

A15052 합금소재와 고장력강판의 이종재료 클린칭 접합특성

이찬주* · 이상곤** · 이선봉*** · 김병민*†

* 부산대학교 기계공학부, ** 부산대학교 PNU-IFAM JRC 공학부, *** 계명대학교 기계자동차공학부

Characteristic of Mechanical Clinching for A15052 to High-Strength Steels

Chan Joo Lee*, Sang Kon Lee**, Seon Bong Lee*** and Byung Min Kim*†

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

** PNU-IFAM Joint Research Center, Pusan Nat'l Univ.

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

(Received January 21, 2010 ; Revised June 8, 2010 ; Accepted June 14, 2010)

Key Words: Mechanical Clinching(클린칭 접합), Mechanical Joining(기계적 접합), Multi-Material Design(다중소재), Joint Strength(접합강도), High Strength Steel Sheet(고장력강판)

초록: 차체 경량화를 위해 알루미늄과 같은 경량금속의 사용은 이종소재 사용은 새로운 접합기술을 요구한다. 클린칭 접합은 이종소재 접합기술 중의 하나로 접합소재의 강도차이에 의해 접합특성이 달라진다. 본 연구에서는 A15052 합금소재에 대한 고장력강판(SPFC440, 590, 780)에 대한 클린칭 접합특성을 평가하였다. 유한요소해석과 인장전단시험을 통해 클린칭 접합특성인 클린칭 접합의 기학적 구속량과 접합강도를 평가하였다. 상부소재가 고장력강판인 경우, SPFC780 은 상부소재의 네킹으로 클린칭 접합이 불가능하였다. 또한 상부소재의 강도가 증가함에 따라 접합강도가 증가하는 특성을 나타내었다. 하부소재가 고장력강판인 경우, 기하학적 구속량인 목두께 및 언더컷과 접합강도는 하부소재의 강도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다.

Abstract: For manufacturing modern cars, so-called multi-materials, such as aluminum alloy with high-strength steels, are used. For obtaining such materials, a new joining method is required to achieve the multi-material design. Mechanical clinching is one of joining methods used to join the dissimilar materials. The objective of this study is to investigate the characteristics of mechanical clinching of A15052 alloy to high-strength steels (SPFC440, 590, 780). Using FE-analysis and clinching experiment, the joinability of A15052 alloy to high-strength steel is evaluated by geometrical shape of mechanical clinched joint, such as neck-thickness and undercut. Further, the joint strength is evaluated by performing a single-lap shear test. The upper high-strength steel SPFC780 was not clinched because of the necking of the upper sheet. The joint strength increased with increasing strength of the upper sheet. For the lower high-strength steel sheet, the joinability and joint strength decreased with increasing strength of the lower sheet

- 기호설명 -

1. 서론

- t_N : 상부소재의 목두께
- t_U : 언더컷, 클린칭 접합의 기하학적 구속량
- S : 펀치 행정거리
- X : 클린칭 접합의 바닥부 두께
- H : 다이깊이, 클린칭 금형의 바닥 깊이
- C : 펀치와 다이사이의 간극
- G : 클린칭 금형의 그루부 깊이

자동차 산업에 있어 차체 구조물의 경량화를 위한 이종소재(multi-material)의 사용이 증가하고 있다. 이종소재 적용설계기법(multi-material design)을 차체 구조물에 성공적으로 적용하기 위해서는 이종소재 접합기술이 요구된다.^(1,2) 알루미늄과 같은 경량화 소재는 기존의 저항점 용접의 사용이 불가능하기 때문에 이를 대체할 수 있는 접합기술이 요구되며 최근에는 클린칭(clinching), 셀프 피어싱 리벳(self-piercing rivet) 등이 많이 이용되고 있다.

특히 클린칭의 경우, 셀프 피어싱 리벳과는 달

† Corresponding Author, bmkim@pusan.ac.kr
© 2010 The Korean Society of Mechanical Engineers

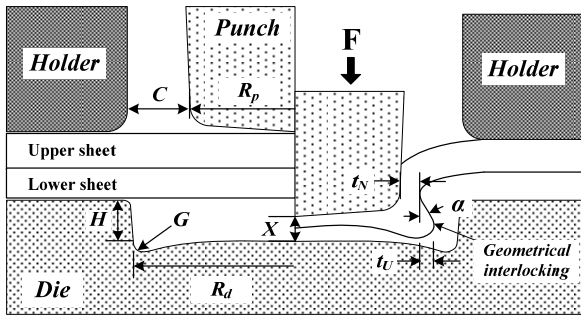
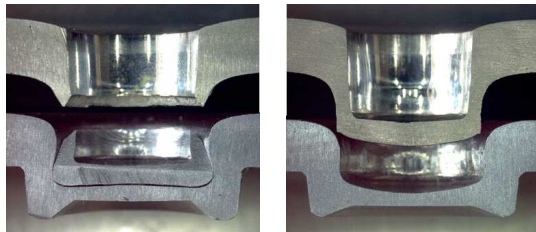


Fig. 1 Schematic drawing of mechanical clinching



(a) Neck-fracture mode (b) Button separation mode

Fig. 2 Typical failure mode of mechanical joint

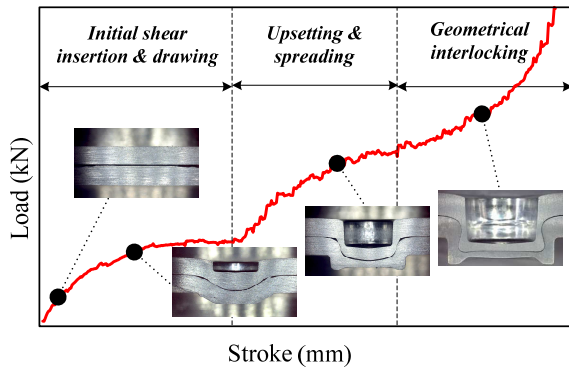


Fig. 3 Typical stroke-load curve and cross-section of joint in mechanical clinching process

