

중첩된 박판간의 결합을 위한 접착-성형공정

정창균* · 김태정* · 양동열*

(2004년 1월 20일 접수)

Form-Joining Process with the Aid of Adhesive for Joining of Sheet Metal Pair

C. G. Jung, T. J. Kim and D. Y. Yang

Abstract

The form-joining process (or clinching) uses a set of die and punch to impose the plastic deformation-induced geometric constraint on a sheet metal pair. The joining strength from the process ranges 50-70 percent of that of the resistance spot welding. In this paper, a new form-joining process with the aid of an adhesive is proposed in which an epoxy adhesive is applied to a sheet metal pair, and before it cures the pair is clinched to cause the geometric constraint in the form of a protrusion. In order to reduce the forming load and the height of protrusions, a new die and punch set with a very small clearance is devised to reduce the depth of drawing and the forming load. Taguchi method is employed to find the optimal values of design parameters. To implement each case of the orthogonal array, the finite element method is used. The experiments show that in the tensile-shear test, the bonding strength of the new form-joining process with an epoxy adhesive is approximately the same as that of the resistance spot welding; and in comparison with the other two form-joining processes with an epoxy adhesive, the height of protrusions is reduced by more than 65 percent and the forming load by 50 percent.

Key Words : Form-Joining, Clinching, Adhesive Bonding, Sheet Metal, Mechanical Joining

1. 서 론

최근 산업제품은 경량화와 고성능화 등으로 인해 이종 재료나 특수 코팅 재료간 결합의 필요성이 증대되고 있다. 일반적으로 동종재료의 박판간의 결합에 가장 많이 적용되는 저항점용접(resistance spot welding) 등의 방법은 경량화를 목적으로 제작된 알루미늄을 이용한 부품과 기존 부품간의 결합시 이종재료간의 상이한 열적특성으로 인해 용접이 어렵고 또한 코팅재료를 접합할 경

우 열에 의한 표면손상 등을 야기시킨다. 따라서 이를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었다. 그중 한가지 대안으로 성형결합공정(form-joining process)이 고려되고 있다. 일반적으로 성형결합이란 특별히 고안된 펀치와 다이틀 이용, 모재 부위에 소성변형을 발생시키고 이를 통해 박판간의 기하학적 구속을 유도하여 결합하는 방식으로, 기계적 프레스 결합(mechanical press joining) 혹은 클린칭(clinching) 등으로도 불린다. 이러한 성형결합은 부가적 열에너지나 추가적인 재료공급 없이 박

* 한국과학기술원 기계공학과

판을 결합하기 때문에 비용 및 공간 측면에서 상당한 이점을 가지며 이중재료나 코팅재료의 결합에도 매우 유리하나, 저항점용점에 비해 상대적으로 낮은 결합강도를 가짐으로 인해 많은 제약이 따른다.⁽¹⁾ 본 논문에서는 이러한 기계적 결합공정의 결합강도를 높이기 위해, 기계적 결합공정에 접착제를 부과한 접착-성형공정(form-joining with the aid of adhesive)을 고찰하고 실험하였다. 접착-성형공정은 결합될 부위를 미리 접착제로 접착한 후 접착제가 경화되기 전 성형결합을 부과하여 경화시킨다.⁽²⁾ 기존의 성형결합공정을 이용하여 그 강도를 평가하고 또한 접착-성형결합공정의 장점을 살릴 수 있도록 하는 전단을 이용한 성형결합장치를 설계, 제작하고 시험을 통해 그 기계적 결합강도 및 특성을 평가해 보았다.

2. 공정별 결합원리 및 특징

2.1 성형결합공정

중첩된 박판을 기계적으로 결합하는 방식인 성형결합공정은 펀치 및 다이의 형태 및 이동방식에 따라 많은 종류가 존재한다. 가장 간단한 방식으로는 펀치와 오목부를 가지는 다이를 이용하여 소재의 구속을 유발시키는 방식으로 Fig. 1에 나타내었다. 이 방식은 TOX 공정이라는 이름으로 상용화 되었다.⁽³⁾

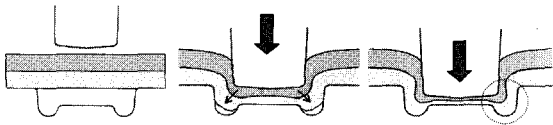


Fig. 1 Schematic of form-joining process (TOX process)

