

접착-성형 공정의 개선을 통한 중첩된 박판간의 결합

정창균* · 김태정* · 양동열**

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

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

Abstract

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 was devised to reduce the depth of drawing and the forming load. Taguchi method was employed to find the optimal values of design parameters. To implement each case of the orthogonal array, the finite element method was used. The experiments showed that on 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 was reduced by more than 65 percent and the forming load by 50 percent

Key Words : form-joining, adhesive, clinching, sheet metal

1. 서론

자동차, 항공기 등 금속을 이용한 산업에서 경량화에너지를 절약하고 기계적 성능을 향상시키는 가장 중요한 요소가 되고 있다. 이러한 경량화를 위해 알루미늄 등과 같은 경량 소재가 철재 소재를 빠르게 대체해가고 있으며 이에 따라 이종재료간의 결합에 대한 산업적 요구가 증대되고 있다. 다양한 이종재료의 결합 방식 중 성형결합 공정(form-joining process)은 모재 부위에 소성변형을 발생시켜 박판간의 기하학적 구속을 유도하여 결합하는 방식으로, 부가적 열에너지나 추가적인 재료공급 없이 박판을 결합하기 때문에 비용 및 공간 측면에서 상당한 이점을 가진다. 앞선 연구에서, TOX 공정은 인

장-전단 결합강도는 최대 2.97 kN, 해석상의 성형하중 약 80 kN, 돌출부의 높이 1.8 mm를 가지며, 2단계 성형결합 공정의 경우 각각 3.33 kN, 110 kN, 1.7 mm를 가진다. 그러나 저항점용점에 비해 상대적으로 낮은 결합강도를 가지고 결합부가 돌출되는 등의 단점으로 인해 많은 제약이 따른다.^(1,2) 이러한 단점을 극복하기 위해 성형결합 공정에 접착제를 부과한 접착-성형 공정(form-joining with the aid of adhesive)이 제안되었다.⁽³⁾ 접착-성형 공정은 결합될 부위를 미리 접착제로 접착한 후 접착제가 경화되기 전 성형결합을 부과하여 경화시킨다. 기존의 성형-결합 공정을 이용하여 성형-결합 공정을 수행한 결과 인장-전단 결합 강도가 기존의 성형결합 공정인 TOX 공정 및 2단계 성형 공정과 비교하여 30 % 이상 향상 되었다.

* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

** 한국과학기술원 기계공학과

이는 비슷한 크기의 저항점용접의 강도를 증가하는 수준이다. 본 연구에서는 이러한 접착-성형 공정에 기존의 기계적 결합 방식을 쓰지 않고 접착-성형 공정의 장점을 살릴 수 있도록 하는 전단을 이용한 성형결합 장치를 설계, 제작하고 시험을 통해 그 강도 및 기계적 특성을 평가해 보았다.

2. 전단을 이용한 성형결합 공정

2.1 개요

성형결합의 결합 강도는 일정 수준까지는 박판간의 기하학적 구속 양과 비례한다. 따라서 성형결합 공정은 기하학적 구속 양을 증가시키기 위해 일정 수준이상의 드로잉(drawing) 공정을 거친 후, 압축(squeezing) 공정을 통해 기하학적 구속을 발생시킨다. 드로잉 공정에 의해 돌출부가 발생하게 되고 압축 공정에서는 재료를 유동시키기 위해 큰 성형 하중이 필요하게 된다. 이러한 이유로 성형결합 공정은 결합부에 돌출부가 발생하고 결합시 큰 성형하중이 필요하게 된다.

그러나 접착-성형 공정은 비슷한 크기의 저항점용접의 결합강도를 증가함으로써, 성형결합의 기하학적 구속량을 줄일 수 있다. 이를 통해 돌출부를 감소시키고 성형하중을 줄이면서도 저항점용접과 유사한 강도를 지닐 수 있도록 하는 새로운 접착 성형 공정을 제안하고, 이를 다구찌 기법을 통해 최적화하고 실험을 통해 결합강도를 측정 비교해 보았다.

2.2 성형 원리

제안된 공정은 기존의 기계적 성형결합과 달리 펀치와 다이의 클리어런스(clearance)를 전단(shearing)수준에 가깝도록 작게 준다. Fig.1 (a)와 같이 클리어런스가 작을수록 증첩된 박판이 드로잉 될 때, 적은 드로잉 양으로도 드로잉 측면부가 90도에 가깝게 나오며, 90도에 가까울수록 기하학적 구속을 발생시키기가 유리하다. 하지만 클리어런스가 너무 작으면 전단이 발생하거나, 전단이 되지 않았다 하더라도 상, 하 판재의 두께가 너무 얇아지게 되고 이는 목형 파손(neck failure)을 유발한다.

1차 드로잉 공정이 끝나고 Fig.1 (b)와 같이 경사를 가지는 2차펀치를 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.

