

Hole 클린칭을 이용한 고장력강판과 Al6061 이종소재의 접합

안남식* · 이찬주** · 이정민*** · 고대철**** · 이선봉***** · 김병민*†

* 부산대학교 기계공학부, ** 부산대학교 IFAM 국제공동연구소, *** 한국생산기술연구원 동남권지역본부, **** 부산대학교 부품소재산업협력연구소, ***** 계명대학교 기계자동차공학과

Joining High-Strength Steel and Al6061 Sheet Using Hole Clinching Process

Nam-sik Ahn*, Chan-Joo Lee**, Jung-Min Lee***, Dae-Cheol Ko****, Seon-Bong Lee***** and Byung-Min Kim*†

* Dept. of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.

** PNU-IFAM Joint Research Center

*** Dongnam Regional Division, Korea Institute of Industrial Technology

**** PNU-Industrial Liaison Innovation Center, Pusan Nat'l Univ.

***** Faculty of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung Univ.

(Received August 8, 2011 ; Revised March 22, 2012 ; Accepted March 28, 2012)

Key Words : Hole Clinching(홀 클린칭 접합), Mechanical Joining(기계접합), Multi-material Design(이종소재설계), Joint Strength(접합강도), High Strength Steel(고장력강)

초록: 일반적인 클린칭 접합공정에서 고장력강과 알루미늄의 이종소재간의 접합시 고장력강의 낮은 연신율과 높은 강도로 인해 클린칭 접합시 파단이 발생하거나 높은 클린칭 접합하중이 요구된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 클린칭 접합시 고장력강의 변형없이 알루미늄의 변형만을 이용한 홀 클린칭 접합공정을 개발하였다. 고장력강에 홀가공을 적용하여 고장력강의 변형을 배제하였다. 홀 클린칭 접합의 요구접합강도를 기초로 클린칭 접합의 기하학적 구속량을 결정하였으며, 홀 클린칭 금형의 형상은 성형체적 일정조건을 이용하여 설계하였다. 설계된 클린칭 접합공정의 유효성을 평가하기 위해 유한요소해석을 수행하여, 홀 클린칭 접합이 가능함을 확인하였다. 또한 홀 클린칭 접합의 접합강도는 인장전단시험을 통하여 평가하였다. 홀 클린칭 접합강도는 2.56kN 으로 요구접합강도와 비교하여 동등수준 이상의 값을 가짐을 확인하였다.

Abstract: The joining of aluminum and HSS (high-strength steel) by the conventional clinching process is limited by the low formability of HSS. Defects in the clinching joint, such as necking of the upper sheet, cracks, and lack of interlocking, are produced by the different ductility properties of HSS and aluminum. In this study, we propose the hole clinching process for joining Al6061 and SPFC440, in which deformation of SPFC440 is avoided by drilling a hole in the SPFC440. The dimensions of the interlocking in the hole-clinched joint necessary to provide the required joint strength were determined. Based on the volume constant of the hole clinching process, the shapes of the tools were designed by finite element (FE)-analysis. A hole clinching experiment was performed to verify the proposed process. A cross-section of the joint showed good agreement with the results of the FE-analysis. The lap shear strength was found to be 2.56 kN, which is higher than required joint strength.

- 기호설명 -

t_N : 상부소재의 목두께

S : 펀치 행정거리

X : 클린칭 접합의 바닥부 두께

H : 다이깊이, 클린칭 금형의 바닥 깊이

R_p : 클린칭 펀치 반경

R_H : 고장력강의 홀 반경

F_N : 클린칭 접합의 인장전단파단하중

V_H, V_D : 고장력강 홀체적, 다이공동부 체적

V_p : 펀치 성형체적

1. 서론

최근 자동차 산업에서 차체 경량화를 통한 연비 향상을 위한 알루미늄 차체부품의 적용이 확대되

† Corresponding Author, bmkim@pusan.ac.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

고 있다.⁽¹⁻³⁾ 이러한 알루미늄 차체부품의 개발은 기존의 고장력강 부품과의 조립을 위한 이종소재 접합기술을 요구한다. 이종소재 접합은 기존의 저항점 용접기술(resistance spot welding)의 적용이 불가능하기 때문에 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 접합단가가 저렴한 장점이 있어 이종소재 접합기술에 있어 최근 많은 연구가 진행되고 있다.⁽⁴⁻⁷⁾

그러나 알루미늄과 고장력강의 이종소재의 클린칭 접합의 경우, 고장력강의 높은 강도와 낮은 성형성으로 인해 클린칭 접합이 불가능한 경우가 많이 발생한다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ Fig. 1은 고장력강의 클린칭 접합시 발생하는 대표적인 불량사례를 나타낸 것이다.

고장력강의 높은 강도로 인해 불충분한 기하학적 구속과 클린칭 접합의 목부분에서 고장력강의 낮은 연신율로 인한 파단이 발생한다. 또한 고장력강의 높은 강도로 인한 높은 접합력은 클린칭 금형의 파손을 발생시키기도 한다.