이러한 성형결합공정은 점용접과 비교할 때 그 강도가 낮아 이를 개선하기 위해 많은 시도들이 이루어져 왔는데, 그 중 윤희주 등이 제안한 2 단계 성형결합공정(2-step form-joining process)을 Fig. 2에 나타내었다.⁽⁴⁾ 2 단계 성형결합 공정은 1차 펀치를 이용해 모재를 드로잉(drawing)한 후 경사면을 가지는 2차 펀치가 상승하여 원주 외곽에 과인 홈으로 재료를 유동시킴으로서 기하학적 구속을 보다 증가시켜 결합강도를 개선하였다. 저항점용점의 인장-전단시험규격(KS B 0851)을 이용한 실

제 실험에서 두께 1mm의 DDQ 강판을 펀치 지름 6mm를 가지는 성형결합장치를 제작하여 실험한 결과 TOX공정은 평균 2.8kN을 가지는 반면, 2 단계 성형결합공정은 3kN 내외의 개선된 평균강도를 가진다.⁽⁴⁾ 이는 비슷한 크기의 저항점용점이 일반적으로 4kN 이상의 인장-전단강도를 가짐을 비교해 볼 때, 강도측면에서 취약함을 알 수 있다.

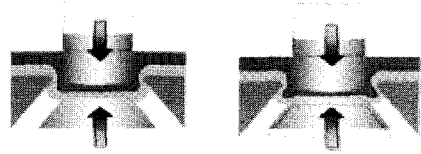


Fig. 2 2-step form-joining process

2.2 접착결합공정

일반적으로 접착결합은 비금속재료의 접합에 많이 쓰이나 최근 다양한 목적의 고성능 접착제가 개발되면서 금속재료의 접착에도 사용되고 있다. 접착결합은 비교적 강한 결합력을 가지는 반면 하중의 형태에 따라 매우 취약한 특성을 나타낸다. 일반적으로 인장(tension)과 전단(shear)하중에서 비교적 강하고 박리(peel)와 분할(clea-vage)형태의 하중에서는 취약한 것으로 알려져 있다.⁽⁶⁾ 이러한 이유로 접착부가 인장하중을 받더라도 인장하중에 의해 모재의 변형이 발생하여 박리 형태의 하중을 유발하여 접착부가 매우 취약해 지기도 한다. 즉 접착에 의한 결합은 모재의 강도와 형상변화에 따라 달라지기도 한다.⁽⁵⁾

2.3 접착-성형결합공정

접착-성형결합공정은 기본적으로 성형결합과 접착결합을 합한 공정이다. 먼저 결합시킬 두 금속판을 접착제를 이용하여 접착하고 접착제가 경화되기 전 성형결합을 한 후 경화시킨다. 따라서 접착-성형결합공정에 의한 결합부는 접착제에 의한 강도를 가지면서 동시에 성형결합에 의한 기하학적 구속을 가지게 된다.

제안된 접착-성형결합공정은 다음과 같은 특성을 가진다.

첫째, 전체 결합하중을 접착결합부와 성형결합부가 분담하게 되어 상당한 강도향상을 기대할 수 있다.

둘째, 결합부에서 모재의 변형을 막아 접착결합 공정의 급격한 파괴를 막을 수 있다.

셋째, 접착결합공정과 성형결합공정과 의 강도를 비교함으로써 접착-성형결합공정에서 두 공정의 상호관계를 파악할 수 있다.

이러한 특성을 실험을 통해 확인해 보았다.

3. 접착결합공정의 실험

3.1 접착결합공정의 절차

접착결합을 성형결합공정에 적용하기에 앞서 금속박판을 접착제만을 이용하여 결합함으로써 접착결합공정의 특성과 그 강도를 파악하여 비교군으로 삼고자 한다.

접착결합에서는 무엇보다도 접착표면에 유막 등의 불순물이 없어야 한다. 따라서 본 실험에서는 불순물 제거를 위해 아세톤(acetone)을 사용하여 세척하였다. 이러한 실험절차를 Fig. 3에 나타내었다.