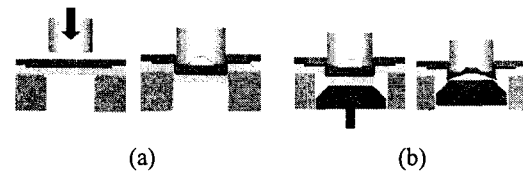


Fig. 1 (a) Drawing stage Fig. 2 (b) Squeezing stage

3. 다구찌 기법을 이용한 다이 설계

3.1 평가 특성 및 설계 변수 선정

결합강도에 직접적으로 영향을 주는 인자는 기하학적 구속 양, 상판의 두께, 하판의 두께이다. 기하학적 구속 양은 기계적 결합의 결합강도에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 기하학적 구속 양이 일정수준 이상 증가하면 결합부의 상, 하판의 두께가 얇아지게 된다. 이는 상판이 얇아질 경우 결합부가 찢어지는 목형 파손을 유발하게 되고 하판이 얇아질 경우 하중을 견디지 못하고 결합부가 이완되어 버튼형 파손(button failure)이 발생한다. 따라서 접착-성형공정의 평가특성치로 Fig. 2의 상판과 하판이 증첩된 기하학적 구속의 크기(T_G)와 결합부 상판의 최소 두께 (T_U), 그리고 결합부 최소 하판 두께(T_L)를 선택하였다.

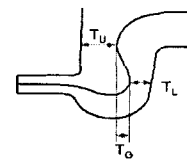


Fig. 2 Primary dimension of the joining section

접착-성형공정에 깊게 관여하는 설계 변수들을 선정하면 압축펀치의 압하량[A], 드로잉 펀치의 오목부 깊이[B], 드로잉 펀치의 오목부의 폭[C], 드로잉 펀치의 돌출부의 폭[D], 드로잉 펀치의 라운드[E], 압축펀치의 반지름[F]등이다. 이 8가지의 변수를 제어 인자로 설정하여 다구찌 기법을 적용하였다. 각 변수를 Fig 3에 나타내었다. 각 변수에 대한 수준은 Table 1 에 나타내었다. 정의된 설계 변수를 L₁₈ 직교 배열표에 따라 유한요소 해석을 수행하였다.

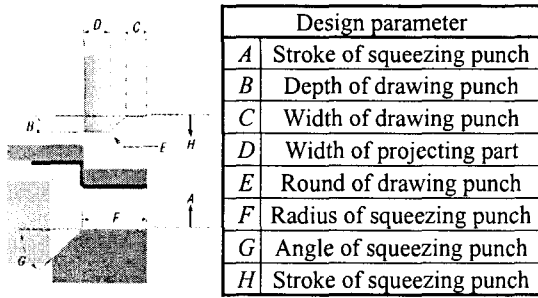


Fig. 3 Design parameter for L₁₈ orthogonal array

Table 1 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

3.2 유한요소 해석

직교 배열표에 따른 18가지 조합에 대하여 요인효과분석을 위해 유한요소해석을 수행하였다. 축대칭 조건의 격자는 4 절점 축대칭 2차 요소(4-Node Bilinear Axisymmetric Quadrilateral elements)를 이용하여, 성형 시 하판이 2차편치에 의한 압축으로 변형량이 큰 점을 고려하여 상판 520 개, 하판 640 개로 모델링 하였으며 Abaqus (implicit)를 사용하였다.

접착제는 성형 결합 시 까지 액체상태이고, 점성이 매우 크며 매우 얇게 도포되므로 접착제를 박판간의 윤활로 가정하였다. 접착제의 마찰 계수는 고속마찰시험기 (High-speed simulator)를 이용하여 측정하였고 그 값은 0.026 이다. 기타 해석 조건들을 Table 1에 나타내었다.

3.3 요인효과 분석 및 설계안 도출

유한요소 해석을 통해 얻어진 결과를 이용하여 요인 효과 분석을 수행하여 주요 인자를 파악하였으며 그 결과를 Fig. 4에 정리 하였다. 요인효과 분석을 통하여 상호손실이 없는 적정수준으로 3가지의 설계안을 선정하였으며, 선정된 설계안에 대해 유한 요소해석을 통해 평가 특성치를 가장 잘 만족하는 변수 조합인 A1, B2, C1,

D3, E3, F3, G3, H1을 선정하였다.

Table 2 Material properties

Young's modulus (E)	221.37 GPa
Poisson's ratio (ν)	0.3
Friction coefficient 1 (without lubricant)	0.1459
Friction coefficient 2 (between adhesive and metal)	0.026

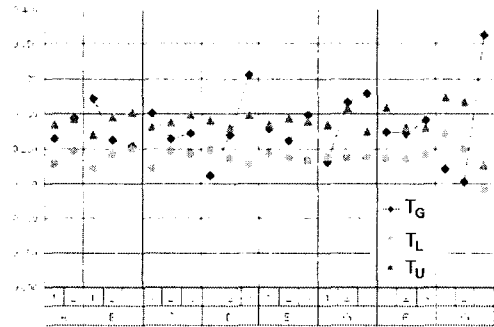


Fig. 4 Effect of parameters

4. 접착-성형 결합 공정의 실험 및 결과

4.1 실험 절차 및 규격

설계안에 따라 제작된 전단을 이용한 성형 결합 장치를 이용하여 접착-성형 결합을 수행하였다.

