

클린칭 접합력 향상을 위한 금형 형상변수의 영향도 평가

김재영¹ · 이찬주¹ · 이상곤² · 고대철³ · 김병민[#]

Effect of Shape Parameters of Tool on Improvement of Joining Strength in Clinching

J. Y. Kim, C. J. Lee, S. K. Lee, D. C. Ko, B. M. Kim

(Received May 26, 2009 / Revised July 13, 2009 / Accepted July 15, 2009)

Abstract

Clinching is a method of joining sheet metals together. This process can be substituted for the resistance spot welding on the joining of aluminum alloys. However, the joining strength of the clinching is lower than that of welding and riveting. The objective of this paper is to evaluate the effect of shape parameters of tools on the joining strength of the clinching and to optimize clinching tools. Twelve parameters have been selected as shape parameters on the clinching tools such as punch and die. The design of experiments (DOE) method is employed to investigate the effect of the shape parameters of tools on the joining strength of the clinching. The neck thickness and undercut of the clinched sheet metal after the clinching, and the separation load at detaching are estimated from the result of FEA using DEFORM. Optimal combination of shape parameters to maximize the joining strength of clinching is determined on the basis of the result of DOE and FEA. In order to validate the result of DOE and FEA, the experiment of clinching is performed for the optimal combination of shape parameters. It is shown from the result of the experiment that optimization of shape parameters improves the joining strength of clinching.

Key Words : Clinching, Undercut, Neck Thickness, Separation Load, Joining Strength, Optimization, FEA, DOE

1. 서 론

자동차의 배기 가스 저감 및 연비 향상을 위해 차량 구조물의 경량화에 많은 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 자동차 산업에서 폭넓게 사용되고 있는 기존의 스틸 재료는 점차 알루미늄 합금과 마그네슘 합금 등으로 대체되고 있는 추세이다. 스틸 재료의 차체 판재 접합(sheet joining)에는 주로 저항 점 용접(resistance spot welding)이 사용되고 있으나, 경량화 소재인 알루미늄 합금에 용접을 사용할 경우 높은 열전도성과 표면 산화층의 변질로 인하여 용접하기가 쉽지 않은 문제점이 있다[1]. 이에 대한 대처 방안으로 클린칭 공정

(clinching process)이 주목을 받고 있다[2].

클린칭 공정은 두 겹 이상의 판재를 가압하여 기계적인 결합을 유도하는 접합 방법으로 소재를 가압하는 펀치(punch)와 링 형태의 그루브(groove)를 포함한 다이(die)가 사용된다. 현재 클린칭 공정은 냉장고, 세탁기 등 가전제품의 판넬 접합에 사용되며, 차체용 판재 접합에도 응용되고 있다[3]. 클린칭 공정은 상온 상태에서 행해지므로 열변형을 수반하지 않으며, 저항 점 용접에 비해 빠른 속도로 제품을 생산할 수 있으므로 대량생산에 유리하며, 생산비용이 낮은 장점이 있다[4]. 그러나, 저항 점 용접이나 셀프 피어싱 리벳(self piercing rivet) 등 다른 접합 공정에 비해 접합력

1. 부산대학교 대학원 기계공학부 정밀가공시스템 전공

2. PNU-IFAM 국제공동연구소

3. 부산대학교 부품소재산업협력연구소

교신저자: 부산대학교 기계공학부, bmkim@pusan.ac.kr

이 낮은 단점이 있다[5].

이와 같은 문제점을 극복하기 위해 클린칭의 접합력 향상을 위한 연구가 다방면으로 진행되었다. Varis 등[6]은 펀치형상의 변화에 따른 클린칭 전단하중을 평가하였고, 원형 펀치를 사용할 때 높은 접합력을 얻을 수 있다는 결론을 내렸다. Lee 등[7]은 펀치 및 다이 직경과 상·하판 두께 조합을 고려하여 클린칭 접합이 가능한 영역을 펀치 및 다이 직경비와 판 두께비로 표시하였다. Paula 등[8]은 펀치와 다이 형상을 변화시키면서 클린칭 접합력에 직접적으로 영향을 주는 언더컷(undercut; UC)과 목두께(neck thickness; NT)의 형성을 관찰하였다. Oudjene 등[9]은 다구찌 기법(Taguchi method)을 사용하여 분리하중(separation load)에 대한 클린칭 금형 형상변수의 영향도를 평가하고, 변수 수준을 최적설계하였다. 그러나 현재까지 수행된 클린칭 공정의 최적설계에 관한 연구는 클린칭 접합강도에 대해 영향도가 낮은 금형 형상변수가 다소 높게 평가되어 있으며, 클린칭 금형의 형상변수를 다양하게 고려하지 못한 문제점이 있다. 실제 클린칭에서는 펀치 형상, 다이 그루브 형상 및 다이 깊이 등이 접합강도에 상당한 영향을 주므로 다양한 클린칭 금형의 형상변수와 접합강도와의 관계를 파악하고, 접합강도 향상을 위한 금형 형상변수의 최적화에 관한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 Al5052의 클린칭 접합에서 목두께, 언더컷 및 분리하중과 같은 클린칭 평가인자에 대한 12개의 금형 형상변수의 영향도를 분석하고, 형상변수를 최적화하여 클린칭 접합의 분리하중을 향상시키는데 있다. 금형 형상변수의 영향을 파악하고 이를 최적화하기 위해 실험계획법과 유한요소해석을 이용하였으며, 실험을 통해 해석 결과의 신뢰성을 검증해 보았다. 또한, 실험계획법의 분산분석을 통해 도출된 최적의 금형 형상변수 조합으로 실험을 수행하여 클린칭 접합력이 향상되었음을 입증하고자 한다.