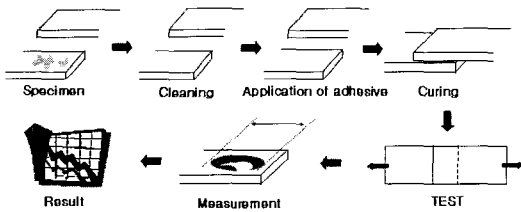


Fig. 3 Procedure of adhesive bonding

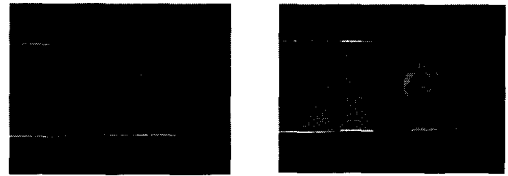
일반적으로 접착력을 최대화 하기 위해 접착표면에 경사포연마(light sanding)를 해주어 접착력을 높인다.⁽⁵⁾ 그러나 본 실험에서는 균일한 시험 조건을 유지하기 위해 경사포 연마 과정은 거치지 않았다.

금속의 강한 결합력을 유지하는 데는 에폭시(epoxy)계열의 접착제가 많이 쓰인다. 본 실험에서는 금속접합에 강한 결합력을 가지고 추가적인 열원공급이 필요없는 경화제가 분리된 에폭시접착제인 IPCO9923을 사용하였다.

3.2 접착면적의 결정

접착결합은 접착면적이 하중을 분산하기 때문에 결합력에 매우 중요한 요소로 작용한다. 따라서 성형결합의 결합력과 비교를 위해서는 접착면적의 선정이 필요하다. 그러나 실제 접착공정에서

접착면적은 접착제의 양이 매우 미소하여 양의 조절이 어렵고 또한 접착부에 적절한 압력이 가해지게 되어, 접착면이 원형을 유지하나 그 면적은 불균일하다. 따라서 일단 접착결합을 수행한 후 인장-전단시험을 통해 파단이 되면 그 파단된 면을 관찰하여 접착제가 도포된 면의 지름을 측정하여 그 양을 평균하여 그룹화하고 이를 비교하였다.



(a) Section of bonding area (b) Measurement
Fig. 4 Measurement of bonding area

3.3 결합강도 시험 규격

시험시편의 규격은 점용접과의 비교를 위해 점용접의 시험규격인 KS B 0851를 이용하여 인장-전단시험(tensile-shear test)을 수행하였으며 그 규격을 Fig. 5와 Table 1에 나타내었다.⁽⁷⁻⁸⁾

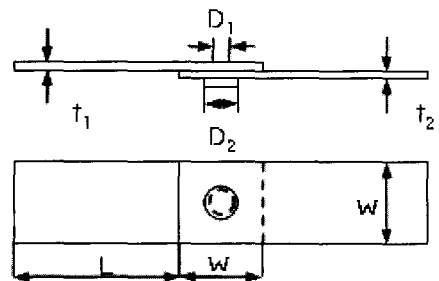


Fig. 5 Tensile-shear test specimen (KS B 0851)

Table 1 Size of specimen (KS B 0851)

T	w	L
0.0 ~0.8	20	75
0.8 ~1.3	30	100
1.3 ~2.5	40	125
2.5 ~3.5	50	150

시험규격에서 w와 L은 시편의 두께에 따라 결정되는데 실험에 사용한 재료는 두께 1mm의 DDQ

강판을 사용하였다. 따라서 w와 L은 각각 30mm와 100mm로 결정하였다.

3.4 접착결합공정의 결합강도

실험 후 측정된 면적 별로 분류한 후 강도가 크게 차이가 나지 않는 정도에서 그룹을 지정하였으며 각 그룹 당 5개의 실험결과 중 최대와 최소를 제외하고 평균하였다. 접착공정에 대한 인장-전단시험의 결과 중 특징적인 3가지의 그룹에 대한 평균 파단하중을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 The result of tensile-shear test in joining process by adhesive

Diameter[mm]	15±2	19±2	26±2
Average peak load[kN]	3.4	3.39	4.42

Table 2에서 보는 바와 같이 접착면적의 지름과 결합강도는 비례하며 이때 접착지름이 19±2mm인 그룹에서 결합강도는 평균 3.39kN을 가진다. 이는 통상 기계적 결합의 인장전단 강도인 3kN에 근접한 값이다. 따라서 기계적 결합과의 대등한 비교를 위해 강도가 비슷한 수준인 접착 지름 19±2mm 내외를 기준면적으로 결정하였다.

