

접착-성형 공정을 이용한 중첩된 박판간의 결합

정창균*·김태정*·양동열*·권순용**

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

C.G. Jeong*, T.J. Kim*, D.Y. Yang*, and S.Y. Kwon**

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, But their joining strength ranges 50-70 percent of that of the resistance spot welding. In this paper, a new form-joining process with the aid of adhesive is proposed in which an epoxy adhesive is applied to a sheet metal pair, to improve joining strength. The strength and mechanical properties of the new process are discussed and compared for other joining processes

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

1. 서론

최근 산업 제품은 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 기존부품간의 결합시 이종재료간의 상이한 열적 특성으로 인해 용접이 어렵다. 또한 코팅재료를 접합할 경우 열에 의한 표면 손상등을 야기시킨다. 따라서 이를 해결하기 위해 다양한 방법을 이용한 많은 연구가 진행되었다. 그 중 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 박판을 결합하기 때문에 비용 및 공간 측면에서 상당한 이점을 가지며 이종재료나 코팅재료의 결합에도 매우 유리하다. 하지만 저항점용접에 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 제안하고 실험을 통하여 그 기계적 강도를 측정하고 기존의 결합공정과 비교 평가하였다.

* 한국과학기술원 기계공학과

** 현대-기아자동차 연구개발본부

2. 공정별 성형 원리 및 특징

2.1 성형결합 공정

중첩된 박판을 기계적으로 결합하는 방식인 성형결합은 펀치 및 다이의 형태 및 이동방식에 따라 많은 종류가 존재한다. 가장 간단한 방식으로는 펀치와 오목부를 가지는 다이를 이용하여 소재의 구속을 유발시키는 방식으로 Fig. 1 에 나타내었다. 이 방식은 TOX 공정이라는 이름으로 상용화 되었다.⁽⁴⁾

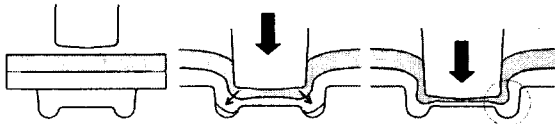


Fig. 1 Schematic of form-joining process (TOX process)

이러한 성형결합공정은 점용접과 비교할 때 그 강도가 낮아 이를 개선하기 위해 많은 시도들이 이루어져 왔으며 그 중 윤희주등이 제안한 2 단계 성형결합 공정(2-step form-joining process)을 Fig. 2 에 나타내었다.⁽²⁾ 2 단계 성형결합 공정은 1차펀치를 이용해 모재를 드로잉(drawing)한 후 경사면을 가지는 2차펀치가 상승하여 원주 외각의 흠으로 재료를 유동시킴으로써 기하학적 구속을 더욱 증가시켜 결합강도를 개선하였다. 저항점용접의 인장-전단 시험 규격(KS B 0851)을 이용한 실제 실험에서 두께 1 mm의 DDQ 강판을 펀치 지름 6 mm를 가지는 성형결합장치를 제작하여 실험한 결과 TOX공정은 평균 2.8 kN, 2단계 성형결합공정은 3 kN 내외의 평균 강도를 가진다.⁽²⁾ 이는 비슷한 크기의 저항점용접이 일반적으로 4 kN 이상의 인장-전단 강도를 가짐을 비교해 볼때, 강도 측면에서 취약함을 알 수 있다.



Fig. 2 2-step form-joining process

2.2 접착결합 공정

일반적으로 접착결합은 비금속재료의 접합에 많이 쓰이나 최근 다양한 목적의 고성능 접착제가 개발되

면서 금속재료의 접착에도 사용되고 있다. 접착제를 이용한 결합은 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(cleavage)형태의 하중에서는 취약한 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 접착부가 인장하중을 받더라도 인장하중에 의해 모재의 변형이 발생하여 박리 형태의 하중을 유발하여 결합부가 매우 취약해 지기도 한다. 즉 접착에 의한 결합은 모재의 강도와 형상변화에 따라 달라지기도 한다.⁽⁵⁾

2.3 접착-성형 결합 공정

접착-성형공정은 기본적으로 성형결합과 접착결합 공정을 합한 공정이다. 먼저 결합시킬 두 금속 판재를 접착제를 이용하여 접착하고 접착제가 경화되기 전의 유체상태에서 성형결합을 한 후 경화시킨다. 따라서 접착-성형 결합 공정에 의한 결합부는 접착제에 의한 강도를 가지면서 동시에 성형결합에 의한 기하학적 구속을 가지게 된다.

제안된 접착-성형 결합 공정 실험을 통해 다음과 같은 특성을 확인해 볼수 있다...

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

둘째, 결합부 모재의 변형을 막아 접착결합 공정의 급격한 파괴를 막을 수 있을 것으로 기대된다.

셋째, 접착결합 공정과 성형결합 공정과의 강도를 비교함으로써 접착-성형 결합 공정에서 두 공정의 상호관계를 파악할 수 있다.

