https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.1.68

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.
ISSN 2508-5107(Online)

전기자동차 알루미늄 이종소재의 하이브리드 Clinching 접합특성에 따른 기계적 특성

정진욱[a], 김성재[a*], 이선빈[a], 심우정[b], 김병규[b]

Mechanical Properties of Hybrid Clinching Joints of Dissimilar Aluminum in Electric Vehicles

Jin-Uk Jung[a], Seong-Jae Kim[a*], Sun-Bin Lee[a], Woo-Jeong Sim[b], Byeong-Gyu Kim[b]

[a] *Department of Mechanical Eng., The Graduate School of Dong-A University*
[b] *Assistant Manager in the Advance Technical Team, SAEHAN*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 23 November 2020
Revised 6 January 2021
Accepted 20 January 2021

Keywords:
Hybrid clinching joint
Dissimilar material
Aluminum alloy
Interlock

ABSTRACT

Recently, in the automobile industry, the development of technology that can satisfy environmental regulations and fuel economy reduction requirements due to vehicle weight is an important topic. To solve this issue, vehicle-body weight reduction technology is a promising solution. To reduce the vehicle weight, automobiles with a large amount of aluminum use general wire welding (MIG, TIG) to bond aluminum components to each other. However, for complex three-dimensional shapes and dissimilar materials, traditional welding methods of inducing metal bonding and joining access are difficult to implement. Therefore, in such cases, joining techniques should be used. In this study, the mechanical properties of clinching joints without rivets are studied among various mechanical joint methods for weight reduction.

1. 서 론

1.1 연구배경

최근 자동차 산업은 차량 중량으로 인한 연비 절감으로서 환경적 규제와 경제성을 모두 확보할 수 있는 기술의 발전이 중요한 화두이다. 이러한 요구를 해결하려는 방법으로 차체의 경량화 기술을 통해 실현하는 방법에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 또한 전기자동차와 하이브리드 자동차 등과 같은 친환경 자동차의 중량이 약 250 kg 이상 증가할 것으로 예상되므로 최근 경량성을 겸비한 초고장력 강판, CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic), 고강도 알루미늄 등의 다양한 재료들이 자동차 차체 부품에 적용되고 있다. 특히 알루미늄은 낮은 비중에 비해 강도가 비교적 높고 가공성, 내부식성도 우수하여 경량화 재료로 많이 쓰이고 있다. 현재 차체의 알루미늄 사용량이 많은 자동차는 일반 선용접(MIG, TIG) 등을 이용하여 알루미늄 간의 접착을 하고 있다. 하지만 선용접시 용접tip에 이물질 부착, 알루미늄 판재 산화 피막 형성, 복잡한 3차원 형상에서의 용접이 불가한 문제점이 있다. 이 경우에는 접합기술이 사용되어야 하며, Fig. 1과 같이 클린칭(clinching), 셀프 피어싱 리벳(Self-Piercing Rivet) 등과 같은 기계적 접합이 많이 이용되고 있다. 특히 클린칭 접합의 경우, 셀프 피어싱 리벳과는 달리 추가적인 접합요소가 필요하지 않기 때문에 접합 단가가 저렴한 장점이 있다. 클린칭 접합은 라운드 형태의 다이와 펀치를 이용하여 모재에 소성변형을 발생함으로 기하학적 구속을 유도하는 결합방식이다[1]. 하지만 기존의 저항점용접과 비교하여 50~70%의 낮은 결합 강도를 가지기 때문에 Jung[1] 등은 기존의 클린칭 공법에 구조용 접착제를 함께 사용하는 하이브리드 클린칭 접합

* Corresponding author. Tel.: +82-51-200-5716
E-mail address: sjkim641@dau.ac.kr (Seong-Jae Kim).