2. 클린칭 최적화 방법

2.1 최적설계 절차

본 연구에서 접합력이 큰 클린칭 형상을 얻기 위한 최적설계는 다음과 같은 절차에 따라 수행된다.

Step 1) 클린칭 평가인자에 대한 금형 형상의 영향을 파악하기 위하여 클린칭 펀치 및 다이

의 주요 형상을 변수로 선정한다.

- Step 2) 선정된 변수를 각각 3수준(level)으로 정의하고, 다구찌 실험계획법을 사용하여 실험 조건을 직교배열표에 나타낸다.
- Step 3) 직교배열표 상의 형상변수 조합에 대하여 클린칭 공정을 유한요소해석하고, 해석결과로부터 접합부의 목두께와 언더컷을 측정한다.
- Step 4) 클린칭으로 접합된 소재의 분리과정을 유한요소해석하고, 해석결과로부터 분리하중을 측정한다.
- Step 5) Step 3), 4)의 결과로부터 실험계획법의 분산분석을 수행하여 클린칭 평가인자에 대한 금형 형상변수의 영향도를 평가한다.
- Step 6) 분리하중의 분산분석에서 99.0(%) 신뢰성 구간을 만족시키는 금형 형상변수에 대해 가장 큰 분리하중을 나타내는 변수 수준으로 최적의 금형 형상변수 조합을 선정한다.
- Step 7) 선정된 최적의 금형 형상변수 조합으로 실험을 수행하여 해석결과의 타당성을 검증한다.

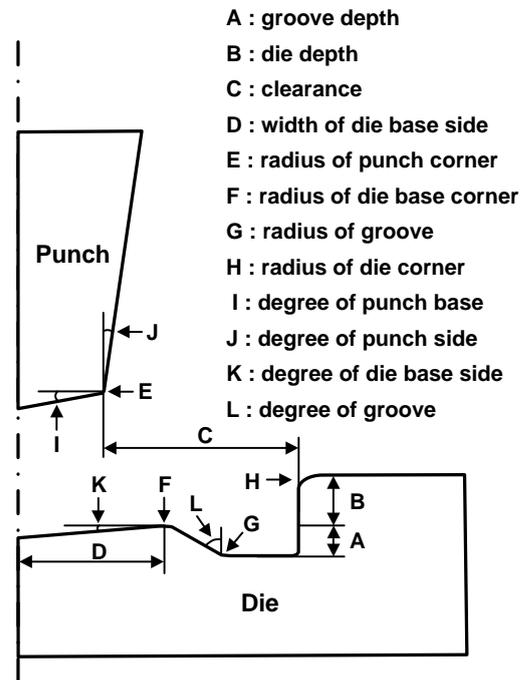


Fig. 1 Shape parameters of clenching tool

2.2 금형 형상변수와 평가인자

본 연구에서는 실제 클린칭 공정과 기존 연구를 참고하여[8~10], Fig. 1과 같이 금형 형상변수를 정의하였다. 일반적으로 클린칭 금형 형상의 주요 변수로 알려진 간극(C), 다이 깊이(B)와 펀치 코너 반경(E) 등을 고려하였으며, 클린칭 성형하중과 소재유동에 영향을 주는 것으로 판단되는 펀치 밀면(I)·옆면 기울기(J), 다이 밀면 폭(D)·각도(K), 다이 코너 반경(H) 등을 선정하였다. 또한, 언더컷, 목두께와 같은 접합부 형상에 중요한 역할을 하는 그루브 형상과 관련하여 다이 밀면 코너 반경(F), 그루브 각도(L)·반경(G)·깊이(A)를 변수로 설정하였다.