리 추가적인 접합요소가 필요하지 않기 때문에 접합단가가 매우 저렴한 장점을 가지고 있다.⁽³⁾ 클린칭 공정은 Fig. 1 과 같이 두 겹 이상의 판재를 가압하여 그루브(groove)를 포함한 다이 내에서 국부적인 소성변형을 발생시켜 기하학적 구속(geometrical interlocking)에 의해 접합하는 방법이다. 클린칭 접합은 기하학적 구속량에 따라 클린칭 접합의 접합강도가 결정된다. 이러한 기하학적 구속은 클린칭 금형뿐만 아니라 접합하고자 하는 판재들의 소성변형 특성에 많은 영향을 받는다.

Lee⁽⁴⁾는 Al5052 소재와 냉간압연강판(SPCC)에 대한 기계적 프레스 접합을 실시하고, 접합부의 강도를 실험적으로 평가하였다. 기계적 프레스 접합부의 접합강도는 재료의 기계적 물성 및 접합금

형의 기하학적 형상이 결정적인 영향을 미치며, 강도와 연성이 좋은 소재가 상부소재로 위치하는 것이 좋다는 결론을 내렸다. 그러나, 최근 차체구조물에 고장력강판과 같이 강도는 우수하나 연성이 나쁜 소재의 사용이 증가함에 따라 이에 대한 이종소재 접합특성 연구가 요구된다. Y. Abe 등⁽⁵⁾은 Al5052 소재와 고장력강판(SPFC 440, 590, 780)에 대한 클린칭 접합시험을 수행하였으며, 고장력강판의 위치에 따른 클린칭 접합특성을 평가하였다. 그 결과, 일반적으로 접합소재의 강도가 높을수록 접합강도 또한 높게 평가되는 경향과는 달리 접합소재의 강도가 높을수록 클린칭 접합부의 접합강도는 오히려 낮게 평가되는 것으로 나타났다. 이는 알루미늄합금소재의 기하학적 구속량을 클린칭 금형 설계시 반드시 고려해야함을 의미한다.

본 연구에서는 차체 구조물에 주로 사용되는 Al5052 소재와 고장력강판(SPFC 440, 590, 780)소재에 대해 클린칭 금형형상에 따른 클린칭 접합특성을 평가하였다. 유한요소법을 활용하여 클린칭 접합공정을 해석하고, 클린칭 공정의 주요 공정변수인 다이깊이, 클리어런스 및 그루브형상이 클린칭 접합의 기하학적 구속에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 클린칭 접합실험을 통해 접합소재의 강도차가 클린칭 접합의 기하학적 구속형성 및 구속량에 미치는 영향을 평가하였다. 인장전단시험(lap shear test)를 수행하여 클린칭 접합의 전단강도를 평가하고, 접합소재의 강도가 클린칭 접합의 접합강도에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 클린칭 접합의 평가인자 및 공정변수

2.1 클린칭 접합의 평가인자

본 연구에서는 Fig. 1 에 나타낸 것과 같이 클린칭 접합의 기하학적 구속인자인 상부소재의 목두께(neck-thickness, t_N)와 언더컷(undercut, t_U)을 이용하여 클린칭 접합특성을 평가하였다. Lee⁽⁶⁾에 의하면 클린칭 접합강도는 목두께와 언더컷에 의하여 결정되며, Fig. 2 와 같이 목두께가 얇을 경우, 목파괴모드(neck fracture mode)가 발생한다. 언더컷의 형성이 작은 경우에는 분리파괴모드(button separation mode)가 발생한다. 클린칭 접합의 접합강도는 인장전단시험을 수행하여 시험편의 파단하중으로 평가하였다. 접합소재의 강도차이에 따른 클린칭 접합의 접합강도 변화를 분석하였다.

2.2 클린칭 접합의 공정변수

Fig. 1 에 나타낸 것과 같이 클린칭 접합공정의 주요 공정변수인 다이깊이(H), 펀치와 다이 간극(C) 및 그루부형상(G)의 영향을 평가하였다. 클린칭 접합공정에서 소재의 압입시 클린칭 펀치가 차지하는 체적은 다이공동부의 부피와 같다. 본 연구에서는 펀치 압입체적으로부터 클린칭 접합공정의 주요변수인 다이깊이, 다이간극 및 그루부깊이의 값에 대한 범위를 각각 결정하였다.

Fig. 3 은 클린칭 접합하중의 변화에 따른 클린칭 접합형상을 나타낸 것이다. 클린칭 접합하중이 증가함에 따라 초기 클린칭 접합은 전단모드의 변형을 하며, 다이바닥과 판재가 접촉한 후에는 접합소재의 바닥부가 압축되는 압축모드 변형을 한다. 이후, 펀치 행정거리가 증가함에 따라 바닥부 소재가 다이 그루부쪽으로 밀려나가면서 기하학적 구속을 형성하게 된다. 이 때 클린칭 접합부의 바닥두께가 감소함에 따라 접합하중이 급격하게 증가하게 된다.

Varis 등⁽⁷⁾은 클린칭 접합시 클린칭 접합부의 바닥두께가 감소함에 따라 접합하중이 증가함을 밝혔으며, 클린칭 접합부의 바닥두께(X)를 클린칭 접합의 특성변수로 설정하였다. 본 연구에서는 클린칭 접합부의 바닥두께는 클린칭 접합시 접합하중을 고려하여 총 두께의 65%로 설정하였으며, 바닥두께가 총 두께의 65%일 때, 클린칭 공정변수에 대한 클린칭 접합특성을 평가하였다.