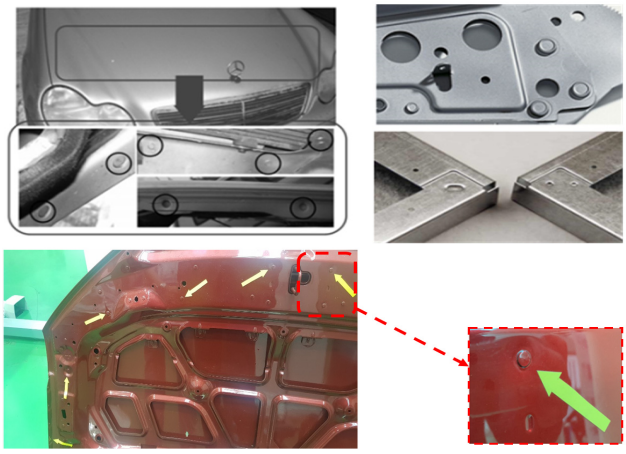


Fig. 1 Automotive parts with clinching joints

(Hybrid Clinching joint)에 대한 성형 연구를 제안하였다[1,2]. 본 연구에서는 알루미늄 이종 소재를 사용하여 하이브리드 클린칭 접합하고 인장강도 및 인터락(Interlock)부의 주요 평가인자를 측정하여 기존의 클린칭 접합과 비교해봄으로 하이브리드 클린칭 접합 특성이 기계적 강도에 미치는 영향 및 제조 공정상 적용 타당성에 관하여 연구하였다.

2. 알루미늄 이종소재 및 Clinching 접합

2.1 알루미늄 이종소재 선정

알루미늄의 특성은 Table 1과 같으며, 최근 Fig. 2와 같이 기존의 자동차 사이드 스트럭쳐에 고강성 알루미늄 소재 패치워크를 적용하여 동등 이상의 충돌성능을 유지하면서 중량은 3.0% 이상 경량화가 가능한 친환경 전기자동차용 알루미늄 패치워크 사이드 스트럭쳐 차체 부품 제조기술에 관한 연구도 진행되고 있다. 이러한 특성에 따라 본 연구에서는 알루미늄 이종소재 6000계 시리즈의 Al6451, 7000계 시리즈의 Al7075를 사용하였다. 6000계열 알루미늄 합금은 다른 알루미늄 합금과 비교하면 압출성, 표면처리성이 뛰어나며 강한 가공에 견디며 복잡한 모양의 부품을 주조하는데 적합하고 용접성, 내식성이 좋으며 전기저항이 낮다. 7000계열 알루미늄 합금은 Zn이 주된 첨가 원소이며 현재 알루미늄 합금 중 최고의 강도를 유지하며 용접성이 좋다.

2.2 Clinching 접합 및 평가인자

클린칭이라는 것은 특수한 형상의 금형을 통해 2장의 판재를 펀치로 Deep Drawing을 한 후 소성 압착으로 결합력을 가지게 만드는 접합공법이다. 연구에서는 Fig. 4의 독일의 Tox사의 모델을 통해 Fig. 3과 같이 라운드 클린칭 공정으로 알루미늄 이종 소재를 접합하였다.

Table 1 Classification of aluminium alloy

Type		Main Component	Series
Processing alloy	Non-heat -treated type alloy	Al	1000
		Al-Mn	3000
		Al-Si	4000
		Al-Mg	5000
	Heat-treated type alloy	Al-Cu	2000
		Al-Mg- Si	6000
		Al-Zn	7000
Casting alloy	Non-heat -treated type alloy	Al-Cu	-
		Al-Mg	-
	Heat-treated type alloy	Al-Cu	-
		Al-Si-Mg	-