또한, 클린칭 평가인자는 Fig. 2와 같이 클린칭 접합력에 가장 큰 영향을 주는 접합부의 목두께와 언더컷으로 선정하였다. 목두께와 언더컷은 클린칭 공정의 유한요소해석 결과를 이용하여 접합된 소재 단면에서 측정하였다. 목두께는 클린칭 접합부에서 상판 소재의 가장 얇은 부분의 두께를 나타내며, 목두께가 일정량 이상 얇아지게 되면 목과괴(neck fracture) 또는 네킹(necking)을 발생하여 분리하중이 감소되므로 접합력을 저하시키는 원인이 된다. 언더컷은 상판 소재가 하판 소재 쪽으로 삽입된 양을 의미하며, 목과괴가 일어나지 않는 범위 내에서 언더컷이 증가하면 접합력이 향상된다[8].

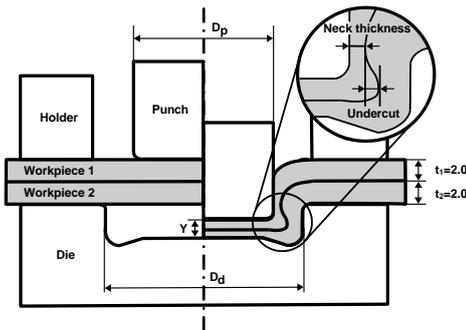


Fig. 2 Cinching process and joint geometry

2.3 클린칭 공정해석

공정해석은 클린칭 성형해석과 분리하중해석의 2단계로 나뉘며, DEFORM[10]을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구의 클린칭 공정에 사용된 소재는 두께 2.0(mm)의 Al5052이며, 기계적 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 Mechanical properties of Al5052

Yield strength (MPa)	132.08
Tensile strength (MPa)	262.08
Strength coefficient (MPa)	358.86
Work-hardening exponent	0.162

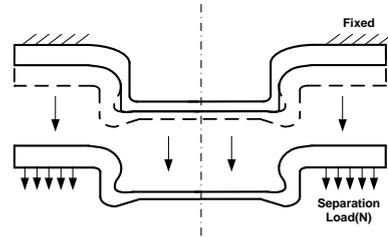


Fig. 3 Determination of separation load at detaching

Fig. 2와 같은 클린칭 공정을 유한요소해석하기 위해 축대칭 모델로 가정하여 해석하였고, 펀치, 다이 및 홀더는 소성변형이 없는 강체로 가정하였다. 상·하판 소재 사이의 마찰상수(m)는 0.4, 소재와 금형 사이의 마찰상수는 0.12로 가정하였다[11]. 일반적인 클린칭 공정에서 바닥면 두께(Fig. 2의 Y)는 변형 전 소재 두께의 40(%)이하로 설정하므로[12], 본 논문의 해석에서는 변형 전 소재 두께의 30(%)가 되는 1.2(mm) 지점까지 소재를 가압하도록 펀치행정을 제한하였다.

실제 클린칭 분리하중의 측정은 인장시험과 유사한 방식으로 수행된다. 따라서 본 연구의 유한요소해석에서는 Fig. 3과 같이 지그(jig)에 고정되는 범위만큼 상판 소재를 구속하고 반대쪽 하판 소재를 수직 방향으로 하강시켰다. 이 과정에서 하판 소재가 언더컷에 소성변형을 가하면서 분리가 일어나게 되는데, 이 때 구해지는 최대하중을 분리하중으로 고려하였다.

2.4 실험계획법

Fig. 1에 나타난 금형의 형상변수와 그 수준값을 Table 2에 나타내었다. 금형 형상변수의 특성을 파악하기 위해서는 많은 실험 횟수가 필요하다. 따라서, 적은 실험 횟수로 변수 간의 반복 효과를 극대화하고, 신뢰성을 가지는 실험을 하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 클린칭 공정의 최적설계를 위하여 실험의 경제성과 분석 결과의 재현성이 높은 다구찌 실험계획법을 이용하였다. 모든 변수조합을 고려하기 위해 $L_{27}(3^{12})$ 직교배열표가

Table 2 Levels of design parameters in clinching

Parameters Levels	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	1	0.7	1.2	1.4	2.3	0.1	0.48	0.42	0.33	2.2	3.16	1.8
2	0.8	1.4	1.5	2.4	0.2	0.58	0.52	0.43	3.2	4.16	2.4	50
3	0.9	1.6	1.6	2.5	0.3	0.68	0.62	0.53	4.2	5.16	3.0	55

