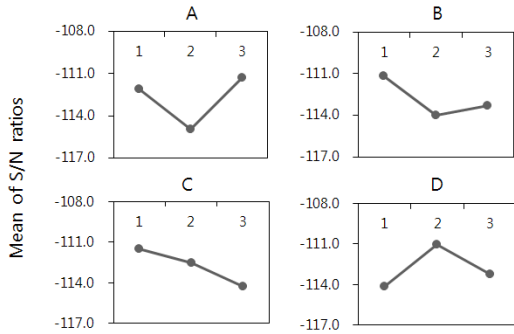
4.1 최대성형하중에 대한 최적설계

스테드의 설계변수인 로브 직경, 로브 높이, 홈 깊이 및 홈 높이를 제어인자로 하고 마찰을 잡음인자로하여 최대성형하중을 목적함수로 한 직교배열표와 유한요소해석의 최대성형 하중과 이를 S/N비로 변환시킨 데이터가 Table 3에서 보여주고 있다.

Table 4는 S/N비의 분석을 통해 각 인자의 영향도를 나타냈으며, Fig. 5는 Table 4의 인자별 수준에 대한 분석 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5의 분석결과로부터 S/N비를 최대가 되게 하는 각 인자의 수준을 찾을 수 있으며 따라서 최적 설계변수조합은 A₃B₁C₁D₂임을 알 수 있었다.

[Table 4] Factor response table for S/N ratios of forming load

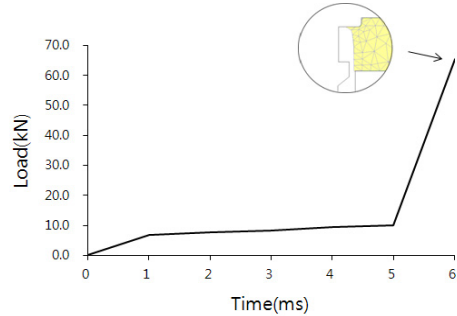
Factor	A	B	C	D
Level 1	-112.10	-111.13	-111.52	-114.12
Level 2	-114.98	-113.97	-112.57	-111.03
Level 3	-111.31	-113.29	-114.29	-113.24
Diff	3.66	2.84	2.77	3.09
Rank	1	3	4	2



[Fig. 5] Main Effects for S/N ratios of forming load

결과에 의하면 제어인자 A가 최대성형하중에 가장 큰 영향을 미치는 인자이고, 다음으로 D, B, C 순임을 알 수 있었다. 최적 설계변수조합 조건으로 유한요소해석을 수행해 보면 최대성형하중이 최소화되고 이 때 S/N비값이

-36.35이 예측된다. 이 때 성형하중의 변화는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 나타난다. 다이의 스트로크가 작을수록 재료유동이 적으므로 성형하중이 낮아지는 것을 알 수 있다.



[Fig. 6] Forming load and filled rate of groove (A₃B₁C₁D₂)

그러나, 최종단계에서 최대성형하중이 이전 실험조건과 비교하여 개선되지만 식 (4)에서 스티드 홈 재료 충만율을 계산해보면 0에 가까운 것을 알 수 있으며, Fig.6에서 마지막 단계의 재료 충만율을 보여주고 있다. 이것은 다이의 스트로크가 로브 높이의 설계변수에 의존함으로 더 이상 증가할 수 없기 때문이다. 즉, 최대성형하중을 최소화시키는 로브 높이가 수준 1인 0.5mm(스트로크 시간: 6ms)이므로 스트로크가 짧아서 홈에 재료의 충만이 이루어지지 않아 스티드의 기능 즉, 높은 토크 저항력과 결합력을 가지지 못함을 알 수 있다.

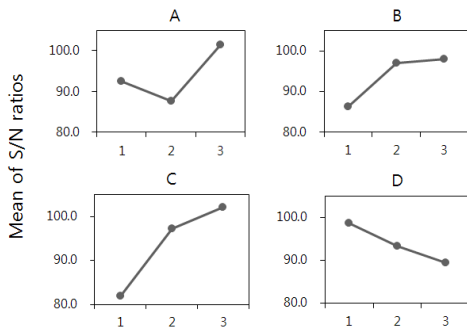
4.2 소재 충만율에 대한 최적설계

스티드의 홈에 재료의 충만율을 목적함수로 한 직교배열표와 유한요소해석을 통해 획득한 재료 충만율의 S/N비 데이터가 Table 5에서 보여주고 있다.