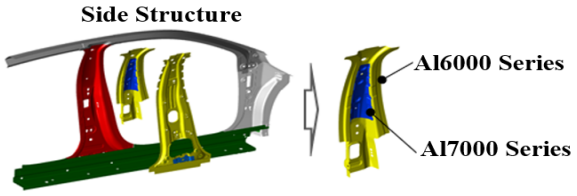


Fig. 2 Aluminium patch work side structure

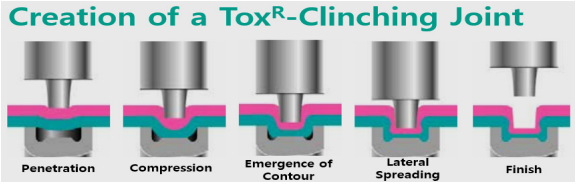


Fig. 3 Creation of clinching joint

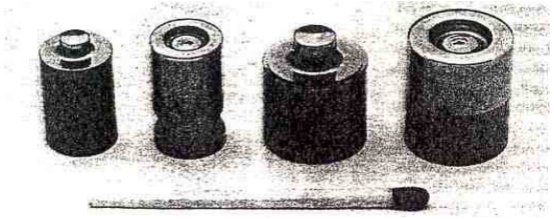


Fig. 4 Punch and die of Tox^R press

클린칭 접합의 강도는 목 두께와 언더컷에 의하여 결정된다는 Lee[3]의 연구에 따라 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 상하판 소재의 인터락(Interlock)부의 목 두께(Neck thickness, N_1, N_2)와 언더컷(undercut, u)을 평가 인자로 측정하여 클린칭 접합 특성을 평가하였다. 또한 인장시험을 수행하여 기존의 클린칭 접합과 하이브리드 클린칭 접합의 평가인자에 따른 파단 하중의 변화를 통해 접합강도를 비교 분석하였다.

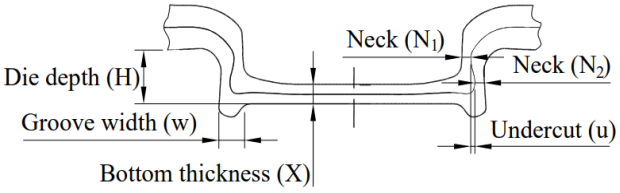


Fig. 5 Geometrical parameters variable dimension

Table 2 Clinching joint specimen condition

Case	Material (mm)			Press force (kN)
	Up	Mid	Low	
#1	Al6451 (2)		Al7075 (1.5)	41
#2	Al6451 (2)	Adhesive	Al7075 (1.5)	

3. 기계적 강도 시험

3.1 이종재 Multi-layer 영향 평가

본 연구에서는 상판 Al7075, 하판 Al6451로 시편을 접합할 경우 Fig. 6과 같이 Al7075의 낮은 연신율로 인하여 단면의 파단이 발생함에 따라 상판 Al6451, 하판 Al7075 조건으로 적층순서를 구성하여 접합하였다. Table 2와 같이 총 2가지 Case로 클린칭 접합을 진행하였으며, 시편의 상판은 Al6451 2 mm, 하판은 Al7075 1.5 mm를 알루미늄 이종 소재로 구성하여 접합하였다. Case #1은 기존의 클린칭 접합공법으로 진행하였으며 Case #2는 구조용 접착제 Type E. 헨켈 제품을 사용한 하이브리드 접합으로 진행하여 Case #1과 비교해봄으로 구조용 접착제가 클린칭 접합의 기계적 강도에 미치는 영향에 대하여 비교하였다. Fig. 7은 일반적인 스트로크-하중 곡선 및 클린칭 접합 과정의 단면을 나타내고 있다. 또한 Multi-layer 적층 순서에 따른 최적의 클린칭 초기 조건을 설정하기 위해 다수의 시험을 통해 접합 Press Force는 41 kN으로 결정하였다.

3.2 정적 시험(인장 시험)

클린칭 접합 인장시험을 위해 Fig. 8과 같이 한국 자동차 연구소의 MTS 810 장비를 사용하였다. 시험 방법은 Fig. 9의 KS B 0801 금속재료 인장 시험편 규격 및 KS B 0802 금속재료 인장시험 방법 규격에 따라 시험을 수행하였다.

3.3 동적 시험(충격 시험)

충격시험은 낙하 충격시험장비를 이용하며 장비 사양 및 충돌 시험 조건은 아래 Table 3와 같다. Fig. 10의 (a)는 전체 충격시험 장치 구성이며 (b)는 기존 스틸 사이드 스트럭쳐 부품, (c)는 Clinching 접합을 적용한 패치워크 사이드 스트럭쳐, (d)는 하이브리드 Clinching 접합을 적용한 패치워크 사이드 스트럭쳐이다. 리니어 슬라이드를 장착하여 충격 발생 시 병진 운동이 가능하도록 하여 차량의 차체바디 충돌조건과 유사한 거동이 나타나도록 시험을 진행하였다.