Table 3 $L_{27}(3^{12})$ Orthogonal array table and the results of FEA

Trial No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	NT(mm)	UC(mm)	Separation Load(N)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.376	0.169	2210
2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	0.467	0.168	2200
3	3	3	1	3	3	3	3	1	1	3	3	1	0.374	0.167	1590
4	3	2	1	1	1	2	3	2	2	1	2	2	0.345	0.159	1500
5	1	3	1	2	2	3	1	2	2	2	3	2	0.349	0.176	2060
6	2	1	1	3	3	1	2	2	2	3	1	2	0.463	0.117	1630
7	2	3	1	1	1	3	2	3	3	1	3	3	0.330	0.178	1760
8	3	1	1	2	2	1	3	3	3	2	1	3	0.445	0.103	996
9	1	2	1	3	3	2	1	3	3	3	2	3	0.423	0.109	1590
10	1	2	2	3	1	3	2	1	2	2	1	3	0.371	0.163	1350
11	2	3	2	1	2	1	3	1	2	3	2	3	0.337	0.125	1520
12	3	1	2	2	3	2	1	1	2	1	3	3	0.435	0.119	1630
13	3	3	2	3	1	1	1	2	3	2	2	1	0.343	0.168	1790
14	1	1	2	1	2	2	2	2	3	3	3	1	0.414	0.092	1040
15	2	2	2	2	3	3	3	2	3	1	1	1	0.404	0.085	1400
16	2	1	2	3	1	2	3	3	1	2	3	2	0.409	0.173	2090
17	3	2	2	1	2	3	1	3	1	3	1	2	0.381	0.112	1300
18	1	3	2	2	3	1	2	3	1	1	2	2	0.357	0.143	1250
19	1	3	3	2	1	2	3	1	3	3	1	2	0.316	0.119	1250
20	2	1	3	3	2	3	1	1	3	1	2	2	0.423	0.117	1020
21	3	2	3	1	3	1	2	1	3	2	3	2	0.400	0.082	1230
22	3	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	3	0.405	0.115	1560
23	1	2	3	3	2	1	3	2	1	1	3	3	0.366	0.165	1560
24	2	3	3	1	3	2	1	2	1	2	1	3	0.352	0.078	662
25	2	2	3	2	1	1	1	3	2	3	3	1	0.354	0.139	1120
26	3	3	3	3	2	2	2	3	2	1	1	1	0.333	0.124	1400
27	1	1	3	1	3	3	3	3	2	2	2	1	0.435	0.072	1060

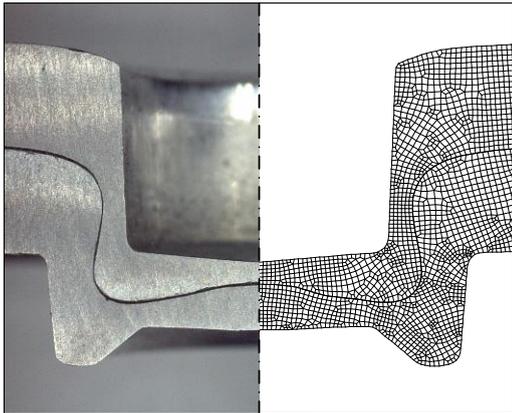


Fig. 4 Comparison between the cross sectional shapes of experiment & FEA on joint geometry

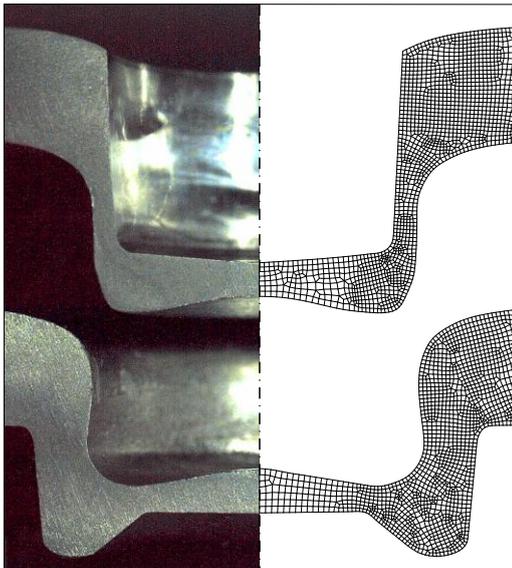


Fig. 5 Comparison between the cross sectional shapes of experiment and FEA at detaching

Table 4 Measurement of evaluation parameter

Evaluation Parameter	EXP	FEA
Neck Thickness(mm)	0.441	0.467
Undercut(mm)	0.162	0.168
Separation Load(N)	2112.25	2200.17

이용되었으며, 각 변수조합에 대한 클린칭 평가 인자의 유한요소해석 결과를 Table 3에 나타내었다.