다이깊이가 깊을수록 펀치행정거리가 증가하게 되며, 이로 인해 초기 전단모드의 변형량이 증가한다. 펀치 행정거리(S)는 다음의 식 (3)과 같이 표현된다.

$$S = (t_1 + t_2) + H - X \tag{1}$$

여기서, t_1 과 t_2 는 접합소재의 두께이다. 초기 전단모드의 변형량이 증가하면 접합부 성형력에 의해 상부소재의 두께감소가 발생하기 때문에 목두께가 감소하는 경향이 나타날 수 있다. 또한 다이 공동부의 체적이 증가하기 때문에 상부소재가 하부소재를 파고들지 못하고, 상부소재와 하부소재가 동시에 다이 그루부쪽으로 밀려나가면서 기하학적 구속을 형성할 수 없다.

간극은 초기 전단모드 변형에 있어 상부소재의 두께변화에 많은 영향을 미친다. 특히, 고장력강과 같은 연성이 나쁜 소재의 경우, 간극이 작을 경우 상부소재의 네킹으로 인한 파단이 발생할 수 있으므로, 적절한 간극의 설정이 중요하다. 또한 다이

Table 1 Mechanical properties of Al5052 and high strength steel sheets

Flow stress	
Al5052 (2.0t)	$\bar{\sigma} = 358.86 \cdot (\bar{\epsilon})^{0.162}$
SPFC440(1.6t)	$\bar{\sigma} = 787.02 \cdot (\bar{\epsilon})^{0.165}$
SPFC590(1.6t)	$\bar{\sigma} = 969.00 \cdot (\bar{\epsilon})^{0.175}$
SPFC780(1.6t)	$\bar{\sigma} = 1177.00 \cdot (\bar{\epsilon})^{0.133}$

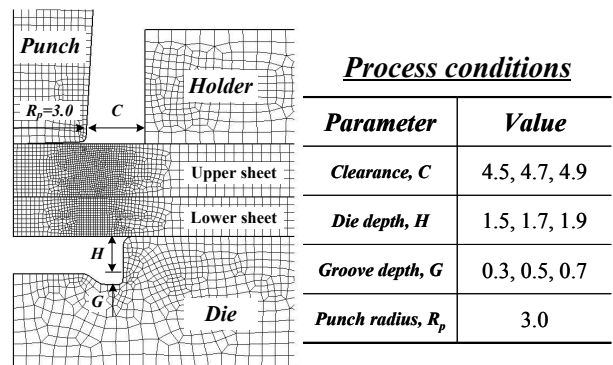


Fig. 4 FE model for mechanical clinching process

깊이와 마찬가지로 간극이 클 경우, 다이 공동부의 체적이 증가하기 때문에 언더컷 형성에 악영향을 미칠 수 있다. 또한 그루부의 경우, 압축변형에 있어 바닥부 소재의 변형방향을 결정한다. 그루부 체적이 클 경우, 그루부를 완전히 채울 때까지 기하학적 구속형성이 진행되지만, 원주방향의 응력이 증가하기 때문에 하부소재의 크랙이 발생할 수 있다. 반면에 그루부의 체적이 작은 경우, 하부소재소재가 다이측벽부에 구속되어, 상부소재가 언더컷을 형성하지 못하고 펀치쪽으로 빠져나갈 수 있다.

2.3 유한요소해석모델

본 연구에서 Fig. 4 에 나타낸 것과 같이 원형펀치와 다이에 의해 국부적으로 성형되므로, 클린칭 접합공정에 대한 축대칭 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석을 통해 이종소재 접합시 강도차이에 의한 접합특성의 변화를 평가하였으며, 또한 고장력강판의 위치에 따라 클린칭 접합특성을 구분하여 평가하였다.

본 연구에서 사용한 Al5052 소재 및 고장력강판 (SPFC440, 590, 780)에 대한 기계적 물성치는 인장시험을 통해 평가하였으며, Table 1 에 나타내었다. 클린칭 접합은 초기 홀더에 의해 상부소재와 하부소재를 고정하고, 펀치가 소재를 다이 내부로 압

입하여 상부소재와 하부소재를 접합시킨다. 이 때, 클린칭 금형과 접합소재간의 마찰상수는 0.12 이며, 상부소재와 하부소재사이의 마찰은 0.35 로 가정하였다.⁽⁸⁾

3. 클린칭 접합특성 I(상부: 고장력강)

고장력강판이 상부소재에 위치할 경우, 초기 전단모드 변형에서 고장력강판의 네킹발생이 우려된다. 본 연구에서는 예비실험을 통해 초기 전단모드 변형시 고장력강판의 네킹 발생여부를 평가하였다. Fig. 5 에 나타난 것과 같이, SPFC780 의 경우 전단변형에 의해 네킹이 발생하여 상부소재의 목부분에서 파단이 발생하였다. 유한요소해석결과 역시 동일한 변형모드를 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 SPFC440 과 590 에 대해서만 유한요소해석을 수행하여 Al5052 소재와 고장력강판과의 클린칭 접합특성을 평가하였다.

3.1 다이깊이(H)의 영향

유한요소해석을 통해 고장력강판이 상부소재에 위치했을 때, 다이깊이를 1.5, 1.7, 1.9 mm 로 변화시켜 클린칭 접합의 목두께 및 언더컷에 대한 다이깊이의 영향을 평가하였다. 이 때 간극은 1.9 mm, 그루부 깊이는 0.5 mm 로 고정하였다. Fig. 6 은 다이깊이의 변화에 대한 클린칭 접합의 목두께 및 언더컷의 변화를 나타낸 것이다. 다이깊이가 증가함에 따라 목두께는 감소하는 경향을 나타내었다. 다이깊이의 증가는 펀치 행정거리의 증가를 의미하므로 초기 전단변형량이 증가된다. 상부소재의 초기 전단변형이 발생하는 부분은 이후 클린칭 접합에 있어 목두께를 형성하는 부분이며, 전단변형이 증가할 경우, 상부소재의 두께가 전단변형에 의해 감소하기 때문에 목두께가 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 고장력강판의 강도가 높을수록 연성이 떨어지기 때문에 다이 깊이가 깊을 경우 목두께가 급격하게 줄어든다.