본 연구에서는 접합소재인 고장력강에 홀가공을 적용하여 클린칭 접합시 고장력강의 변형을 최소화한 홀 클린칭 접합공정을 설계하였다. 홀 클린칭 금형의 형상은 성형체적일정조건을 활용하여 설계하였으며, 유한요소해석 및 홀 클린칭 접합실험을 통해 설계된 홀 클린칭 접합공정의 유효성을 검토하였다. 또한 인장전단실험을 통해 설계된 홀 클린칭 접합의 접합강도를 평가하였다.

2. Hole 클린칭 접합공정 설계

2.1 Hole 클린칭 접합공정 원리

본 연구에서는 Fig. 2에 나타낸 것과 같이 하부소재는 높은 강도와 낮은 연신율의 특성을 갖는 고장력강을 위치시키고, 상부소재에 알루미늄을 위치시켜 접합하는 홀 클린칭 접합공정을 제안하였다. 제안된 홀 클린칭 접합공정은 상부소재가 소성변형하여 하부소재의 홀을 통과하여 다이 내부로 압입된다. 상부소재가 다이바닥부에 접촉하게 되면, 다이내부는 상부소재에 의해 충전되어 언더컷을 형성한다. 이 때, 일반적인 클린칭 접합시 펀치에 의해 성형되는 하부소재는 홀가공을 통해 미리 제거되기 때문에 하부소재의 변형이 거의 발생하지 않는다. 이로 인해 고장력강의 낮은 연신율 및 높은 강도로 인해 발생하는 문제를 해결할 수 있다.

제안된 홀 클린칭 접합의 경우, 하부소재의 홀가공이 요구되지만, 기존 클린칭 접합에서 불가능 고장력강의 클린칭 접합이 가능한 장점이 있다.



(a) Insufficient undercut



(b) Neck fracture



(c) Tool failure

Fig. 1 Typical defects in mechanical clinching process with high strength steel

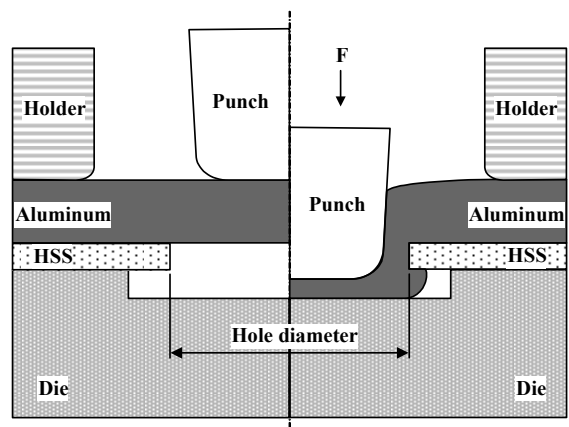


Fig. 2 Schematic drawing of hole clinching

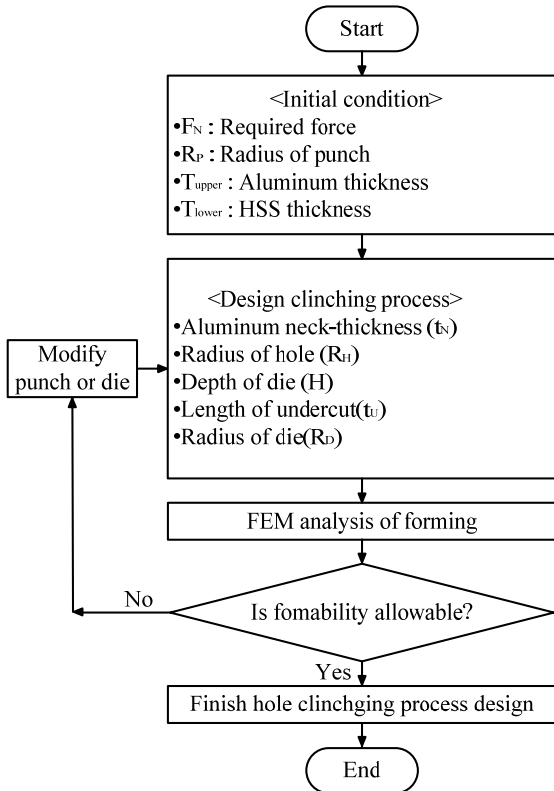
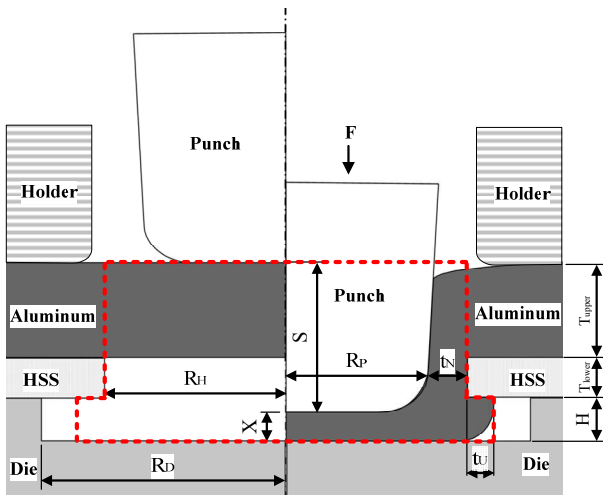
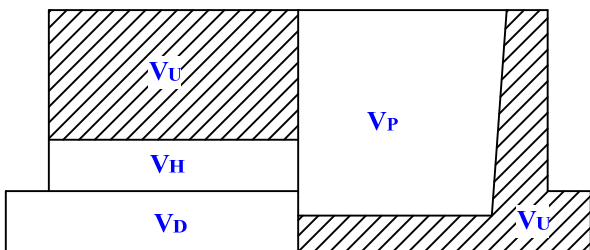