2.5 실험에 의한 해석 결과의 검증

유한요소해석의 신뢰성을 검증하기 위해 직교 배열표 상의 두 번째 조건에 대한 실험을 수행하였다. 클린칭 성형실험에는 10(ton) 용량의 프레스가 사용되었고, 펀치와 다이는 해석 조건과 동일한 형상으로 제작하였다. 분리하중을 실험으로 구하기 위해 5(ton) 용량의 인장시험기를 사용하였다. 실험과 해석으로 구한 클린칭 접합형상 및 분리형상을 Fig. 4와 5에 비교하여 나타내었으며, 두 결과가 상당히 유사함을 볼 수 있다. 또한, 클린칭 평가인자에 관한 실험 및 해석결과를 Table 4에 정량적으로 비교하여 나타내었다. 평가인자에 대한 실험과 해석결과의 최대 오차가 약 5%이므로 이상의 결과로부터 본 연구의 유한요소해석 결과가 상당히 타당함을 알 수 있다.

3. 영향도 분석

3.1 목두께 영향도 평가

목두께에 관한 금형 형상변수의 영향도 평가 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 분산분석 시 99.0(%)의 신뢰도 구간을 만족시키는 형상변수인 다이 깊이와 펀치 코너 반경이 목두께 형성에 큰 영향이 있음을 확인할 수 있다. 다이 깊이는 1수준에서 0.42(mm)의 목두께를 형성하였고, 3수준에서의 목두께 0.34(mm)와 큰 차이를 보였다. 클린칭 성형의 초기 단계에서 상판 소재는 펀치에 가압되어 전단 형태로 변형하게 되며, 이 과정은 하판 소재가 다이 밑면에 닿을 때까지 계속된다. 따라서 다이 깊이가 증가하면 상판 소재에 가해지는 전단 응력이 증가하여 펀치 가장자리에서의 큰 소성변형으로 목두께가 얇아지게 되므로, 적절한 다이 깊이의 선정이 요구된다. 두 번째로 큰 영향을 주는 형상변수인 펀치 코너 반경은 수준이 증가함에 따라 목두께가 증가하는데, 이는 펀치 반경이 증가함에 따라 전단 응력이 감소하여 발생하는 결과라고 판단된다.

또한, 다이 밑면 폭, 간극, 다이 밑면 각도, 펀치 측면 각도 등의 순서대로 목두께 형성에 영향이 있음을 확인하였다.