반면에 언더컷은 증가하는 경향을 나타내었다. 고장력강판이 상부소재인 경우, 하부소재와의 강도차이에 의해 기하학적 구속시 상부소재가 하부소재를 파고들기 쉽기 때문에 펀치 행정거리가 증가할수록 펀치 압입에 의한 바닥부 소재의 그루부 쪽으로 유동량이 많아진다. 이로 인해 언더컷이 증가하는 경향이 나타난다. Fig. 6(a)에 나타난 것과 같이 SPFC440-Al5052 의 경우, H=1.9 에서 언더컷이 오히려 떨어지는 경향이 나타났다. 이것은 다이깊이의 증가에 의해 펀치 압입체적보다 다이공동부

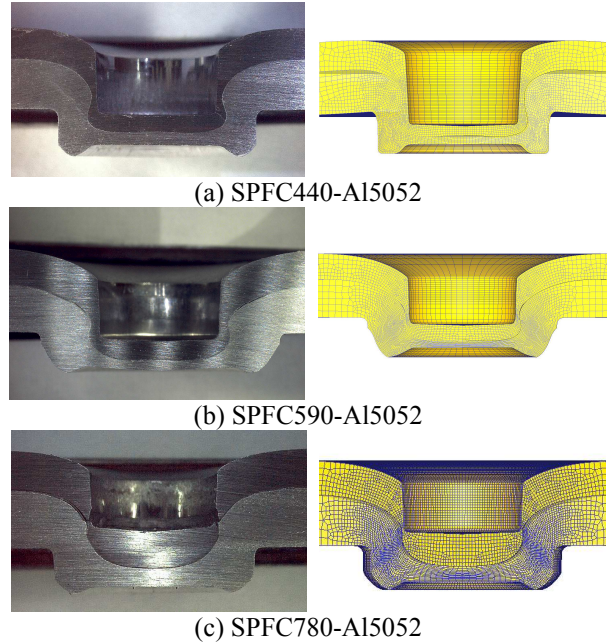


Fig. 5 Result of clinching experiment and FE analysis with upper high strength steel

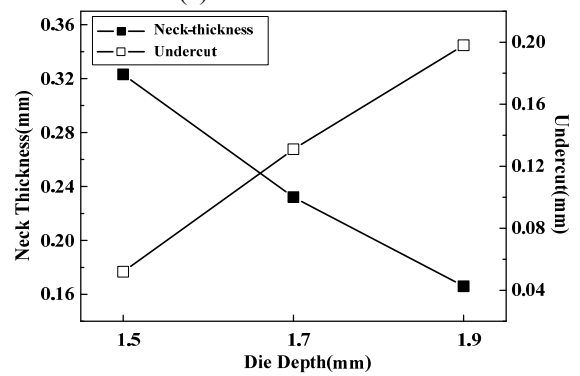
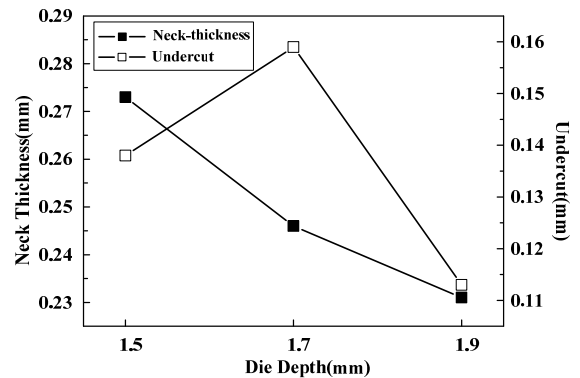
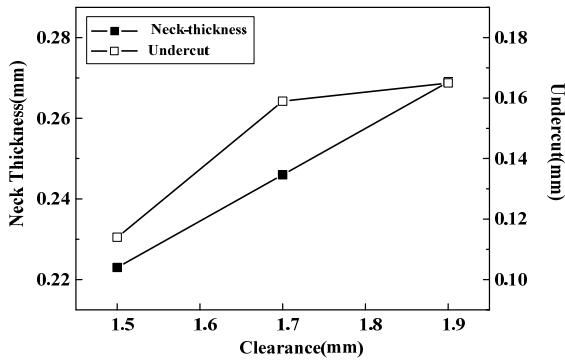
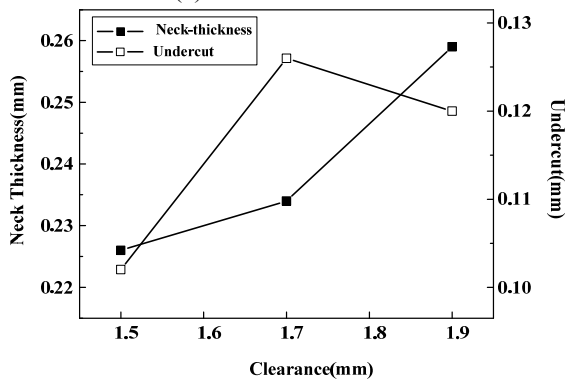


Fig. 6 Effect of die depth(H) on the joinability of Al5052 with upper high strength steel

체적의 증가량이 크기 때문에 하부소재소재가 다이 그루부를 채우지 못하여 클린칭 접합의 기하학적 구속을 충분히 형성하지 못한 것으로 판단된다.