Fig. 3 Flow chart for the hole clinching process design



(a) Variables of hole clinching process



(b) Relation of volume-preserving deformation

Fig. 4 Variables and relation of volume-preserving deformation of hole clinching process

상부소재만 변형되기 때문에 홀 클린칭 접합하중이 낮은 장점이 있다. 그러나 일반적인 클린칭 접합과 비교하여 상부소재의 성형깊이가 증가하기 때문에 상부소재의 성형성을 고려한 클린칭 금형의 설계가 요구된다.

2.2 Hole 클린칭 접합공정 설계

본 연구에서는 Fig. 3에 나타낸 설계절차에 의해 홀 클린칭 접합공정을 설계하였다. 홀 클린칭 접합공정을 설계하기 위해서는 접합소재들의 두께 및 유동특성, 홀 클린칭 접합의 요구접합강도 및 클린칭 펀치직경이 초기조건으로 요구된다. 홀 클린칭 접합의 접합강도는 목두께, t_N 과 언더컷, t_U 에 의해 결정된다.⁽¹¹⁾ 인장전단시험에서 전단력에 의한 상부소재의 파단하중, F_N 은 다음의 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_N = k_f \cdot A_f = k_f \cdot \pi(2R_p \cdot t_N + t_N^2) \quad (1)$$

여기서, k_f 는 상부소재의 파단전단강도이며, A_f 는 상부소재의 목과피면적이다. 주어진 초기조건으로부터 요구접합강도를 만족하는 t_N 을 결정하고, 상부소재의 홀반경, R_H 는 기하학적 조건에 의해 다음의 식 (2)와 같이 결정된다.

$$R_H = R_p + t_N \quad (2)$$

수직방향 하중 작용시, 홀 클린칭 접합의 언더컷은 전단변형을 한다. 홀 클린칭 다이 깊이, H 는 전단변형시 홀 클린칭의 변형부 면적을 결정하는 인자이며, 언더컷의 전단변형에 소요되는 하중, F_S 는 다음의 식 (3)에 의해 결정된다.

$$F_S = k_y \cdot A_S = k_y \cdot 2\pi R_H \cdot H \quad (3)$$

여기서, k_y 는 상부소재의 항복전단강도이며, A_S 는 전단변형면적을 의미한다.

Fig. 4에 나타낸 것과 같이 체적일정법칙에 의해 홀 클린칭 접합 전후의 상부소재 성형체적은 일정하기 때문에 다음의 식 (4)와 같은 관계가 성립한다.

$$V_U + V_H + V_D \geq V_U' + V_P \quad (4)$$

여기서, V_U 와 V_U' 는 상부소재의 클린칭 접합 전후 성형체적을 나타내며, 본 연구에서는 상부소재의 클린칭 접합 전후 성형체적이 동일하다고 가정하였다. V_H 는 하부소재의 홀체적, V_D 는 다이공동부

내부체적, V_p 는 펀치체적을 의미한다. V_U 와 V_H 는 주어진 조건에 의해 계산된다. V_p 는 펀치 행정거리, S 에 의해 결정되며, 기하학적 조건에 의해 식 (5)와 (6)로 표현된다.

$$S = T_{upper} + T_{lower} + H - X \quad (5)$$

$$T_{lower} + H < S < T_{upper} + T_{lower} + H \quad (6)$$

여기서, X 는 홀 클린칭 접합의 바닥부 두께이다. S 가 충분하지 않을 경우, 언더컷을 형성하지 못하므로 식 (3)의 조건이 성립하지 않으며, S 가 필요 이상으로 클 경우에는 상부소재의 성형깊이가 증가하기 때문에 상부소재의 파단이 발생할 수 있다. 일반적인 클린칭 접합에서는 X 값을 접합소재 두께의 합인 40~50% 수준으로 설정한다. 또한 다이 반경 R_D 는 언더컷의 생성을 위해 홀반경 R_H 보다 크게 설계되어야 하며, 홀 클린칭 접합시 성형력에 의한 하부소재의 처짐이 발생하지 않도록 적절한 값을 선택하여야 한다.