4. 접착-성형결합공정의 실험

4.1 접착-성형결합공정의 절차

제안된 접착-성형결합공정을 앞서 소개된 성형결합장치를 이용하여 실험하였다. 실험의 재료와 규격은 접착결합공정과 동일하다. 실험절차는 접착 후 성형결합을 한 다음 경화시키는 공정이 추가 되었다. 접착-성형공정에서 사용된 성형결합공정은 앞서 소개된 바가 있는 TOX 공정과 2단계 성형결합공정을 이용하였다. 접착-성형결합공정의 실험절차를 Fig. 6에 나타내었다.

완성된 시편은 강도시험 후 접착공정 실험에서와 마찬가지로 파단면을 관찰하여 접착지름에 따라 분류하였다. 이때 강도를 평가하는 기준을 접착지름 19±2mm로 결정하였으므로 접착지름이 이 범위 내에 포함되는 시편만으로 결과를 도출하였다.

4.2 접착-성형결합공정의 결합강도

앞서 설명된 실험결과를 Table 3에 정리하였다.

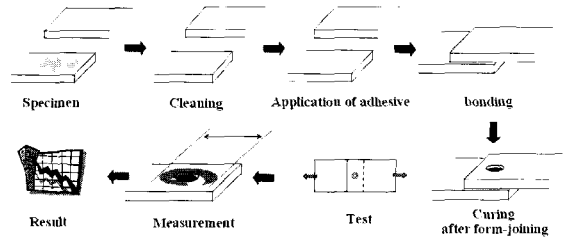


Fig. 6 Procedure of form-joining with the aid of adhesive

Table 3 The result of tensile-shear test(A:TOX Process, B:2-step form-joining process)

Type	Average Peak load[kN]	
Adhesive bonding	3.39	
Form-joining	A	2.81
	B	3.17
Form-joining with the aid of adhesive	using A	3.89
	using B	5.78

TOX 공정에 접착제를 부과한 접착-성형결합공정의 경우 단순히 성형결합만을 했을 때 보다 38%의 결합강도가 향상되었다. 또한 2 단계 성형결합공정에 접착공정을 부과한 경우 강도는 80% 증가하였다.

KS B 0850(점용접부의 검사 방법,1991)에 따르면 모재의 인장 강도가 275~373MPa인 경우 1mm의 두께를 가지는 강판에 대하여, 강도를 필요로 하는 A급 용접부에 대한 인장-전단 강도는 4.168kN이라 명시하고 있다. 이 기준과 비교해 볼 때 2단계 성형결합공정을 이용한 접착-성형 공정은 인장-전단시험에서 점용접기준을 충분히 만족하는 강도를 가짐을 확인할 수 있었다.

동일한 접착-성형결합공정이라도 적용된 성형결합방식에 따라 강도향상의 차이는 크다. 성형결합의 결합강도가 클수록 접착-성형결합공정에서의 강도향상이 큼을 확인하였다.

접착-성형결합공정의 강도가 접착결합공정과 성형결합공정에서 강도의 산술적 합보다 낮은 이유는 접착-성형결합공정에서 성형결합부에서의 접착제의 층 파괴와 같은 접착조건 변화 때문으로 생각된다.

5. 전단을 이용한 성형결합공정

5.1 개요

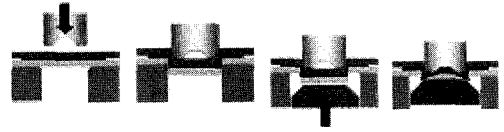
성형결합의 결합강도는 일정수준까지는 박판간의 기하학적 구속양과 비례한다. 따라서 성형결합공정은 기하학적 구속양을 증가시키기 위해 일정수준이상의 드로잉(drawing) 공정을 거친 후, 압축(squeezing) 공정을 통해 기하학적 구속을 발생시킨다. 드로잉 공정에 의해 돌출부가 발생하게 되고 압축공정에서는 재료를 유동시키기 위해 큰 성형하중이 필요하게 된다. 이러한 이유로 성형결합공정은 결합부에 돌출부가 발생하고 결합 시 큰 성형하중이 필요하게 된다.