이러한 특성을 실험을 통해 확인해 보았다.

3. 접착공정의 실험

3.1 접착결합 공정의 절차

접착결합을 성형결합 공정에 적용하기에 앞서 금속 박판을 접착제만을 이용하여 결합함으로써 접착결합 공정의 특성과 그 강도를 파악하여 비교군으로 삼고자 한다.

접착제를 이용한 결합을 최적화하기 위해서는 무엇보다도 접착될 부위가 유막 등의 불순물이 없어야 한다. 따라서 접착될 모재의 접착표면에 대한 세척작업은 반드시 필요하다. 본 실험에서는 세척을 위해 아

세톤(acetone)을 사용하였다. 실험의 절차를 Fig. 3 에 나타내었다.

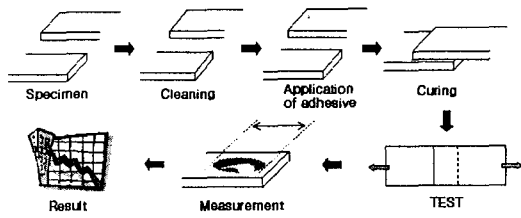


Fig. 3 Procedure of adhesive bonding

일반적으로 금속면을 접착할 때에는 접착력을 최대화 하기위해 접착표면에 경사포 연마(light sanding)를 해주어 접착력을 높인다.⁽³⁾ 그러나 본 실험에서는 균일한 시험 조건을 유지하기 위해 경사포 연마 과정은 거치지 않았다.

금속의 강한 결합력을 유지하는 데는 에폭시(epoxy) 계열의 접착제가 많이 쓰인다. 또한 에폭시 접착제는 경화제가 섞여있는 일액형과 경화제가 분리되어 혼합에서 쓰는 이액형이 있다. 일반적으로 일액형 접착제의 경우 에폭시와 경화제가 섞여있어 보관시 경화를 막기 위해 고온에서만 경화가 되도록 제조되고, 이액형 에폭시의 경우 사용 시 적절한 배합비율로 섞어야 하지만 상온에서 경화되는 장점이 있다. 본 실험에서는 금속접합에 강한 결합력을 가지는 에폭시 계열의 접착제를 사용하며 또한 추가적인 열원 공급이 필요 없는 이액형 에폭시 접착제인 IPCO 9923을 사용하였다.

3.2 접착면적의 결정

접착제에 의한 결합은 접착된 면적이 하중을 분산하기 때문에 접착면적이 결합력에 매우 중요한 요소로 작용한다. 따라서 성형결합의 결합력과 비교를 위해서는 접착면적의 조절이 필요하다. 그러나 실제 접착공정은 일정량의 접착제를 금속표면에 바른 후 접착될 두면을 맞대어 누름으로 인하여 접착제가 박판 사이에서 퍼지게 된다. 이때 접착부는 원형을 유지하나 그 면적은 불균일하여 원하는 접착면적을 조절하기가 힘들다. 따라서 많은 시편에 다양한 양의 접착제를 발라 접착한 후 인장-전단 시험을 통해 파단이 되면 그 파단면을 관찰하여 접착제가 도포된 면의 지

름을 측정하여 그 양을 평균하여 그룹화하고 이를 비교하였다.

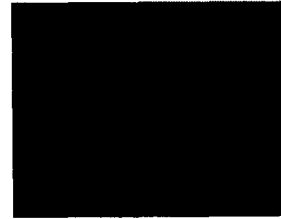


Fig. 4(a) Section of adhesive bonding after test

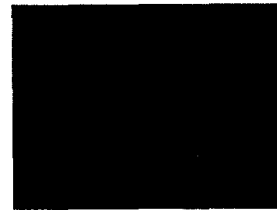


Fig. 4(b) Measurement of bonding area

3.3 결합강도 시험 규격

시험시편의 규격은 점용접과의 비교를 위해 점용접의 시험 규격인 KS B 0851를 이용하여 인장-전단 시험(tensile-shear test)을 수행하였으며 그 규격을 Fig. 5 에 나타내었다.^(6,7)

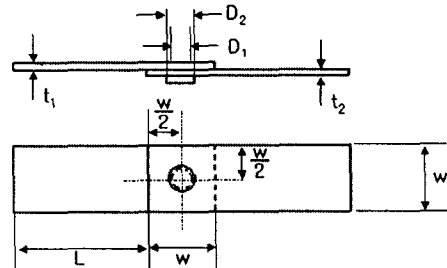


Fig. 5 Tensile-shear test specimen (KS B 0851)

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 1 mm의 DDQ 강판을 사용하였다. 따라서 W와 L은 각각 30 mm와 100 mm로 결정하였다.