[Table 5] S/N ratios for filled rate of groove

Experiment Number	Factors				FR(%)		S/N
	A	B	C	D	y1	y2	
1	1	1	1	1	21.0	19.0	25.99
2	1	2	2	2	44.3	44.2	32.92
3	1	3	3	3	47.6	47.5	33.54
4	2	1	2	3	22.7	19.6	26.44
5	2	2	3	1	58.7	50.6	34.68
6	2	3	1	2	21.4	20.6	26.44
7	3	1	3	2	50.0	50.0	33.98
8	3	2	1	3	29.7	29.5	29.43
9	3	3	2	1	79.3	79.3	37.99

재료의 충만율값에 대한 S/N비의 분석한 결과를 각 인자별 수준에 대한 S/N비 효과도로 나타내면 Fig. 7과 같이 표현된다. Fig. 7의 결과로부터 S/N비가 최대가 되는 각 인자의 수준을 찾으면 목적함수의 재료 충만율을 최대화할 수 있다. 따라서, 최적 설계변수조합은 A₃B₃C₃D₁과 같이 예측할 수 있다. 즉, 홈 높이는 2mm이고, 로브 직경은 23mm이며, 로브높이는 1.5mm이다. 또한 홈 깊이는 0.25mm임을 알 수 있다. 이때의 S/N비는 38.81으로 예측되었다.

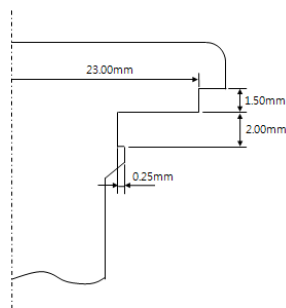


[Fig. 7] Main Effects for S/N ratios of filled rate

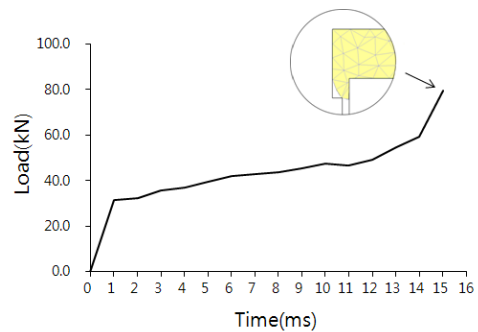
[Table 6] Factor response table for S/N ratios of filled rate

Factor	A	B	C	D
Level 1	92.45	86.40	81.85	98.65
Level 2	87.56	97.02	97.34	93.34
Level 3	101.39	97.97	102.20	89.40
Diff	13.83	11.56	20.35	9.25
Rank	2	3	1	4

그리고, Table 6의 결과로부터 제어인자 C가 충만율에 가장 큰 영향을 주는 인자이고 다음으로 A, B, D순임을 알 수 있었다. 이들의 최적 설계값으로 표시된 도면을 Fig. 8에서 보여주고 있다.



[Fig. 8] Drawing of clinch stud with combined design parameters



[Fig. 9] Forming load and filled rate of groove (A₃B₃C₃D₁)