그러나 앞선 실험을 통해 접착-성형결합공정이 비슷한 크기의 저항점용접의 결합강도를 능가하므로, 성형결합의 기하학적 구속량을 줄일 수 있다. 이를 통해 돌출부를 감소시키고 성형하중을 줄이면서도 저항점용접과 유사한 강도를 지닐 수 있도록 하는 새로운 접착성형공정을 제안하였다. 이를 다구찌 기법을 통해 최적화하고 실험을 통해 결합강도를 측정 비교해 보았다.

5.2 성형 원리

제안된 공정은 기존의 기계적 성형결합과 달리 펀치와 다이의 간극(clearance)을 전단(shearing) 수준에 가깝도록 작게 준다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 간극이 작을수록 중첩된 박판이 드로잉 될 때, 적은 드로잉 양으로도 드로잉 측면부가 90°에 가깝게 나오며, 90°에 가까울수록 기하학적 구속을 발생시키기가 유리하다. 하지만 간극이 너무 작으면 전단이 발생하거나, 전단이 되지 않았다 하더라도 상, 하 판재의 두께가 너무 얇아지게 되고 이는 목형태의 파손(neck failure)을 유발한다. 실험을 통해 전단이 일어나지 않으면서 드로잉의 측면부가 90°에 가깝도록 하도록 간극의 양을 0.3 mm로 정하였다.

1차 드로잉 공정이 끝나고 Fig. 7(b)와 같이 경사를 가지는 2차 펀치를 이용하여 1차 공정에서 성형된 드로잉 측면부를 압축하게 되면 측면부가 좌우로 밀리면서 기하학적 구속을 발생시키게 된다. 이때 펀치는 중앙부가 오목하기 때문에 재료의 유동이 원활하게 이루어져 보다 쉽게 성형이 되고, 따라서 성형 하중을 줄이는 역할을 한다.



(a) Drawing stage (b) Squeezing stage

Fig. 7 Schematic of the new form-joining process

5.3 다구찌 기법을 이용한 장치설계

결합강도에 직접적으로 영향을 주는 인자는 기하학적 구속량, 상판의 두께, 하판의 두께이다. 기하학적 구속량은 기계적 결합의 결합강도에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 기하학적 구속량이 일정수준 이상 증가하면 결합부의 상, 하판의 두께가 얇아지게 된다. 이는 상판이 얇아질 경우 결합부가 찢어지는 목형태의 파손을 유발하게 되고 하판이 얇아질 경우 하중을 견디지 못하고 결합부가 이완되어 버튼형 파손(button failure)이 발생한다. 따라서 접착-성형공정의 평가특성치로 Fig. 8의 상판과 하판이 중첩된 기하학적 구속의 크기(T_G)와 결합부 상판의 최소두께(T_U), 그리고 결합부 하판의 최소두께(T_L)를 선택하였다.

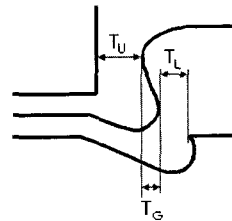


Fig. 8 Primary dimension of the joining section

접착-성형공정에 깊게 관여하는 설계변수들은 압축펀치가 박판을 압축하는 깊이[A], 드로잉 펀치의 오목부 깊이[B], 드로잉 펀치의 오목부의 폭[C], 드로잉 펀치의 돌출부의 폭[D], 드로잉 펀치의 라운드[E], 압축펀치의 반지름[F], 압축펀치의 경사각[G], 드로잉펀치가 박판을 드로잉하는 양[H] 등이다. 이 8가지의 변수를 제어인자로 설정하여 다구찌 기법을 적용하였다. 각 변수를 Fig. 9에 나타내었으며, 각 변수에 대한 수준은 Table 4에 나타내었다. 정의된 설계 변수를 L_{18} 직교배열표에 따라 유한요소해석을 수행하였다.

직교배열표에 따른 18가지 조합에 대하여 요인 효과분석을 위해 유한요소해석을 수행하였다. 축대칭 조건의 격자는 4 절점 축대칭 2차 요소(4-Node Bilinear Axisymmetric Quadrilateral elements)를 이용하여, 성형 시 하판이 압축에 의해 변형량이 큰 점을 고려하여 상판 520개, 하판 640개로 모델링 하였으며 ABAQUS(implicit)를 사용하였다.