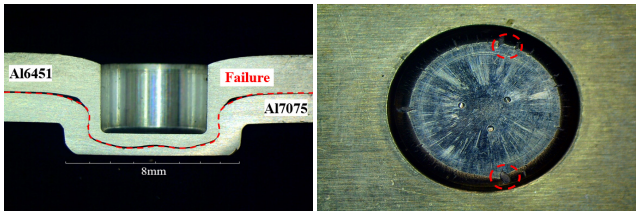


Fig. 6 Failure mode of hybrid clinching joint in Al7075-Al6451

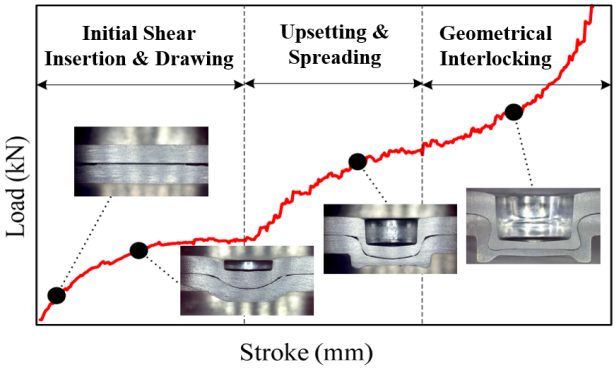


Fig. 7 Typical stroke-load curve and cross-section of clinching joint

Fig. 8 Tensile test machine (MTS810)

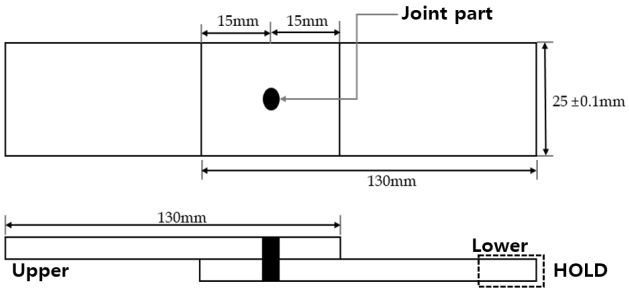
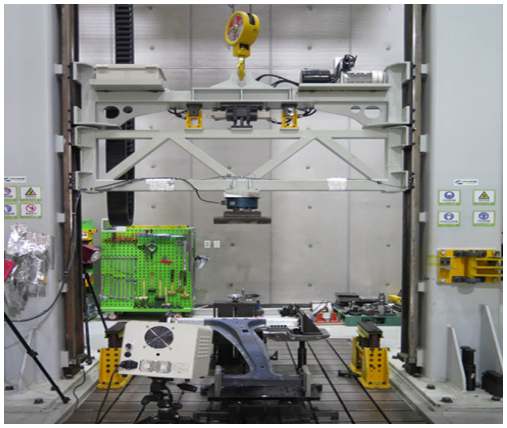
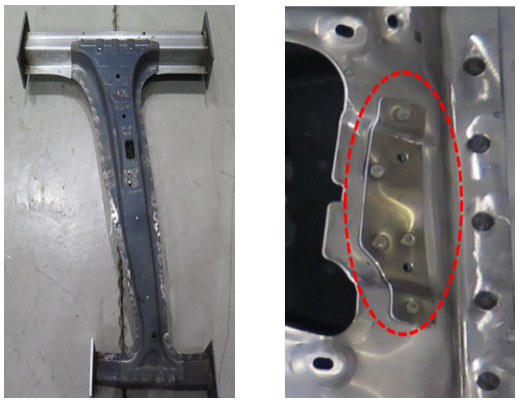


Fig. 9 Tensile test standard method (KS B 0801)