Fig. 9는 충만율을 최대화하는 최적 설계변수조합으로 유한요소해석을 통해 획득한 성형하중의 변화와 스티드 홈 부위의 재료 충만율을 보여준다. 목적함수를 최대성형하중으로 했을 때와 비교하여 단조하중은 증가하지만 스티드의 홈 재료 충만율은 매우 높은 것을 알 수 있었다. 이때 최종단계에서의 스트로크 시간은 15ms이고 충만율을 최대화하는 로브 높이가 수준 3인 1.5mm만큼 다이가 하강했을 때를 나타낸다. 이 결과로부터 충만율로 예측된 최적의 변수조합이 최적 설계값으로서 높은 토크 저항력과 재료의 결합력이 가지는 스티드로서 기능을 수행할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 유한요소해석과 다구찌 방법을 이용해 높은 토크 저항력과 결합력이 가지는 클린치 스티드에 영향을 미치는 최적 설계 변수를 분석하였으며 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 최대성형하중을 최소화하는데 있어서 제어인자에 대한 S/N비 분석결과 스티드의 홈 높이가 가장 큰 영향을 주는 인자이고, 홈 깊이, 로브 직경 그리고 로브 높이 순으로 영향을 주는 인자임을 알 수 있었으나, 최대성형하중을 최소화를 위한 최적수준조합은 스티드의 기능을 고려하면 효율적인 조합이 아님을 확인하였다.
- 2) 스티드의 제 기능을 수행하기 위해서는 소재의 충만율이 중요한 품질특성치로 볼 수 있으며, 다구찌 방법의 S/N비를 이용해 설계 변수들이 미치는 영향을 분석한 결과, 충만율에 가장 큰 영향을 주는 인자는 로브 높이이며 다음으로 홈 높이, 로브 직경 그리고 홈 깊이인 것을 확인하였다.

- 3) 최적의 설계조합은 홈 높이 3수준(2mm), 로브 직경 3수준(23mm), 로브 높이 3수준(1.5mm) 그리고 홈 깊이 1수준(0.25mm)임을 알 수 있었고, 판재와 결합시 요구되는 단조하중을 예측하였다.

References

- [1] D. H. Kim, D. J. Kim, D. C. Ko, B. M. Kim and J. C. Choi, "Design Methodology of Preform in Multi-Stage Metal Forming Processes Considering Workability : Application of Artificial Neural Network by the Taguchi Method", Trans. of the KSME(A), Vol. 22, No. 9, pp.1615-1624, 1998.
- [2] S. K. Lee, J. E. Lee and B. M. Kim, "Optimization of Dies Angles to Improve the Dimensional Accuracy and Straightness of the Shaped Drawn Product based on the FE Simulation and the Taguchi Method", Trans. of the KSME(A), Vol. 32, No. 6, pp.474-480, 2008.
- [3] H. Y. You, "A Study on the Forming Conditions of a Forging Piston by using the Finite Element Simulation and the Taguchi Method", Journal of the KAIS, Vol. 13, No. 5, pp.1990-1995, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.5.1990>
- [4] D. H. Wu and M. S. Chang, "Use of Taguchi method to develop a robust design for the magnesium alloy die casting process", Material Science and Engineering A, Vol. 379, pp.366-371, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2004.03.006>
- [5] D. C. Chen and J. Y. Huang, "Design of brass alloy drawing process using Taguchi method", Material Science and Engineering A, Vol. 464, pp.135-140, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2007.01.139>
- [6] H. S. Byun, "Finite Element Analysis for the Forging Process Design of a Blind Rivet", Journal of the KAIS, Vol. 10, No. 10, pp.2577-2582, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2009.10.10.2577>
- [7] C. B. Wang, D. H. Song and Y. B. Park, "Finite Element Analysis of TEE forming for HDPE Pipe", Journal of the KAIS, Vol. 7, No. 3, pp.298-307, 2006.
- [8] J. R. Cho, Y. S. Joo and Y. H. Kim, "Characteristic Analysis of Powder Forging Processes for Engine Pistons by Finite Element analysis", Trans. of the KSME(A), Vol. 24, No. 8, pp.2042-2049, 2000.

변 흥 석(Hong-Seok Byun)

[정회원]



- 1999년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 광주과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 2월 ~ 2008년 2월 : 국방과학연구소
- 2008년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 기계공학부 조교수

<관심분야>

패속조형, 소성가공, CAD/RE

김 강 연(Gang Yeon Kim)

[정회원]



- 2002년 8월 : 광주과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 광주과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 2011년 1월 ~ 2011년 8월 : LG전자 생산기술원
- 2011년 9월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 기계공학부 조교수

<관심분야>

머신비전, CAD/CAM, 설비운용S/W개발