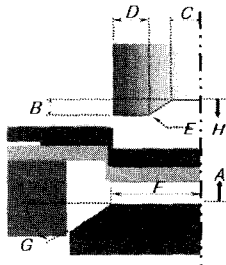


Fig. 9 Schematic diagram of design parameters

Table 4 Level of design parameters

	1	2	3
A [mm]	1	1.3	X
B [mm]	1	1.2	1.5
C [mm]	1	1.5	1.7
D [mm]	0.7	1	1.2
E [mm]	0.2	0.5	0.7
F [mm]	0.27	0.3	0.33
G [degree]	20	30	40
H [mm]	1.3	1.5	17

접착제는 성형결합 시까지 액체상태이고, 점성이 매우 크며, 매우 얇게 도포되므로 접착제를 박판간의 윤활로 가정하였다. 접착제의 마찰계수는 고속마찰시험기(High-speed simulator)를 이용하여 측정하였고 그 값은 0.026이다. 기타 해석 조건들을 Table 5에 나타내었다.

5.5 요인효과분석 및 설계안 도출

유한요소해석을 통해 얻어진 결과를 이용하여 요인효과분석을 수행하여 주요인자를 파악하였으며 그 결과를 Fig. 10에 정리 하였다. 요인효과 그래프에서 각 변수의 기울기가 급격히 변할수록 평가 특성치에 민감한 인자이며 본 실험에서 결합강도에 중요한 영향을 미치는 인자는 드로잉 펀치의 오목부의 형상과 압축펀치의 경사각 그리

고 압축펀치의 압축량 임을 확인할 수 있다.

비교적 변동이 적고 유사한 경향을 보이는 상, 하판의 최소두께에 대하여 기하학적 구속은 상반되는 경향을 보인다. 이는 기하학적 구속이 증가하면 구속에 의한 강도 측면에서는 유리하지만 박판의 얇은 두께로 목파손이 유도되어 오히려 전체 결합강도를 약화시킴을 의미한다 구속을 최대한 증가시키면서도 상,하판의 두께가 적정수준을 유지하는 타협점을 찾아야 한다.

기하학적 구속의 크기만을 고려할 때는 [A2, B1, C1, D3, E3, F3, G3, H3]의 설계변수의 수준이 최적의 조합이 되고 상판의 최소두께를 최대로 하는 조합은 [A2, B3, C2, D1, E1, F1, G3, H1]이며 하판의 최소두께를 최대로 하는 조합은 [A2, B3, C3, D1, E2, F2, G1, H1]이다.

Table 5 Material properties

Young's modulus (E)	221.37 GPa
Poisson's ratio (ν)	0.3
Friction coefficient 1 (without lubricant)	0.146
Friction coefficient 2 (between adhesive and metal)	0.026

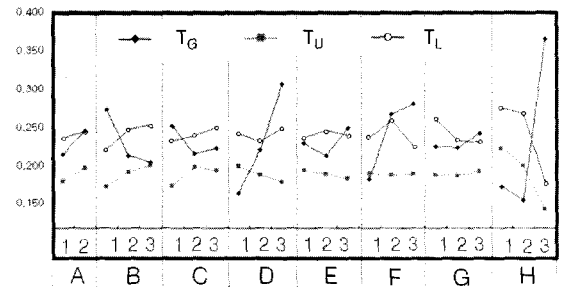


Fig. 10 Effect of parameters for Taguchi method

3가지의 설계안에 대한 유한요소 재해석 결과 설계 1안은 기하학적 구속량은 0.551mm로 큰 반면 성형결합이 발생하고 설계 2, 3안에 비해 상판의 두께가 0.289mm로 작다. 이러한 상황은 결합부가 구속량에 의해 결합하중이 증가하더라도 재료가 찢어지는 목 파손이 우려된다. 설계 2안은 상,하판의 두께는 안정적인 반면 기하학적인 구속이 거의 발생하지 않았다. 설계 3안의 경우 기하

학적 구속량은 0.217mm, 상,하판의 두께는 각각 0.323 과 0.489mm로 타 설계안에 대해 가장 적절한 값을 가지므로 설계 3안을 최종안으로 선정하였다. 설계 3안에 대한 해석 결과를 Fig. 11의 (a)에 나타내었다.

6. 전단을 이용한 접착-성형결합공정 실험

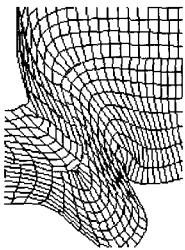
6.1 실험절차 및 규격

설계안에 따라 제작된 전단을 이용한 성형결합장치를 이용하여 접착-성형결합 실험을 수행하였다. 실험 규격 및 절차는 앞서 수행된 접착-성형결합공정과 동일하다.