본 연구에서 제시한 홀 클린칭 접합의 설계절차는 기하학적 조건을 바탕으로 고안된 것이므로, 홀 클린칭 접합시 상부소재의 유동특성이 충분히 고려되지 않았다. 이를 보완하기 위해서는 유한요소해석을 통해 설계된 홀 클린칭 금형의 유효성을 검토해야 한다. 일반 클린칭 접합과 비교하여 상부소재의 변형량이 많기 때문에 홀 클린칭 접합시 상부소재의 파단이 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 검증이 반드시 필요하다.

3. Hole 클린칭 금형 설계

3.1 Hole 클린칭 금형의 초기 형상설계

본 연구에서는 Fig. 3에 나타난 홀 클린칭 금형설계 절차에 따라 1.6mm 두께의 SPFC440 소재와 2.0mm 두께의 Al6061 소재의 이중소재 홀 클린칭 금형을 초기 형상을 설계하였다. 접합소재의 두께는 자동차 부품에 사용되는 소재 두께 범위에서 결정하였다. 홀 클린칭 접합의 요구접합강도는 셸프 피어싱 리벳의 전단강도의 약 80% 수준인 2.5kN으로 설정하였다.⁽¹²⁾ Table 1과 Table 2에 홀 클린칭 금형설계를 위한 초기조건 및 SPFC440 소재와 Al6061 소재의 유동응력식을 나타내었다. 접합소재들의 유동응력식은 인장시험을 통해 평가하였다.

식 (1)에 의해 요구접합강도 2.5kN 이상을 만족하는 클린칭 접합의 최소 목두께는 0.463 mm로

Table 1 Initial conditions of hole clinching process

Items	Value
Required force(F_N)	2.5 kN
Radius of punch(R_p)	3.6 mm
Al6061(T_{upper})	2 mm
SPFC 440(T_{lower})	1.6 mm

Table 2 Flow stress of Al6061 and SPFC440

Material	Flow stress
Al6061 (2.0t)	$\bar{\sigma} = 538.21\bar{\epsilon}^{0.172}$
SPFC440(1.6t)	$\bar{\sigma} = 787.02\bar{\epsilon}^{0.165}$

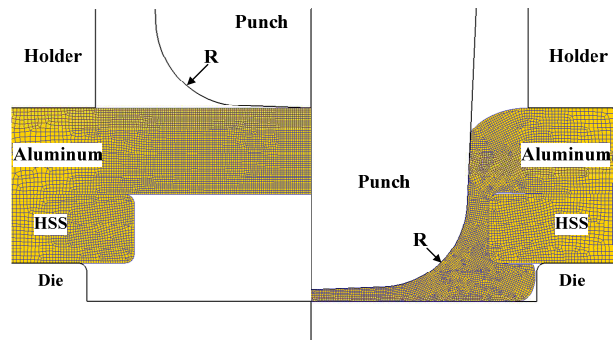


Fig. 5 FE-model for hole clinching process

계산된다. 고장력강 홀가공성을 고려하고, 2.5kN 이상의 접합강도를 보장하기 위해 클린칭 접합의 목두께를 0.5mm로 재설정하였다. 이에 대한 고장력강의 홀직경은 8.2mm로 계산된다.

식 (3)에 의해 다이깊이 H 는 1.0 mm로 계산된다. 계산된 H 와 식 (6)에 의해 펀치행정거리, S 는 2.6~4.6 mm임을 알 수 있다. 최종적인 S 의 값은 유한요소해석을 통해 클린칭 접합의 언더컷 생성 및 상부소재의 파단발생 유무를 통해 결정한다.

3.2 Hole 클린칭 접합공정 해석

유한요소해석을 통해 설계된 홀 클린칭 금형의 유효성을 검토하고, 문제점을 보완하였다. Fig. 5에 설계된 홀 클린칭 금형 및 접합공정을 나타내었다. 앞서 설계된 고장력강의 홀직경, 다이깊이를 반영하였으며 성형부 형상은 원형으로 대칭이므로 축대칭 유한요소모델을 적용하였다. 해석조건으로 Table 2의 물성치를 적용하였고, 금형과 접합소재 간의 마찰 상수는 0.12이며, Al6061과 SPFC440 간의 마찰상수는 0.4로 가정하였다.⁽⁴⁾ 홀 클린칭 접