3.2 언더컷 영향도 평가

Fig. 7에 언더컷에 관한 영향도 평가 결과를 나타내었다. 분산분석 시 99.0(%)의 신뢰성 구간에

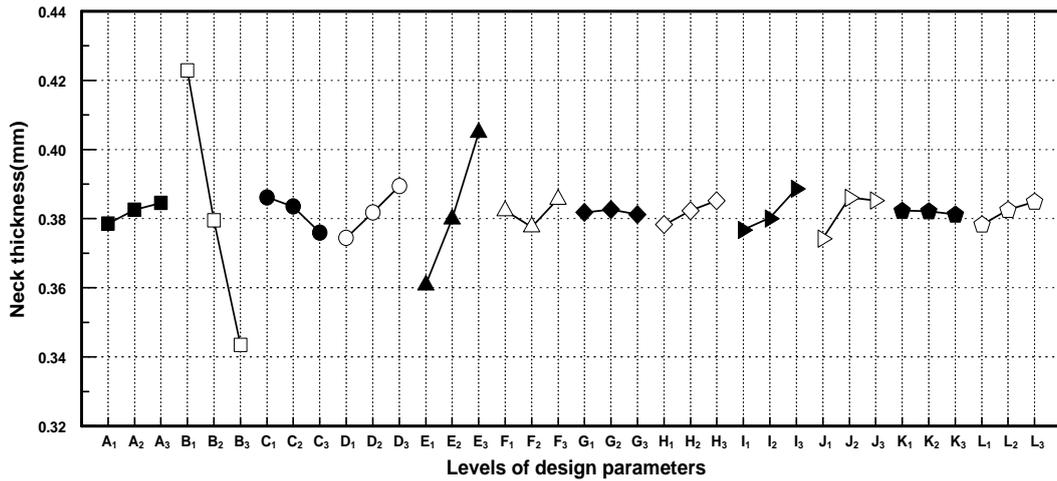


Fig. 6 Average effect of parameter levels on the neck thickness

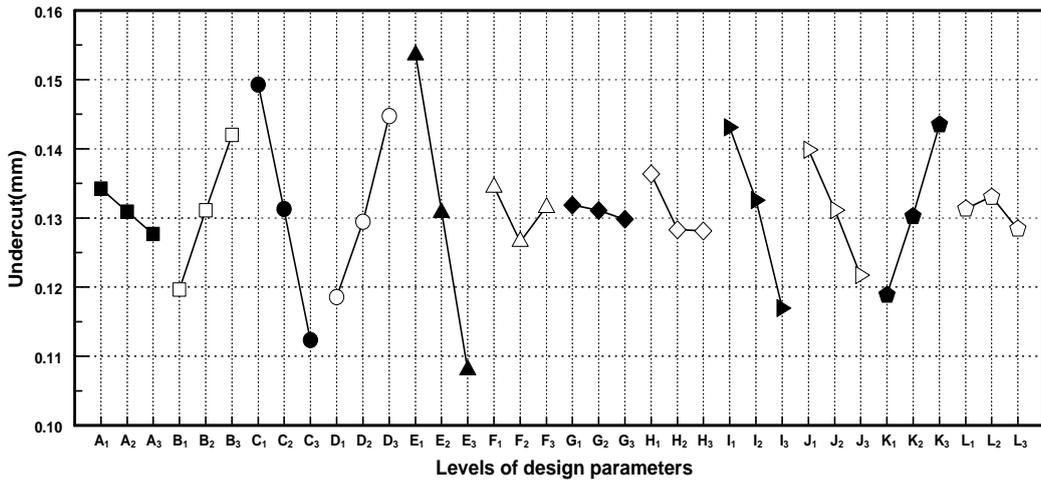


Fig. 7 Average effect of parameter levels on the undercut

서 펀치 코너 반경, 간극, 다이 밀면 폭 및 각도, 펀치 밀면 각도가 큰 영향도를 나타내었다. 펀치 코너 반경은 1수준에서 가장 큰 0.15(mm)의 언더컷을 형성하는데, 이는 펀치 코너 반경의 감소에 따른 전단 응력의 증가로 야기되는 상판 소재의 원주방향 유동 때문에 나타난 결과라고 판단된다. 펀치 코너 반경의 감소는 언더컷 형성에 긍정적인 역할을 하는 반면에 목두께 형성을 저해하므로, 펀치 코너 반경의 적절한 선정이 필요함을 알 수 있다. 또한, 간극이 감소함에 따라 언더컷이 증가함을 볼 수 있다. 간극이 감소하면 다이 공동부 체적이 감소하므로 다이 공동부에서 소재 충만이 빨리 일어나게 된다. 이후 소재의 원주방향

유동으로 인하여 언더컷이 증가하게 된다. Fig. 6과 7에서 볼 수 있듯이 간극은 목두께 형성에 큰 영향을 주지 않으므로 언더컷을 조절할 수 있는 주요 형상변수로 판단된다.

한편, 다이 밀면 폭이 증가함에 따라 그루브 공동부 체적이 감소하므로 하판 소재가 빠르게 그루브 공동부를 충전하게 되고, 상판 소재가 유입됨에 따라 언더컷이 크게 형성된다. 또한, 다이 밀면 각도가 증가함에 따라 펀치 행정거리가 증가하므로 소재는 상대적으로 더 큰 압력을 받아 변형하게 되며, 그 결과 큰 언더컷이 형성된다. 마지막으로 펀치 밀면 각도가 감소하면 다이 공동부 체적이 감소하여 큰 언더컷을 형성하게 되

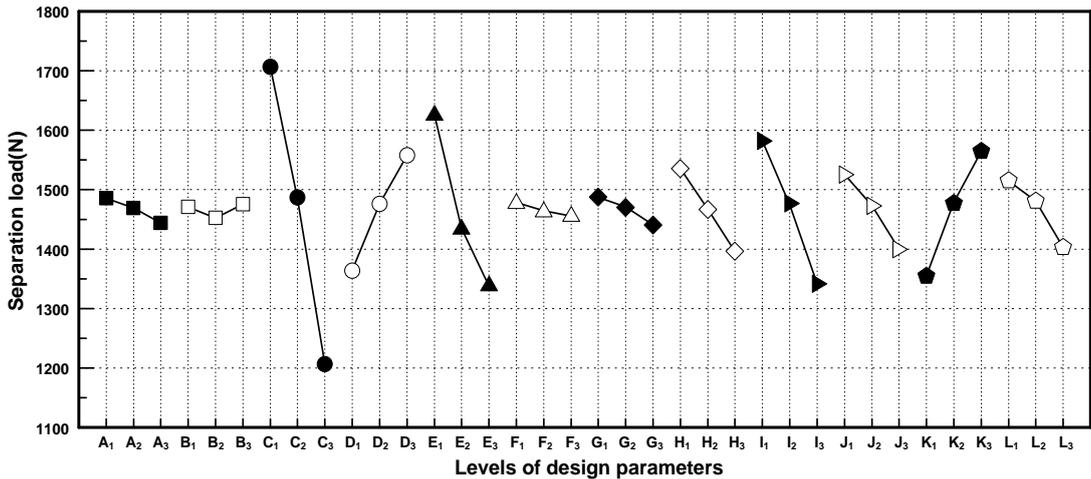


Fig. 8 Average effect of parameter levels on the separation load

며, Fig. 7에서 다이 깊이, 펀치 옆면 각도 등도 언더컷 형성과 관계가 있음을 확인할 수 있다.