6.2 실험 결과

결합부의 단면형상으로부터 기하학적 구속이 발생함을 확인할 수 있었으며 구속량은 0.16mm로 유한요소해석을 통한 기하학적 구속 양인 0.21mm에 비해 0.05mm의 오차를 가진다.

제안된 공정의 인장-전단강도는 4.2kN으로 이는 단순히 성형결합을 하였을 때 보다 강도가 40% 정도 향상된 수치이며 저항 점용접의 검사 합격 기준 강도인 4.17kN과 유사한 강도를 나타내었다.



(a) F.E. analysis



(b) Experiment

Fig. 11 Comparison of cross section

Table 6 Comparison of average peak load

	Avg. peak load
Form joining	2.76 kN
Form-joining with the aid of adhesive	4.20 kN

파단형태는 목형태의 파손이 주로 발생하였으며 이는 전단을 이용하기 때문에 결합부의 상판이 매우 얇아져 발생하는 현상으로 보인다.

결합부의 돌출량은 기존의 기계적 결합공정이 1.7mm내외의 돌출부가 발생하는 것에 반하여, 전단을 이용한 접착-성형공정에서는 0.6mm의 낮은 돌출부를 가진다. 이는 성형결합 시 전단을 이용하여 드로잉 깊이를 크게 줄였기 때문이다.

기존의 기계적 결합이 80 ~ 120kN의 성형하중이 필요한 반면 제안된 공정은 67kN의 성형 하중만으로도 성형이 가능하다. 이는 접착제의 사용으로 기하학적 구속을 작게 발생시켜도 충분한 결합강도를 가질 수 있기 때문이다.

7. 결 론

성형결합공정에 접착결합공정을 부과한 접착-성형결합공정을 제안하여 기존의 성형결합방식에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 접착-성형결합공정을 통하여 기존의 성형결합 공정이 가지고 있던 약한 결합강도를 크게 개선하였다.

(2) 접착-성형결합공정 시 성형결합부의 소성변형은 접착조건을 변화시켜 결합력을 다소간 약화시킨다.

(3) 전단을 이용한 성형결합장치의 설계에서 대구찌 기법과 요인효과분석을 통해, 설계변수 중 결합강도에 중요한 영향을 미치는 인자는 드로잉 편치의 오목부의 형상과 압축편치의 경사각 그리고 압축편치의 압축량 임을 확인하였다.

(4) 제안된 장치에서 다이와 편치의 간극을 크게 줄여 기하학적 구속을 발생시키기 위한 드로잉의 양을 줄일 수 있었으며 이를 통해 접착-성형공정을 수행하여 발생되는 돌출부를 기존 성형결합방식에 비해 65%이상, 성형 하중은 최대 50%까지 감소시켰다.

(5) 제안된 성형결합장치를 이용한 접착-성형공정은 인장-전단강도가 40% 향상 되었다.

후 기

본 연구는 POSCO의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) S. J. Muraski., 1990, "American autos in the clinch", Machine Design, April 12, pp. 48 ~ 50.

- (2) 정창균, 김태정, 양동열, 권순용, 2003, "접착 성형공정을 이용한 중첩된 박판간의 결합", 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 131~135.
- (3) E. Rapp, 1989, "Apparatus for connecting thin plate", United State Patent, Patent no. 4831704.
- (4) 윤희주, 김태정, 양동열, 권순용, 신철수., 2001, "박판 페어의 기계적 접합장치의 결합강도 개선에 관한 연구", 한국소성가공학회 춘계학술대회논문집, pp. 29~32.
- (5) L. F. M. da Silva and R. D. Adams., 2002, "The strength of adhesively bonded T-joint", Int. J. Adhesion & Adhesive, vol. 22, pp. 311~315.
- (6) E. P. Degramo, J. T. Black and R. A. Kohser., 1999, "Materials and processes in Manufacturing", John Willy & Son Inc. 8th edition, pp. 1051~1058.
- (7) 한국표준협회, 1980, "점용접 이음의 인장 전단 시험 방법", KS B 0851.
- (8) 한국표준협회, 1980, "점용접 이음의 인장시험 방법", KS B 0852.