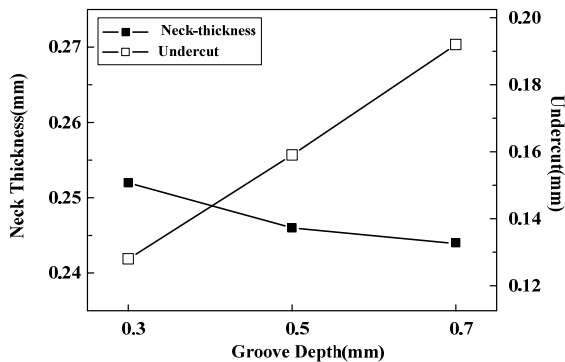


(a) SPFC440-Al5052

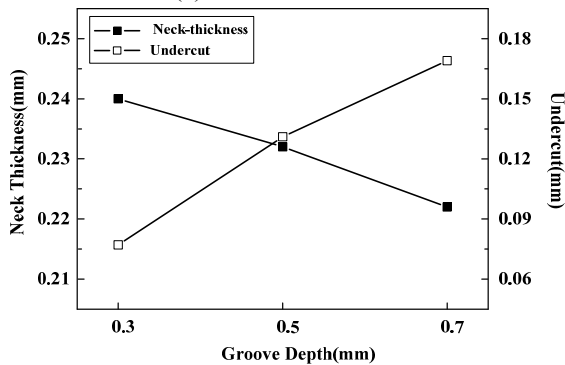


(b) SPFC590-Al5052

Fig. 7 Effect of clearance(C) on the joinability of Al5052 with upper high strength steel



(a) SPFC440-Al5052



(b) SPFC590-Al5052

Fig. 8 Effect of groove depth(G) on the joinability of Al5052 with upper high strength steel

반면에 강도가 더 높은 SPFC590의 경우, 상부소재에 의한 하부소재의 변형량이 SPFC440보다 많기 때문에 언더컷의 생성이 빠르고, 그루부를 완전히 채우기 전에 언더컷이 형성된다.

3.2 간극(C)의 영향

간극을 1.5, 1.7, 1.9 mm로 변화시켜 클린칭 접합의 목두께 및 언더컷에 대한 간극의 영향을 평가하였다. 이 때 다이깊이는 1.7 mm, 그루부 깊이는 0.5 mm로 고정하였다. Fig. 7은 간극의 변화에 대한 클린칭 접합의 목두께 및 언더컷의 변화를 나타낸 것이다. 간극이 증가함에 따라 목두께는 증가하는 경향을 나타내었다. 간극의 증가는 펀치와 하부소재사이 공간의 증가를 의미하므로 상부소재의 목두께를 형성할 수 있는 공간의 증가를 의미하며, 이로 인해 목두께가 증가한다. 상부소재와 하부소재의 강도차이에 대해 간극이 상부소재의 목두께 변화에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 평가되었다.

언더컷의 경우 역시 목두께와 마찬가지로 간극이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 Fig. 7(b)에 나타낸 것과 같이 SPFC590의 경우, C=1.9에서는 감소하는 경향을 나타내었는데 이것은 다이깊이 증가와는 달리 다이 공동부의 체적만 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 상부소재의 전단변형량이 상대적으로 작은 SPFC440의 경우, Fig. 7(a)에 나타낸 것과 같이 언더컷의 증가량이 거의 없으며, 이것은 상대적으로 상부소재의 전단변형량이 작기 때문에 상부소재의 목두께가 SPFC590보다 두껍게 형성되어 바닥부 소재의 체적이 상대적으로 많기 때문에 언더컷의 감소하지 않은 것으로 판단된다.

3.3 그루부깊이(G)의 영향

그루부깊이를 0.3, 0.5, 0.7 mm로 변화시켜 클린칭 접합의 목두께 및 언더컷에 대한 그루부깊이의 영향을 평가하였다. 이 때 다이깊이는 1.7 mm, 간극은 1.9 mm로 고정하였다. Fig. 8은 그루부 깊이 변화에 대한 목두께 및 언더컷의 변화를 나타낸 것이다. 그루부 깊이가 증가함에 따라 목두께는 감소하는 경향을 나타내었다. 그루부 깊이가 증가함에 따라 바닥부 소재가 그루부를 채우기 위해 이동하기 때문에 목부분의 소재 역시 그루부쪽으로 변형하게 된다. 이로 인해 상부소재의 목부분의 소재유동이 발생하여 목두께가 감소하게 된다.