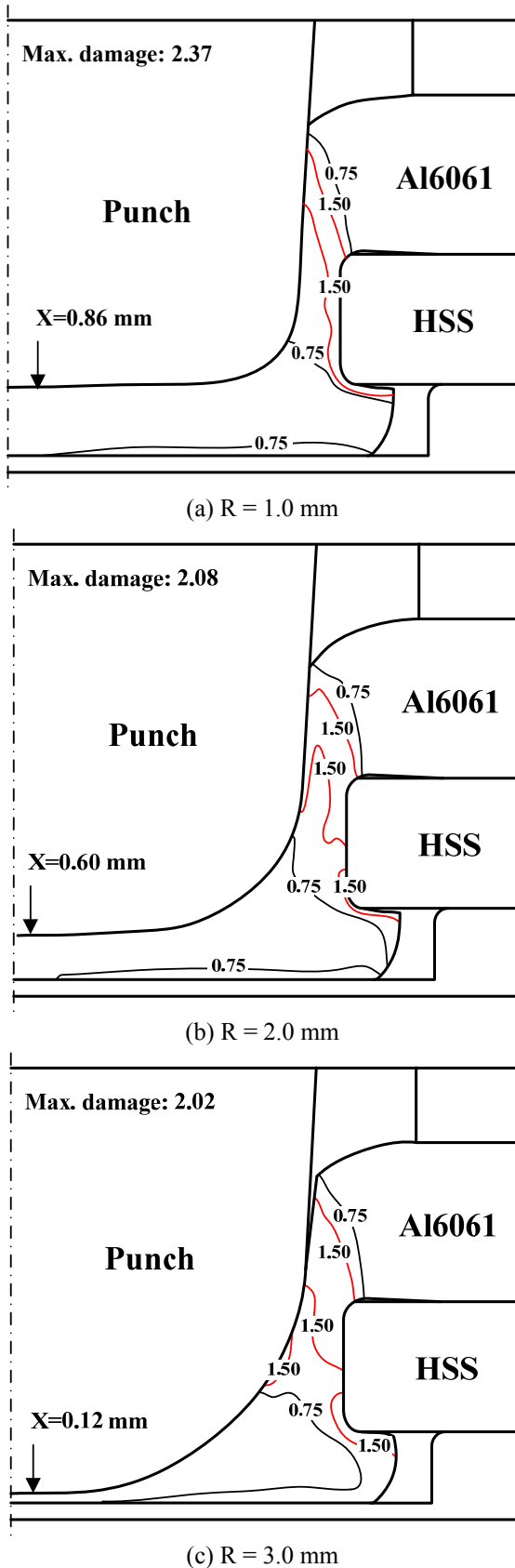


Fig. 6 Damage distributions in upper sheet with variation of punch radius during the hole clinching process

합공정 후 펀치와 접합부의 분리를 고려하여 펀치의 경사각은 2°를 적용하였다.

Fig. 6에 나타낸 것과 같이 접합소재는 홀더에 고정된다. 이 때 초기 홀더력은 6kN이며, 홀더의 스프링상수는 670 N/mm이다. 홀더에 접합부재를 고정 후, 상부소재는 펀치에 의해 다이 공동부로 압입된다. 상부소재가 다이 바닥부와 접촉한 후, 상부소재는 고장력강과 다이 사이의 공간으로 유동하게 되며, 언더컷을 형성하게 된다. 초기 상부소재의 변형거동은 딥드로잉 공정과 유사한 거동을 나타낸다. 딥드로잉 공정에서 소재의 연신율이 부적할 경우, 펀치 접촉부에서 파단이 발생한다. 본 연구에서 제안된 홀 클린칭 접합의 경우, 상부소재가 펀치에 의해 압입될 때, 상부소재의 목부분에서 파단이 발생할 우려가 있다. 상부소재의 목부분 파단을 예방하기 위해 유한요소해석을 통해 상부소재의 데미지 값, D 를 식 (7)의 Normalized Cockcroft & Latham 식을 이용하여 평가하였으며, 여기서 데미지 값이 임계값에 도달하게 되면 소재의 연성과파괴가 발생한다.

$$D = \int_0^{\bar{\epsilon}} \frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} \quad (7)$$

여기서, σ^* 는 최대 인장응력을 의미하며, $\bar{\sigma}$ 와 $\bar{\epsilon}$ 는 유효응력 및 유효변형률이다.

펀치 R의 변화에 따라 언더컷 생성 및 데미지값을 평가하여 펀치행정거리를 결정하였다. 펀치 R이 작을수록 언더컷의 생성이 잘 되지만, 국부적인 변형이 집중되기 때문에 데미지 값이 높게 평가되었다. Fig. 6은 동일한 언더컷의 생성에 따른 상부소재의 데미지 값의 변화를 나타낸 것이다. R=1.0 mm에서 상부소재의 데미지 값이 가장 높게 발생하였으며, 초기 상부소재의 변형시 목부분에서 파단이 예상된다. 유한요소해석 결과, 펀치 R=2.0 mm와 R=3.0 mm에서 상부소재의 최대 데미지 값은 2.08, 2.02로 나타났으며, 서로 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나, R=3.0 mm에서 언더컷을 형성하기 위한 홀 클린칭 접합의 바닥부 두께는 0.12 mm에 불과하였다. 이는 코이닝(coining)효과에 의한 하중증가가 예상되며, 이로 인해 홀 클린칭 접합금형의 파손이 우려된다. 따라서, 본 연구에서는 펀치 R=2.0 mm에서 펀치행정거리로 홀 클린칭 접합조건을 설정하였으며, 펀치행정거리는 식 (5)에 의해 S=4.0 mm로 결정된다.