3.3 분리하중 영향도 평가

분리하중에 대한 영향도 평가 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 99.0(%)의 신뢰도 구간에서 간극, 펀치 코너 반경, 다이 밀면 각도, 펀치 밀면 각도, 다이 밀면 폭의 순서대로 영향도가 크게 나타났다. 간극의 경우 1수준에서 1706(N), 3수준에서 1207(N)의 분리하중을 나타내었으며, 가장 큰 영향도를 보였다. 간극, 펀치 코너 반경 및 펀치 밀면 각도가 감소할수록, 다이 밀면 폭 및 각도가 증가할수록 분리 하중이 증가함을 Fig. 8에서 관찰할 수 있다.

Fig. 7과 8에서 분리하중에 큰 영향을 주는 금형 형상변수는 언더컷 형성에 관여하는 변수와 일치함을 볼 수 있다. 또한, 이들 형상변수의 수준 변화에 따른 언더컷 및 분리하중의 영향이 동일한 경향을 나타낸다.

따라서, 클린칭 분리하중은 언더컷 형성과 밀접한 관계가 있으므로 클린칭 접합력의 향상을 위해서는 큰 언더컷을 형성할 수 있는 간극, 펀치 코너 반경, 다이와 펀치 밀면 각도, 다이 밀면 폭 등의 금형 형상변수를 최적화하는 것이 중요하다.

4. 최적 클린칭 금형설계 및 검증

클린칭 접합력의 향상을 위하여 분리하중에 큰

Table 5 Optimized shape parameters of clinching tool

Shape parameter	C	E	K	I	D
Level	1	1	1	3	3
Dimension	1.4	0.1	2.2	3.0	2.5

영향을 미치는 간극, 펀치 코너 반경, 다이 밀면 각도, 펀치 밀면 각도, 다이 밀면 폭 등의 5가지 금형 형상변수의 수준을 최적화하였다. 각 금형 형상변수에 대해 최대의 분리하중을 나타내는 수준을 선택하였으며, 최적 형상변수 조합을 Table 5에 나타내었다.

클린칭 접합력의 향상을 검증하기 위해 Table 5에 나타낸 클린칭 금형의 최적 형상변수 조합으로 펀치 및 다이를 제작하였다. 펀치 및 다이의 재질은 SKD11이며, TiCN 코팅처리를 하여 내마멸성을 증대시켰다. 클린칭 성형 및 분리실험은 2.5절에서 언급된 것과 동일한 실험 장비를 이용하였다.

클린칭 접합형상 단면에 관한 실험결과를 Fig. 9에 나타내었다. 목두께는 0.39(mm), 언더컷은 0.23(mm)로 측정되었다. 목두께는 목파괴 또는 네킹이 일어나지 않는 두께 범위에서 형성되었으며, 언더컷은 직교배열표 상의 최대 언더컷인 0.18(mm)보다 크게 형성되었다. 분리실험으로 구한 하중 변화 그래프를 Fig. 10에 나타내었으며, 분리하중은 2530(N)로 측정되었다. 직교배열표 상의 최대 하중인 2210(N)보다 14.5(%) 향상되었음을 확인할 수 있으며, 이로부터 본 연구의 최적설계가 유용함을 확인할 수 있다.