반면에 언더컷은 증가하는 경향을 나타내었다. 클린칭 접합에서 그루부가 하부소재 소재에 의해

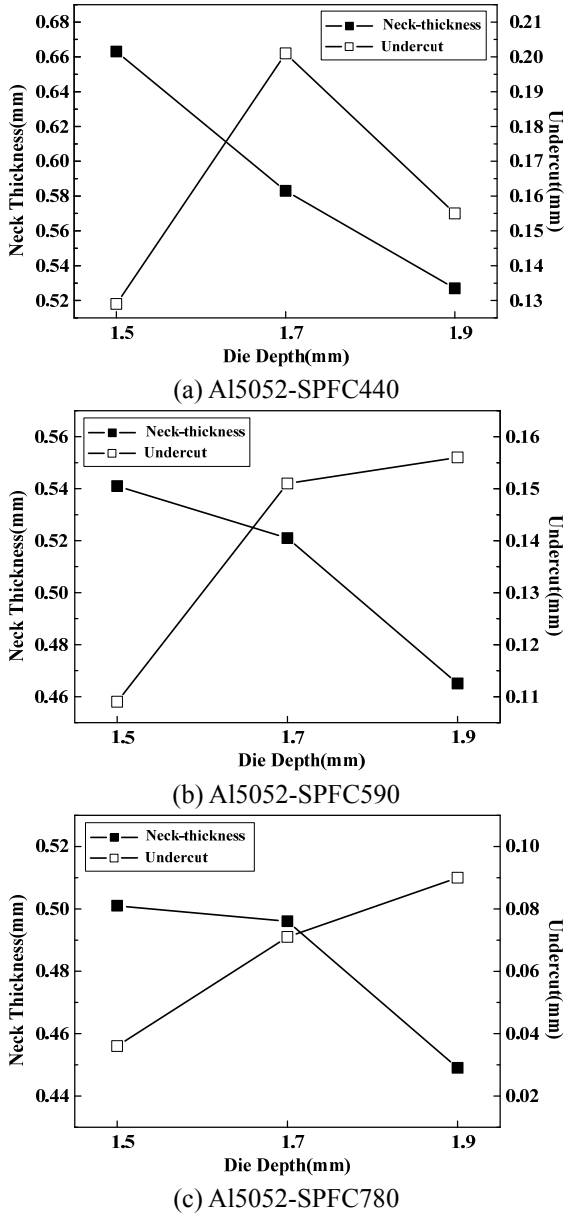


Fig. 9 Effect of die depth(H) on the joinability of Al5052 with lower high strength steel

채워지면 상부소재와 하부소재의 후방압출과 같은 변형이 발생한다. 즉, 그루부 깊이가 증가하면, 그루부 체적이 증가하기 때문에 상부소재와 하부소재의 후방압출 변형을 억제할 수 있다. 후방압출 변형이 억제되면, 바닥부 소재의 유동이 그루부쪽으로 흐르기 때문에 언더컷이 증가하게 된다.

4. 클린칭 접합특성 II (하부: 고장력강)

4.1 다이깊이(H)의 영향

상부소재가 고장력강인 경우와 동일한 유한요소 해석조건으로 고장력강판이 하부소재에 위치했을 때, 클린칭 접합특성을 평가하였다. Fig. 9에 나타

낸 것과 같이 다이깊이가 증가함에 따라 목두께가 감소하는 경향을 나타내었다. 다이깊이가 증가함에 따라 초기 전단모드 변형량이 증가하기 때문에 상부소재의 목두께가 감소하게 된다. 또한 하부소재의 강도가 클수록 Al5052 상부소재의 목두께가 감소하는 것으로 나타났다. 고장력강판이 하부소재에 위치하기 때문에 상부소재와 하부소재의 강도차이에 의해 상부소재의 변형량과 비교하여 하부소재의 변형량이 상대적으로 작으며, 하부소재의 강도가 클수록 하부소재의 변형량이 더욱 작다. 펀치가 상부소재를 압입시 상부소재의 변형에 의해 하부소재가 동시에 변형하지만, 하부소재의 강도가 증가할수록 상부소재의 변형이 집중된다.

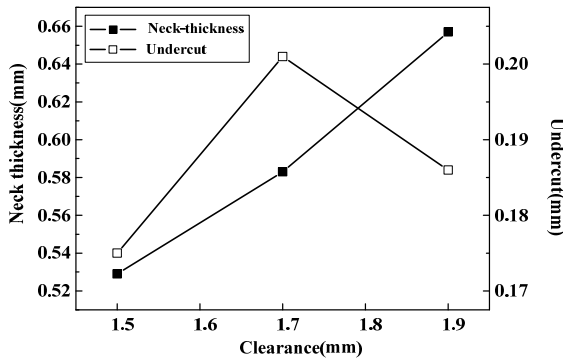
언더컷은 다이깊이가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 9(a)에 나타낸 것과 같이 SPFC440의 경우, H=1.9 언더컷이 감소하는 경향을 나타내었다. 다이깊이의 증가로 인한 다이공동부의 체적이 펀치의 압입체적 보다 크게 증가한다. 이로 인해 다이 그루부를 채우기 시작할 때까지 필요한 체적량이 증가하고 언더컷의 형성시기가 늦어지게 된다. 하지만 펀치 압입체적과 유사한 다이공동부의 체적을 가지는 H=1.7에서는 펀치 행정거리의 증가로 인해 바닥부의 소재가 그루부쪽으로 많이 이동하기 때문에 언더컷을 더욱 많이 형성할 수 있다.

반면에 SPFC 590과 780의 경우 상부소재와 하부소재의 강도차이로 인해 강도가 낮은 Al5052 상부소재가 강도가 높은 하부소재를 밀어내어지지 못하여 다이 그루부를 채우지 못한 상태에서 언더컷이 형성되기 때문에 펀치 행정거리의 증가로 인해 언더컷이 증가한다. 그러나 강도가 낮은 Al5052 상부소재가 강도가 높은 하부소재를 파고들기 힘들기 때문에 상부소재와 하부소재의 강도차가 클수록 언더컷이 작게 형성된다.

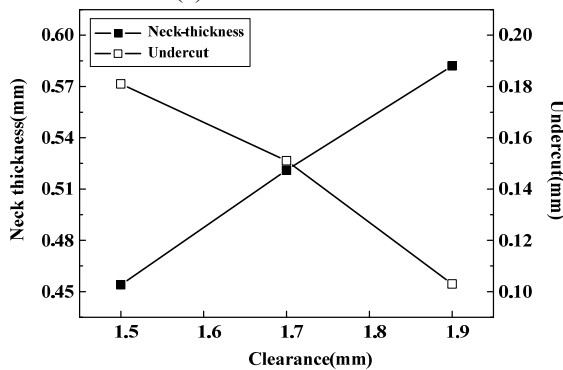
4.2 간극(C)의 영향

유한요소해석을 통해 고장력강판이 하부소재에 위치했을 때, 클린칭 접합의 목두께 및 언더컷에 대한 다이깊이의 영향을 평가하였다. Fig. 10에 나타낸 것과 같이 다이간극이 증가할수록 목두께가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 고장력강판이 상부소재에 있을 때와 동일한 경향이다. 간극이 증가함에 따라 펀치와 하부소재 사이의 간격이 증가하기 때문에 상부소재의 목두께가 증가한다.