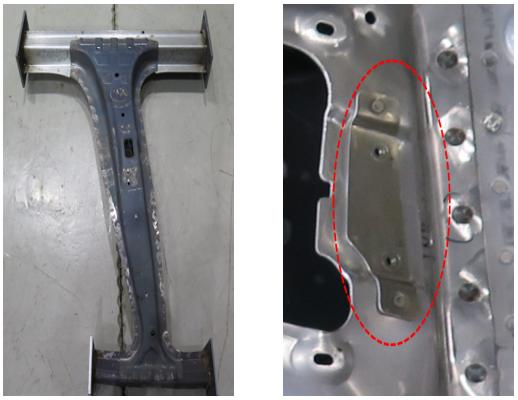


(a) Impact test composition (Suwon University)



(c) Patch work side structure Ⅰ

(b) Steel side structure



(d) Patch work side structure Ⅱ

Fig. 10 Impact test specimen

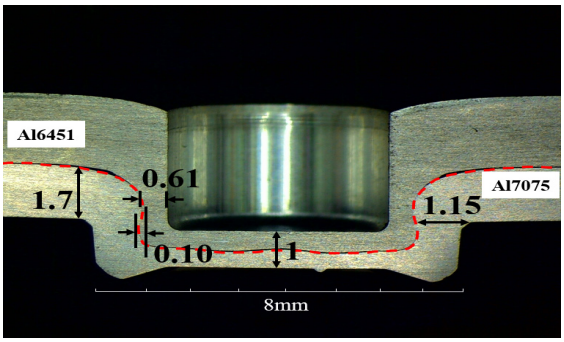
Table 3 Impact test condition

NO.	Item	Value
1	Drop height	Max 6.8 m
2	Impact velocity	Max. 11.5 m/s
3	Impact energy	199.9 kJ

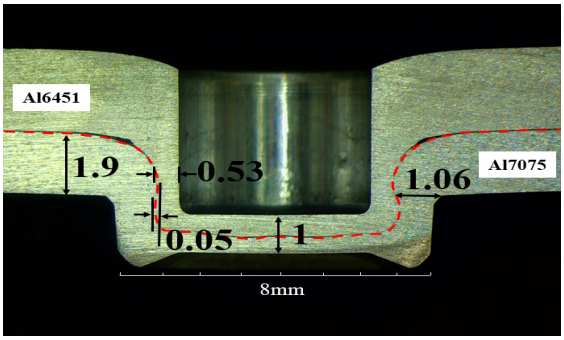
4. 결 과

4.1 인터락(Interlock)부 평가인자 결과

단행정으로 클린칭 접합이 완료된 시편에 대하여 접합 특성은 주요 평가 인자인 목 두께와 언더컷의 측정을 통하여 판단하였으며 목 두께가 얇을 경우 목파괴모드(Neck fracture mode)가 발생한다. 언더컷이 작을 경우 분리파괴모드(Buttom separation mode)가 발생한다. Table 4과 Fig. 11과 같이 Case #1의 경우 목 두께 N1은 0.61 mm, N2는 1.15 mm 언더컷은 0.10 mm 발생하였으며, 구조용 접착제를 사용한 Case #2의 경우 목 두께 N1은 0.53 mm N2는 1.06 mm 언더컷은 0.05 mm 발생하였다. 상대적으로 하이브리드 클린칭 접합의 경우 목 두께 및 언더컷이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 구조용 접착제로 인하여 소재 유동이



(a) Type. A Al6451 - Al7075



(b) Type. B Al6451 - Adhesive - Al7075

Fig. 11 Result of clinching joint cross section factor

Table 4 Clinching joint veriable factor

Parameters (mm)		Case	
		#1	#2
Die diameter (D_d)		8	
Bottom thickness (X)		1	
Neck thickness	(N_1)	0.61	0.53
	(N_2)	1.15	1.06
Undercut (u)		0.10	0.05

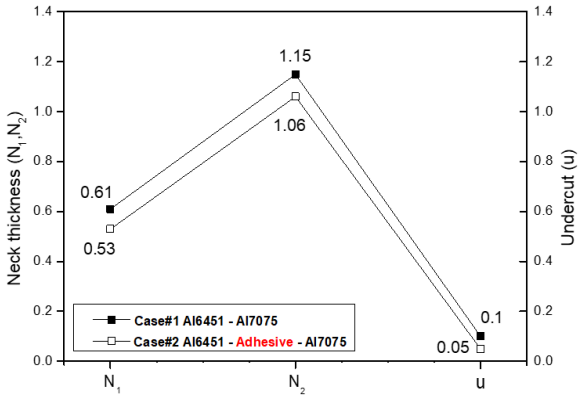


Fig. 12 Clinching joint veriable factor

구속이 되기 때문으로 판단된다.