4. 접합실험 및 접합강도 평가

설계된 홀 클린칭 금형의 유효성을 검증하기 위

해 홀 클린칭 접합실험을 수행하였다. 홀 클린칭 접합실험을 유한요소해석에서 언더컷 형성과 데미지 값이 가장 작게 나타나는 R=2.0 mm 조건과 동일한 형상으로 홀 클린칭 금형을 Fig. 7 과 같이 제작하였다.

본 연구에서 제안된 홀 클린칭 접합공정은 고장력강의 홀 중심, 다이 공동부의 중심 및 펀치의 중심이 동일한 선상에 존재해야 한다. 고장력강의 홀의 중심이 벗어날 경우, 중심선을 기준으로 펀치와 고장력강의 좌우간격이 달라진다. 이로 인해 Fig. 8 에 나타낸 것과 같이 홀 클린칭 접합의 목두께 편차가 발생한다. 펀치와 고장력강과의 좌우간격의 편차가 심할 경우에는 간격이 좁은 쪽으로 변형이 집중되며, 이로 인해 파단이 발생하기도 하였다.

고장력강의 홀 중심을 일치시키기 위해 별도의 고정용 치구를 Fig. 9 와 같이 제작하여 펀치와 고장력강의 간격편차를 최소화 하였다. Fig. 10 은 홀 클린칭 접합실험과 유한요소해석 결과를 비교한 것이다. 펀치의 압입깊이는 유한요소해석과 동일한 4 mm 로 클린칭 접합을 실시하였다. 접합단면을 비교한 결과, 유한요소해석 결과와 유사한 형상을 나타내었다. 유한요소해석에서는 0.507 mm 로 설계된 목두께 0.5 mm 와 유사한 값을 나타내었으며, 홀 클린칭 접합실험에서는 0.512±0.082mm 로 나타났다. 홀 클린칭 접합실험에서 목두께 평균값은 고장력강의 홀 가공시의 가공오차로 인해 발생된 것으로 판단되며, 목두께의 편차는 홀 클린칭 접합실험시 펀치와 고장력강의 간격편차로 인해 발생된 것으로 판단된다.

제안된 홀 클린칭 접합의 접합강도를 인장전단 시험을 통해 평가하였다. 인장전단시험은 Fig. 11 에 나타낸 것과 같이 폭 25 mm, 겹침길이 25 mm 의 인장전단시험편을 제작하여, 5 회 반복수행하였으며, 인장전단하중의 평균으로 접합강도를 평가하였다.

Fig. 12 에 나타낸 것과 같이 모든 시험편에서 홀클린칭 접합의 목부분에서 파단이 발생하였으며, 설계시 활용된 식 (1)의 홀 클린칭 접합의 파단모드와 동일하다. 이를 통해 식 (1)의 홀 클린칭 접합의 접합강도가 유효함을 알 수 있으며, 이는 클린칭 접합설계시 요구접합강도를 만족하는 클린칭 접합의 기하학적 구속량의 예측이 가능함을 의미한다.

Fig. 13 은 인장전단시험에서 각 시험편 접합부의 하중변위 선도를 나타낸 것이다. 접합강도 평

가결과, 인장전단하중이 2.56±0.41 kN 으로 평가되었다. 최대하중의 편차는 고장력강과 홀 클린칭 금형의 중심선의 불일치로 인해 발생한 목두께의