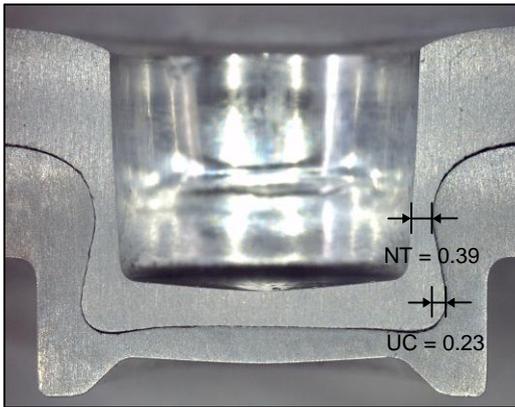


Fig. 9 Experimental result of joint geometry under optimal design

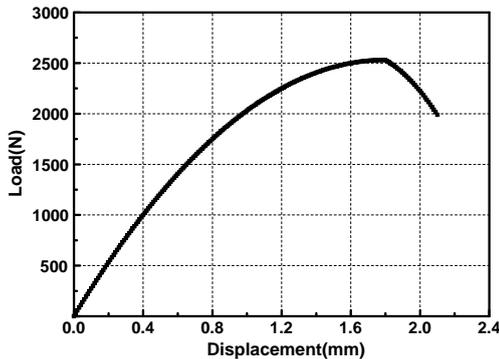


Fig.10 Variation of separation load under optimal design

5. 결론

본 연구에서는 Al5052의 클린칭 접합에서 접합력 향상을 위해 실험계획법과 유한요소법을 이용하여 클린칭 평가인자에 대한 금형 형상변수의 영향도를 분석하고 이로부터 금형 형상변수를 최적화하였다. 클린칭 평가인자에 대한 분산분석의 결과로부터 다이 깊이, 펀치 코너 반경은 목두께 형성에 큰 영향을 미치며, 펀치 코너 반경, 간극, 다이 밀면 폭·각도, 펀치 밀면 각도 등이 언더컷 형성과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 또한 분리하중에 영향을 미치는 금형 형상변수는 언더컷 형성에 관여하는 형상변수와 일치함을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 클린칭 접합력의 향상을 위해 큰 언더컷을 형성할 수 있는 금형 형상

변수를 최적화하여 실제 클린칭 금형을 설계 및 제작해 보았다. 실험결과로부터 언더컷은 약 27.8(%) 증가하였으며, 분리하중은 2530(N)으로 약 14.5(%)의 접합력 향상을 확인할 수 있었다. 이상의 결과로부터 실험계획법 및 유한요소법에 의한 클린칭 금형의 최적설계는 산업 현장에서 클린칭 접합력 향상을 위해 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단(KICOS)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] H. J. Cho, H. J. Kim, C. K. Cheon, W. S. Chang, K. S. Bang, 2006, Evaluation of Friction Spot Joining Weldability of Al Alloys for Automotive, Trans. KWS, Vol. 24, No. 1, pp. 50~56.
- [2] D. H. Lim, B. W. Lee, H. H. Rhyu, H. K. Kim, 2003, An Experimental Study on the Strength Evaluation of Al-5052 Tensile-Shear Specimens Using a Mechanical Press Joining Method, Trans. KSMTE, Vol. 12, No. 1, pp. 58~64.
- [3] Y. B. Lee, Y. K. Park, C. S. Chung, H. K. Kim, 2000, An Experimental Study on the Strength Evaluation of Mechanical Press Joint, Trans. KSME, Vol. 24, No. 2, pp. 438~447.
- [4] J. P. Varis, 2006, Economics of Clinched Joint Compared to Riveted Joint and Example of Applying Calculations to a Volume Product, J. Mater. Process. Technol., Vol. 172, pp. 130~138.
- [5] C. P. A. Mota, N. Gcosta, 2005, A Comparative Study Between the Sheet Joining Processes by Point TOX® and Spot Welding, Proceedings of the Annual Congress of the Brazilian Society for Metallurgy and Materials, ABM, Belo Horizonte, pp. 2733~2741(in Portuguese).
- [6] J. P. Varis, 2003, The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel, J. Mater. Process. Technol., Vol. 132, No. 1-3, pp. 242~249.

- [7] Y. B. Lee, T. Y. Kim, C. S. Chung, J. H. Choi, 2000, A Study on the Optimum Joining Condition in a Mechanical Press Joint, Trans. KSME, Vol. 24, No.3, pp. 752~760.
- [8] A. A. de Paula, M. T. P. Aguilar, A. E. M. Pertence, P. R. Cetlin, 2007, Finite Element Simulations of the Clinch Joining of Metallic Sheets, J. Mater. Process. Technol., Vol. 182, No. 1-3, pp. 352~ 357.
- [9] M. Oudjene, L. Ben-Ayed, 2008, On the Parametrical Study of Clinch Joining of Metallic Sheets Using the Taguchi Method, Engng. Struct., Vol. 30, No. 6, pp. 1782~1788.
- [10] SFTC, 2004, DEFORM-2D Ver. 8.0 Users Manual (Scientific Forming Technologies Corporation Inc., U.S.A.).
- [11] V. R. Jayasekara, J. H. Noh, B. B. Hwang, K. C. Ham, D. H. Jang, 2007, A Study on the Forming Characteristics of Clinching Joint Process, Trans. KSTP, Vol. 16, No. 8, pp. 603~613.
- [12] J. P. Varis, J. Lepisto, 2003, A Simple Testing-based Procedure and Simulation of the Clinching Process Using Finite Element Analysis for Establishing Clinching Parameters, Thin-Walled Structures, Vol. 41, pp. 691~709.