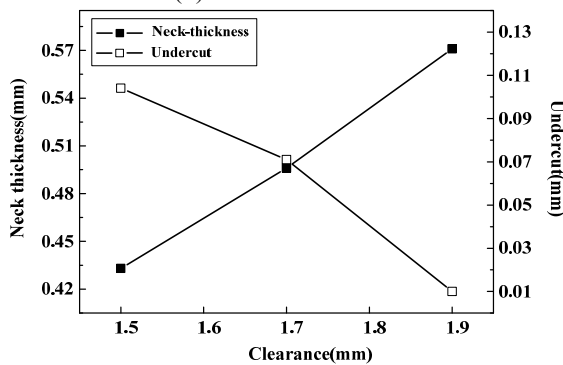
언더컷은 간극이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 간극이 증가함에 따라 다이 공동부의 체적이 증가하게 되고, 이로 인해 하부소재



(a) Al5052-SPFC440



(b) Al5052-SPFC590



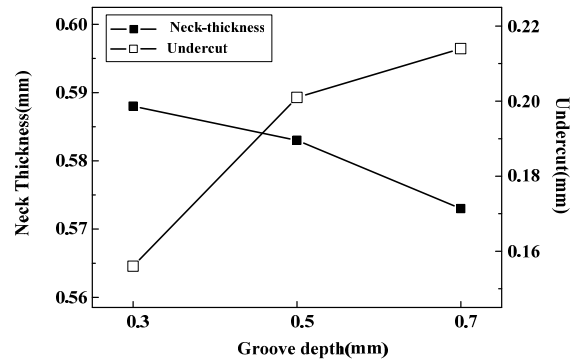
(c) Al5052-SPFC780

Fig. 10 Effect of clearance(C) on the joinability of Al5052 with lower high strength steel

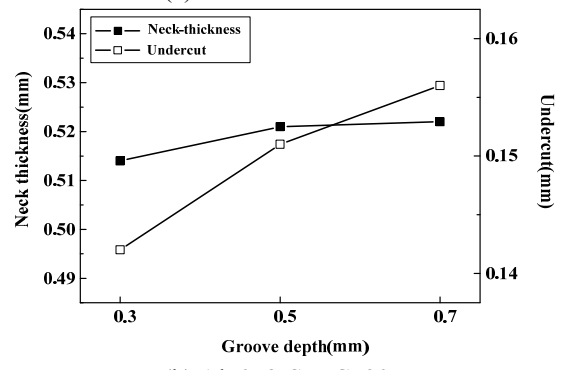
의 변형량은 증가한다. 즉 고장력강의 가공경화량이 증가함에 따라 상부소재가 하부소재를 파괴하여 언더컷을 형성하기 힘들기 때문에 언더컷은 감소하는 경향을 나타낸다. 그러나, Fig. 10(a)의 SPFC440의 경우, 언더컷이 C=1.7까지는 증가하는 경향을 나타내었는데, 이것은 상대적으로 강도가 작은 SPFC440의 가공경화보다는 다이 공동부의 체적이 증가함에 따라 상부소재가 하부소재를 그루부쪽으로 밀어내는 힘이 크기 때문이다.

4.3 그루브깊이(G)의 영향

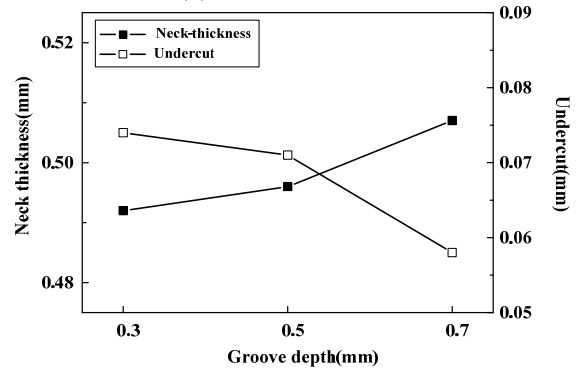
유한요소해석을 통해 고장력강관이 하부소재에 위치했을 때, 클린칭 접합의 목두께 및 언더컷에



(a) Al5052-SPFC440



(b) Al5052-SPFC590

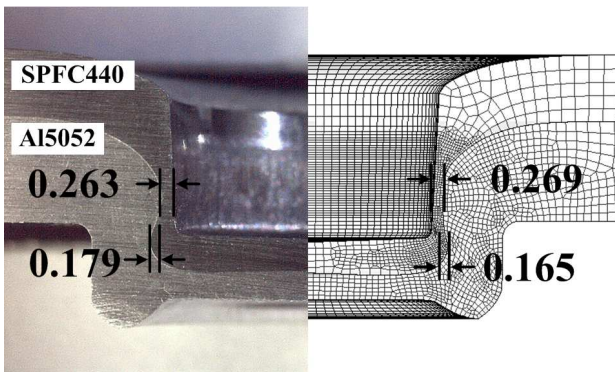


(c) Al5052-SPFC780

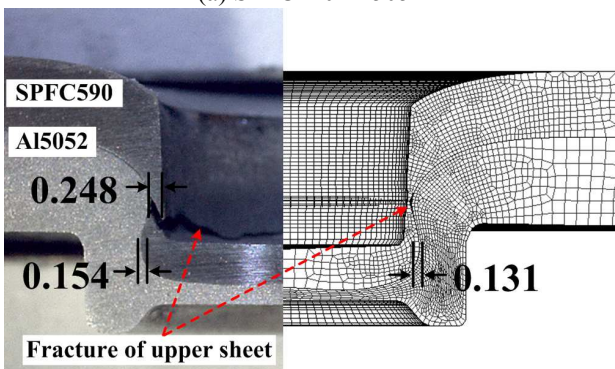
Fig. 11 Effect of groove depth(G) on the joinability of Al5052 with lower high strength steel

대한 그루브 깊이의 영향을 평가하였다. Fig. 11에 나타난 것과 같이 클린칭 접합의 목두께는 하부소재의 강도에 따라 서로 다른 경향을 나타내고 있다. 이것은 하부소재의 강도가 작은 SPFC440의 경우 그루브 깊이가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으며, 이것은 그루브 깊이가 증가함에 따라 그루부쪽으로의 소재유동에 의해 상부소재의 목두께가 감소하는 경향을 나타낸다. 그러나, Fig. 11(b)와 (c)에 나타난 SPFC590와 SPFC780의 경우, 하부소재의 강도가 크기 때문에 그루부쪽으로의 소재유동이 작으며, 이로 인해 목두께의 변화가 거의 없었다.