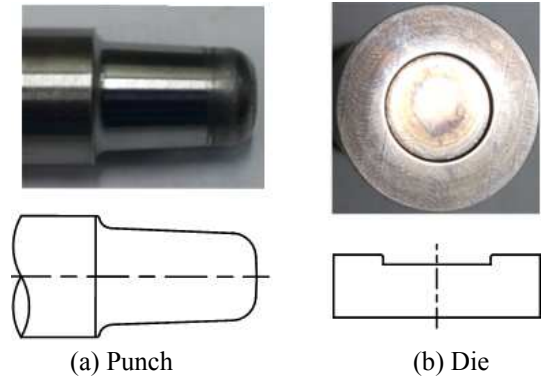


Fig. 7 Shape of the hole clinching tools

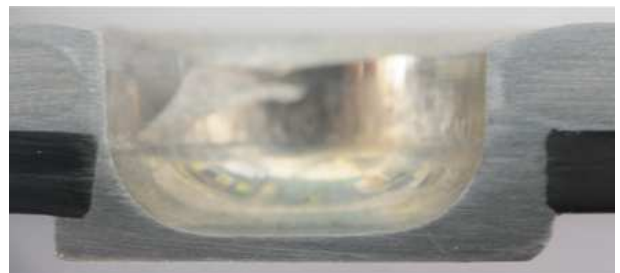


Fig. 8 Deviation of neck thickness of upper sheet

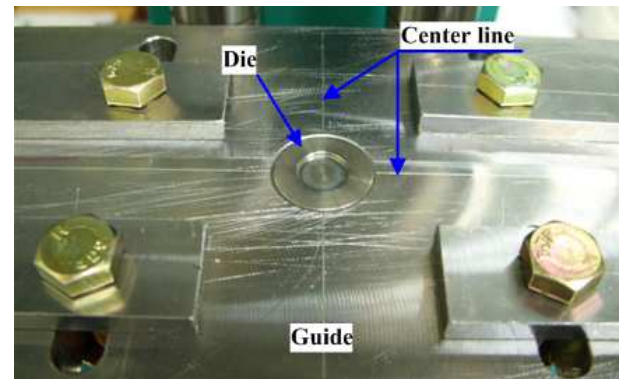


Fig. 9 Guide for alignment of hole clinching process

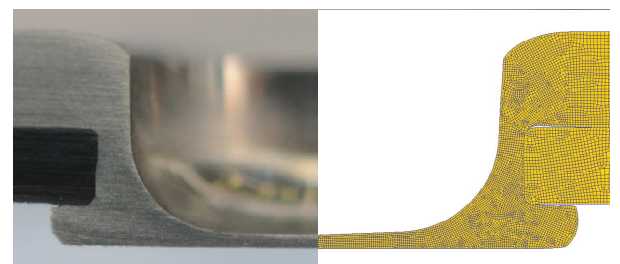


Fig. 10 Comparison of cross-section of hole clinched joint in experiment and FE-analysis

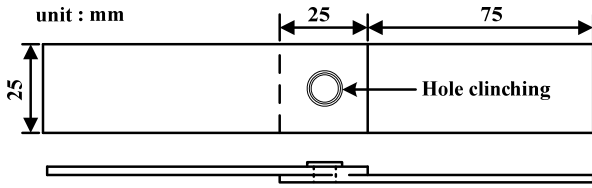


Fig. 11 Dimensions of single lap shear specimen

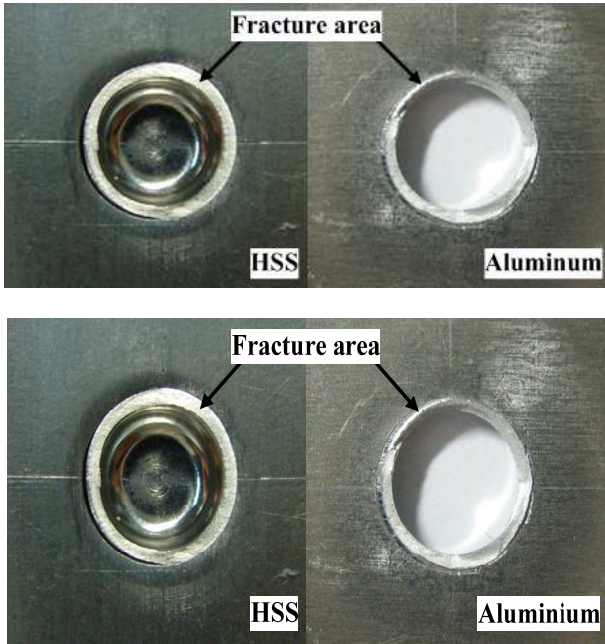


Fig. 12 Fracture mode of single lap shear specimen

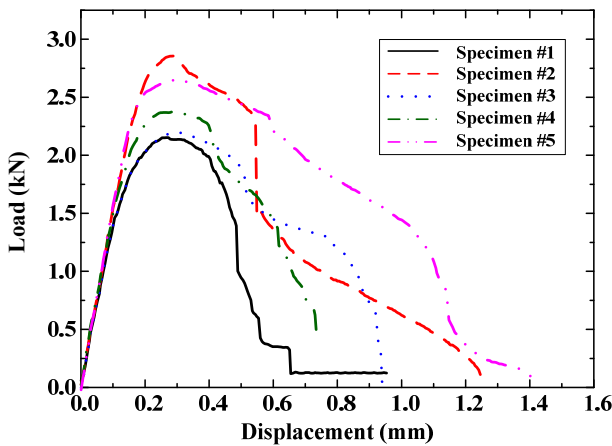


Fig. 13 Load-displacement curves of lap shear specimens joined by hole clinching process

편차가 의해 발생한 것으로 판단된다. 목두께가 얇은 쪽에서 파단이 발생할 경우, 인장전단하중이 낮게 평가되었으며, 반대로 목두께가 두꺼운 쪽에서 파단이 발생한 경우에는 요구접합강도보다 큰 인장전단하중을 나타내었다. 그러나 평균인장전단하중은 요구접합강도 2.5kN 이상의 값을 만족

하므로 SPFC440 과 Al6061 소재를 접합하기 위해 설계된 홀 클린칭 접합공정은 유효하다고 판단되며, 홀 클린칭 접합시 접합강도에 영향을 미치는 목두께 편차가 발생하지 않도록 유의해야 한다.