4.2 정적 시험(인장 시험) 결과

접합 강도를 평가하기 위해 인장시험을 수행하였으며 Case당 3번 측정하였다. 그 결과는 Table 5와 Fig. 13과 같다. Case #1의 경우 평균 인장강도 2124 N, Case #2는 8198 N으로 목 두께 및 언더컷의 성형량은 Case #1 보다 Case #2가 작았으나, 인장강도의 경우 약 3.85배 높은 것으로 평가된다. 이것은 구조용 접착제를 사용할 경우 이종소재의 파단이 발생하지 않는 기준에서의 기존의 클린칭 접합보다 목 두께와 언더컷의 성형량이 감소하더라도 인장강도 기준에서는 더 높은 효과를 발생시키는 것을 볼 수 있다.

4.3 동적 시험(충격 시험) 결과

기존 스틸 사이드 스트럭쳐와 알루미늄 이종 소재 패치워크를 Clinching 접합한 패치워크 사이드 스트럭쳐의 변위량과 충격에너지를 바탕으로 차량용 완제품(검토된 클린칭 접합 특성을 반영한) 상태에서의 Clinching 접합의 충격변위와 충격에너지량을 상호 비교 평가하였다. 결과는 Table 6, Fig. 14와 같이 기존품 대비 변위량은 약 7.6 mm 적게 발생하였으며, 충격에너지량은 0.097 kJ 감소로 거의 동등하게 나타났다. 하이브리드 클린칭 접합의 경우 변위량은 15.7 mm 적게 발생하였으며, 충격에너지량은 0.107 kJ 증가하였다. 스틸 소재에서 6000계 및 7000계 알루미늄 소재

Table 5 Result of tensile test

CASE	Tensile strength (N)			
	1	2	3	Mean
#1	2129	2174	2071	2124
#2	8190	8250	8154	8198
Increase rate	3.84	3.79	3.93	3.85

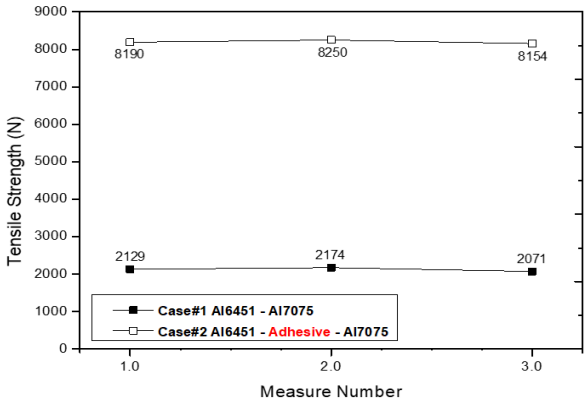
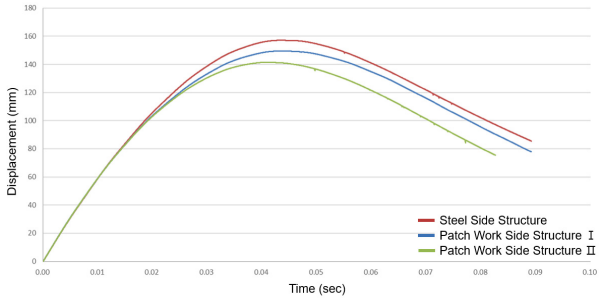


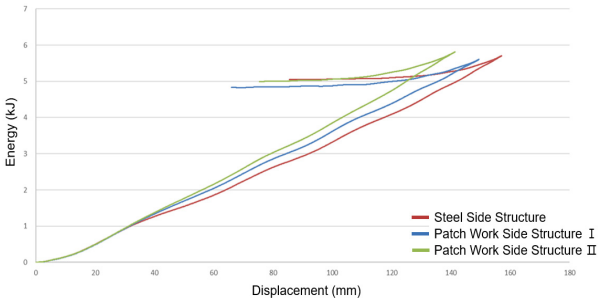
Fig. 13 Result of tensile test

Table 6 Result of impact test

No.	Displacement (mm)	Impact energy (kJ)
Steel side structure	157.1	5.704
Patch work side structure Ⅰ	149.5	5.607
Patch work side structure Ⅱ	141.4	5.811