실험은 간단한 세척 후 결합부를 접착제를 이용하여 접착하고 접착제가 경화되기 전 기계적 결합을 부과하였으며 그 절차를 Fig 5 에 나타내었다.

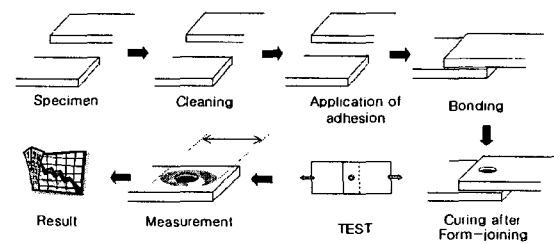


Fig. 5 Procedure of form-joining with the aid of adhesive

완성된 시편은 강도시험 후 접착지름에 따라 분류된다. 이때 강도를 평가하는 기준은 기계적 결합과 비슷한 강도를 가지는 접착지름 19±2 mm로 하였으며 접착지름

이 이 범위 내에 포함되는 시편만으로 결과를 도출하였다. 또한 시험시편의 규격은 점용접과의 비교를 위해 점용접의 시험 규격인 KS B 0851를 이용하여 인장-전단 시험(tensile-shear test)을 수행하였다.⁽⁴⁾

4.2 실험 결과

결합부의 단면 형상으로부터 기하학적 구속이 발생함을 확인할 수 있었으며 측정된 구속 양은 0.16 mm로 유한요소 해석을 통한 기하학적 구속 양인 0.21 mm에 비해 약 28%의 오차를 가진다.

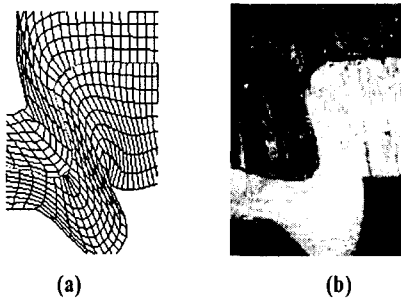


Fig. 6 (a) The result of finite element analysis
Fig. 6 (b) Cross section of form-joining with the aid of adhesive

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

Table 3 Comparison of peak load

	Peak load
Form joining	2.76 kN
Form-joining with the aid of adhesive	4.20 kN

파단 형태는 목형 파손이 주로 발생하였으며 이는 전단을 이용하기 때문에 결합부의 상판이 매우 얇아져 발생하는 현상으로 보인다.

결합부의 돌출 양은 기존의 기계적 결합공정이 1.7 mm 내외의 돌출부가 발생하는 것에 반하여, 전단을 이용한 접착-성형 공정에서는 0.6 mm의 낮은 돌출부를 가진다. 이는 성형결합 시 전단을 이용하여 드로잉 깊이를 크게 줄였기 때문이다.

기존의 기계적 결합이 80 - 120 kN의 성형하중이 필

요한 반면 제안된 공정은 67 kN의 성형 하중만으로도 성형이 가능하다. 이는 접착제의 사용으로 기하학적 구속을 작게 발생시켜도 충분한 결합 강도를 가질 수 있기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서 전단을 이용한 접착-성형 공정을 다구찌 기법과 유한요소법을 이용하여 설계 및 제작하였으며 제작된 장치로 접착-성형공정을 수행하고 그 결과를 비교 고찰하였다.

- (1) 전단을 이용한 성형결합장치의 설계에서 다구찌 기법을 통해 얻어진 결과와 이를 이용한 요인효과 분석을 통해, 설계변수 중 결합강도에 중요한 영향을 미치는 인자는 드로잉 펀치의 오목부의 형상과 압축편치의 경사각 그리고 압축편치의 압축 양 임을 확인하였다.
- (2) 제안된 장치에서 다이와 펀치의 클리어런스가 줄어들수록 기하학적 구속을 발생시키기 위한 드로잉의 양을 줄일 수 있었으며 이를 통해 접착-성형공정을 수행하여 발생하는 돌출부를 기존 성형결합방식에 비해 65%이상 성형 하중은 최대 50% 까지 감소시켰다.
- (3) 제안된 성형결합 장치를 이용한 접착-성형공정은 인장-전단 강도가 40% 향상 되었다.

참 고 문 헌

- (1) S.J. Muraski, 1990, "American autos in the clinch", Machine Design, April 12, pp.48-50
- (2) 윤희주, 김태정, 양동열, 권순용, 신철수, 2001, "박판 페어의 기계적 접합장치의 결합강도 개선에 관한 연구", 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp.29~32.
- (3) 정창균, 김태정, 양동열, 권순용, 2003, "접착 성형공정을 이용한 중첩된 박판간의 결합", 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp.131~135.
- (4) 한국표준협회, 1980 "점용접 이음의 인장 전단 시험 방법", KS B 0851.