5. 결론

기존의 클린칭 접합공정은 고장력강의 낮은 연신률과 높은 강도로 인해 알루미늄소재와의 클린칭 접합이 불가능한 경우가 많다. 본 연구에서는 고장력강판(SPFC440)에 홀가공을 적용하여 고장력강의 변형을 배제한 홀 클린칭 접합공정을 설계하여 고장력강판과 Al6061 이종소재를 접합하였다. 또한 인장전단시험을 통해 접합강도를 평가하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 본 연구에서 제안된 홀 클린칭 공정에서 편차 성형체적은 체적일정의 원리와 기하학적 조건에 의해 고장력강의 홀체적과 다이공동부 체적의 합과 같아야 한다.

(2) 제안된 홀 클린칭 접합은 상부소재의 목부분에서 파단이 발생하며, 이 때의 파단하중은 소재의 인장강도와 파단면적을 이용하여 예측할 수 있다. 홀 클린칭 접합공정 설계시, 이를 활용하여 홀 클린칭 접합의 요구접합강도를 만족하는 최소 목두께를 설계할 수 있다.

(3) 홀 클린칭 접합실험 및 인장전단시험을 통해 설계된 홀 클린칭 접합공정의 유효성을 평가하였다. 인장전단시험을 통해 접합부의 인장전단하중은 $2.56 \pm 0.41 \text{ kN}$ 로 평가되었고 요구접합강도 2.5kN 을 만족하였다.

(4) SPFC440 과 Al6061 의 홀 클린칭 성형시 원주방향으로 일정한 목두께를 가지는 접합이 균일하게 이루어지기 위해서는 소재, 금형간의 중심선 정렬이 중요하다. 중심선이 벗어날 경우, 국부적인 변형의 집중으로 인해 클린칭 접합시 상부소재의 파단이 발생한다. 또한 이는 홀 클린칭 접합강도의 편차의 원인이 되기도 한다.

후 기

이 논문은 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 해외우수연구기관유치사업 및 선도연구센터 육성사업(NCRC)과 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

(1) Kim, J. Y., Lee, C. J., Lee, S. K., Ko, D. C. and Kim, B. M., 2009, "Effect of Shape Parameters of Tool on

- Improvement of Joining Strength in Clinching,” *Transactions of Materials Processing*, Vol. 18, No.5, pp.393~400.
- (2) Lim, D. H., Lee, B. W., Rhyu, H. H. and Kim, K. K., 2003, “An Experimental Study on the Strength Evaluation of Al-5052 Tensile-Shear Specimens Using a Mechanical Press Joining Method,” *Trans. of KSMTE(A)*, Vol.12, No. 1, pp.58~64.
- (3) Barnes, T. A., Pashby, I. R., 2000, “Joining Techniques for Aluminium Spaceframes Used in Automobiles Part II – Adhesive Bonding and Mechanical Fasteners,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.99, No. 1-3, pp.72~79.
- (4) Jayasekara, V. R., Noh, J. H., Hwang, B. B., Ham, K. C., Jang, D. H., 2007, “A Study on the Forming Characteristics of Clinching Joint Process,” *Transactions of Materials Processing*, Vol.16, No.8, pp.603~613.
- (5) Varis, J. P., 2006, “Economics of Clinched Joint Compared to Riveted Joint and Example of Applying Calculations to a Volume Product,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 172, pp.130~138.
- (6) Varis, J. et al., 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.
- (7) Lee, Y. B., Chung, C. S., Kim, T. Y., Cha, B. S., 1998, “A Study on the Optimum Conditions for Improving the Joining Strength in Clinch Joint,” *Proceedings of KSME Conference*, pp. 244~249.
- (8) Mucha, J., 2011, “The Analysis of Lock Forming Mechanism in the Clinching Joint,” *Materials & Design*, Vol. 32, pp.4943~4954.
- (9) Lee, C. J., Lee, S. K., Lee, S. B., Kim, B. M., 2010, “Characteristic of Mechanical Clinching for Al5052 to High-Strength Steels,” *Trans. of KSME(A)*, Vol.34, No.8, pp.997~1006.
- (10) Lee, C. J., Kim, J. Y., Lee, S. K., Ko, D. C., Kim, B. M., 2010, “Parametric Study on Mechanical Clinching Process for Joining Aluminum Alloy and High-Strength Steel Sheets,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 24, pp. 123~126.
- (11) Kim, J. Y., Lee, C. J., Lee, S. K., Ko, D. C., Kim, B. M., 2008, “The Effect of Adhesive Layer on Joining Strength of the Hybrid Clinching Joint,” *Proceedings of KSME Conference*, pp.220~225.
- (12) Kim, T. H., Suh, J., Kang, H. S., Lee, Y. S., Park, C. D., 2011, “Fatigue Assessment Using SPR and Adhesive on Dissimilar Materials,” *Journal of KSPE*, Vol. 28, No. 10, pp. 1204~1209.