(a) Time - Displacement graph



(b) Displacement - Energy graph

Fig. 14 Impact test result graph

로 변경되고 기존의 저항점용접이 Clinching 접합으로 변경됨에 따라 충격에너지 흡수량은 동등수준이었다. 다만 충격으로 인한 변위량은 감소한 것으로 판단된다. 이를 통해 소재 변경뿐만 아니라 접합 방법 변경을 통하여 충격에너지량과 변형량 또한 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다

5. 결 론

본 연구에서는 알루미늄 이종 소재를 사용하여 하이브리드 클린칭 접합하고 인장강도 및 인터락부의 주요 평가 인자를 측정하여 기존의 클린칭 접합과 비교해보았으며, 결론은 다음과 같다.

(1) 알루미늄 이종 소재에서 상대적으로 낮은 연신율의 소재가 상판인 경우 단면의 파단이 발생하여 클린칭 접합이 불가능하였다. 이로 인하여 상판 Al6451, 하판 Al7075로 구성하여 클린칭 접합하였다.

(2) 구조용 접착제를 사용하여 하이브리드 클린칭 접합할 경우 목 두께와 언더컷의 성형량은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 구조용 접착제로 인하여 소재 유동이 구속이 되기 때문으로 판단된다. 그러나 인장강도의 경우 하이브리드 클린칭 접합이 기존의 클린칭 접합에 대비하여 평균적으로 약 3.85배 높은 것으로 평가되었다.

(3) 완제품 단계에서의 기존 스틸 사이드 스트럭쳐와 알루미늄 이종 소재 패치워크를 Clinching 접합한 충격시험 비교 결과 변위량은 감소하며, 충격에너지량은 동등한 결과를 나타내었다. 이는 기존 사이드 스트럭쳐 대비 고유 설계 사양을 만족하며, 향후 전기자동차 사이드 스트럭쳐 제조공정 상에서 이종재 도입 및 클린칭 접합이 유효함을 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2020년도 정부(산업통산자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0002092, 2020년 산업혁신인재성장지원사업).

References

[1] Hwang, B. N., Lee, C. J., Kim, J. Y., Lee, S. K., Ko. D. C., Kim, B. M., 2009, Effect of Frictional Characteristics of Adhesive in Hybrid-clinching Process, The Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference, 119-122.

[2] Jung, C. G., Kim, T. J., Yang, D. Y., 2004, Form-joining Process with the Aid of Adhesive for Joining of Sheet Metal Pair, Trans. Mater. Process., 13:4 342-349, https://doi.org/10.5228/KSPP.2004.13.4.342.

[3] Lee, Y. B., Park, Y. K., Jeong, J. S., Kim, H. K., 2000, An Experimental Study on the Strength Evaluation of Mechanical Press Joint, Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, 24:2 438-448, https://doi.org/10.22634/KSME-A.2000.24.2.438.

Jin-Uk Jung
Graduate student in the Department of Mechanical Engineering, Donga University
His research interest is Structural Analysis
E-mail: jjw8608@gmail.com

Seong-Jae Kim
Professor in the Department of Mechanical Engineering, Donga University. His research interest is Fracture Mechanics.
E-mail: sjkim641@dau.ac.kr

Sun-Bin Lee
Graduate student in the Department of Mechanical Engineering, Donga University
His research interest is Structural Analysis
E-mail: dolkong93@naver.com

Woo-Jeong Sim
Assistant Manager in the Advance Technical Team, Saehan Industrial Co., Ltd His research interest is Material Engineering
E-mail: swj1207@saehani.com

Byeong-Gyu Kim
Manager in the Design Team, Saehan Industrial Co., His research interest is Forming Analysis
E-mail: bgkim@saehani.com