3.4 접착결합 공정의 결합강도

접착결합 공정의 경우 접착된 면적에 따라 그 결합강도가 달라지기 때문에 인장-전단 시험을 통해 면적별 강도를 평가하고 적절한 기준이 되는 접착면적을 결정하였다. 실험 후 측정된 면적별로 분류한 후 강도가 크게 차이가 나지 않는 정도에서 그룹을 지정하였으며 각 그룹 당 5개의 실험결과 중 최대와 최소를 제외하고 평균하였다. 접착공정에 대한 인장-전단 시험의 결과 중 특징적인 3가지의 그룹에 대한 평균 파단하중을 Table 2 에 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 2 에서 보는 바와 같이 면적이 증가 할수록 결합강도 역시 증가한다. 이때 접착 지름이 19±2 mm 인 그룹에서 결합강도는 평균 3.39 kN 을 가지며 이는 통상 기계적 결합의 인장전단 강도인 3 kN에 근접한 값이다. 따라서 기계적 결합과의 대등한 비교를 위해 강도가 비슷한 수준인 접착 지름 19±2 mm 내외를 기준면적으로 결정하였다.

4. 접착-성형 결합 공정의 실험

제안된 접착-성형 결합 공정을 앞서 소개된 성형 결합장치를 이용하여 실험하였다. 실험의 절차 및 실험 재료 및 규격은 접착결합공정 실험과 동일하다. 실험 절차 역시 접착결합 공정의 실험과 유사하나 접착 후 성형결합을 한 다음 경화시키는 공정이 추가되었다. 접착-성형공정에서 사용된 성형결합 공정은 앞서 소개된 바가 있는 TOX공정과 2 단계 성형결합 공정을 이용하였다.

시험규격에 맞게 시편을 준비하고, 접착될 부위를 아세톤으로 세척하여 이물질을 제거하고 접착제를 도포한다. 적절한 압력으로 결합부위를 맞대어 접착시킨 후, 기계적 성형결합을 수행한다. 이후 시편의 접착부위를 경화(curing)시켜 접착-성형공정에 의한 박판의 결합을 완성한다. 접착-성형 공정의 실험 절차를 Fig. 6 에 나타내었다.

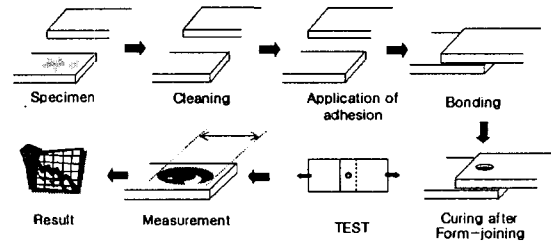


Fig. 6 Procedure of form-joining with the aid of adhesive

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

5. 실험 결과 및 분석

앞서 수행된 각각의 실험 결과는 모두 동일한 조건을 사용하여 실험이 수행되었고 그 결과를 아래 표에 정리하였다.

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-성형 결합 공정의 경우 단순히 성형결합만을 했을 때 보다 38%의 강도가 향상되었다. 또한 2 단계 성형결합 공정에 접착공정을 부과한 경우 강도는 80% 증가하였다.

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

동일한 접착-성형 결합 공정이라도 적용된 성형결합 방식에 따라 강도향상의 차이는 크다. 성형결합의 결합강도가 클수록 접착-성형 결합 공정에서의 강도향상이 큼을 확인하였다.

접착-성형 결합 공정의 강도가 접착결합 공정과 성형결합 공정의 강도의 산술적 합보다 낮은 이유는 접착-성형결합공정에서 성형결합부에서 접착제의 응 파괴등과 같은 접착조건을 변화시키기 때문으로 생각된다.

6. 결 론

성형결합 공정에 접착결합 공정을 부과한 접착-성형 결합 공정을 제안하여 기존의 성형결합 방식에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

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

(2) 접착-성형 결합 공정의 결합강도는 사용되는 성형결합 공정의 결합강도가 클수록 강도향상효과가 크다.

(3) 접착-성형 결합 공정 시 성형결합부의 소성변형은 접착조건을 변화시켜 결합력을 다소간 약화시킨다.

(4) 따라서 접착-성형 결합 공정의 결합강도는 접착결합 공정의 강도와 성형결합의 강도의 산술적 합보다 작다.

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) E.P.Degramo, J.T. Black, R.A. Kohser, 1999, "Materials and processes in Manufacturing", John Willy & Son Inc. 8th edition, pp1051~1058.
- (4) E. Rapp, "Apparatus for connecting thin plate", 1989, United State Patent, Patent no. 4831704.
- (5) L.F.M. da Silva, R.D. Adams, 2002, "The strength of adhesively bonded T-joint", *Int. J. Adhesion & Adhesive*, vol22, pp311~315.
- (6) 한국표준협회, 1980 "점용접 이음의 인장 전단 시험 방법", KS B 0851.
- (7) 한국표준협회, 1980 "점용접 이음의 인장시험 방법", KS B 0852.