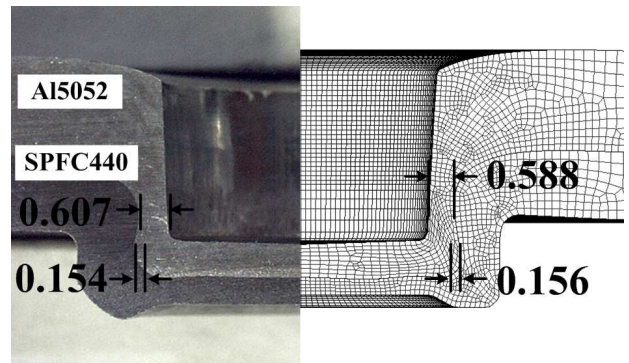
언더컷의 경우, 그루브 깊이가 증가함에 따라



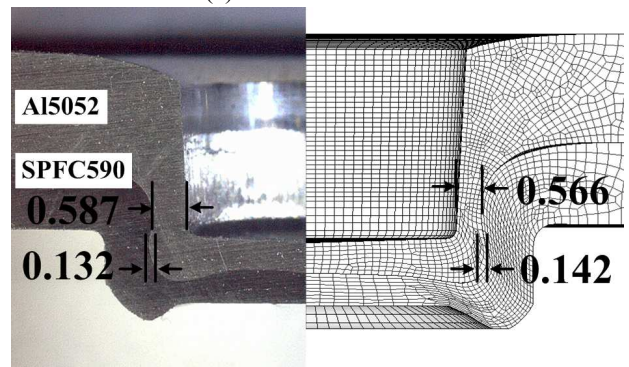
(a) SPFC440-Al5052



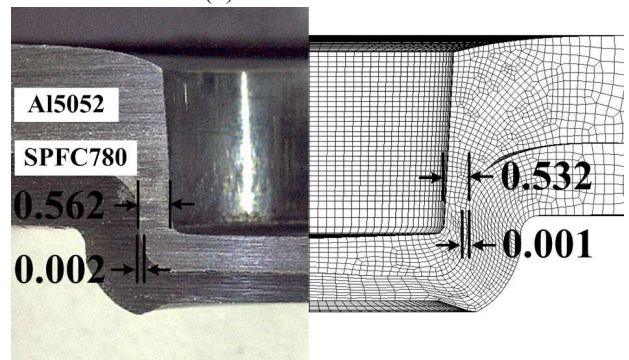
(b) SPFC590-Al5052



(a) Al5052-SPFC440



(b) Al5052-SPFC590



(c) Al5052-SPFC780

Fig. 12 Cross-section of joint for upper high strength steel sheet, SPFC440 and SPFC590

증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 11(a)에 나타낸 SPFC440의 경우, 그루부가 바닥부 소재에 의해 완전히 채워지면서, 언더컷을 형성하였다. 그러나 SPFC590과 SPFC780의 경우, 상부소재와 하부소재의 강도차이로 인해 그루부를 완전히 채우지 못하지만, 상대적으로 강도가 낮은 SPFC590의 경우, 상부소재가 하부소재를 파괴되면서 언더컷을 형성한다. 반면에 상부소재와 하부소재의 강도차이가 가장 큰 SPFC780의 경우, 상부소재가 하부소재를 파괴하지 못하기 때문에 언더컷의 형성이 크게 없는 것으로 나타났다.

5. 이종소재 클린칭 접합의 접합강도

5.1 이종소재 클린칭 접합실험

이종소재 클린칭 접합의 접합강도를 평가하기 위해 클린칭 접합실험을 수행하였다. 또한 클린칭 접합단면을 관찰하여 유한요소해석 결과를 검증하였다. 클린칭 접합실험은 유한요소해석시 언더컷이 많이 형성된 조건인 $H=1.7$, $C=1.9$ 및 $G=0.5$ 에 대해 클린칭 금형을 제작하여 수행하였다.

Fig. 12는 상부소재가 고장력강인 경우에 대한 클린칭 접합단면을 나타낸 것이다. 연신율이 낮은

Fig. 13 Cross-section of joint for lower high strength steel sheet, SPFC440, SPFC590 and SPFC780

SPFC590의 경우, 상부소재의 목부분에서 부분적으로 네킹에 의한 크랙이 발생하였다. 언더컷은 SPFC440이 SPFC590보다 더 많은 언더컷을 형성하였다. 강도가 낮은 SPFC440의 경우, 펀치 압입시 바닥부의 상부소재의 두께의 압축되어 바깥쪽으로 잘 퍼지기 때문에 SPFC590보다 더 많은 언더컷을 형성한다.

Fig. 13은 하부소재가 고장력강인 경우에 대한 클린칭 접합단면을 나타낸 것이다. Al5052 상부소재의 목두께는 고장력강이 상부소재인 경우와 비교하여 2배 이상의 목두께를 형성하였다. 유한요소해석과 비교하여, 하부소재의 강도가 높을수록 감소하는 동일한 경향을 나타내었다. 특히 SPFC780의

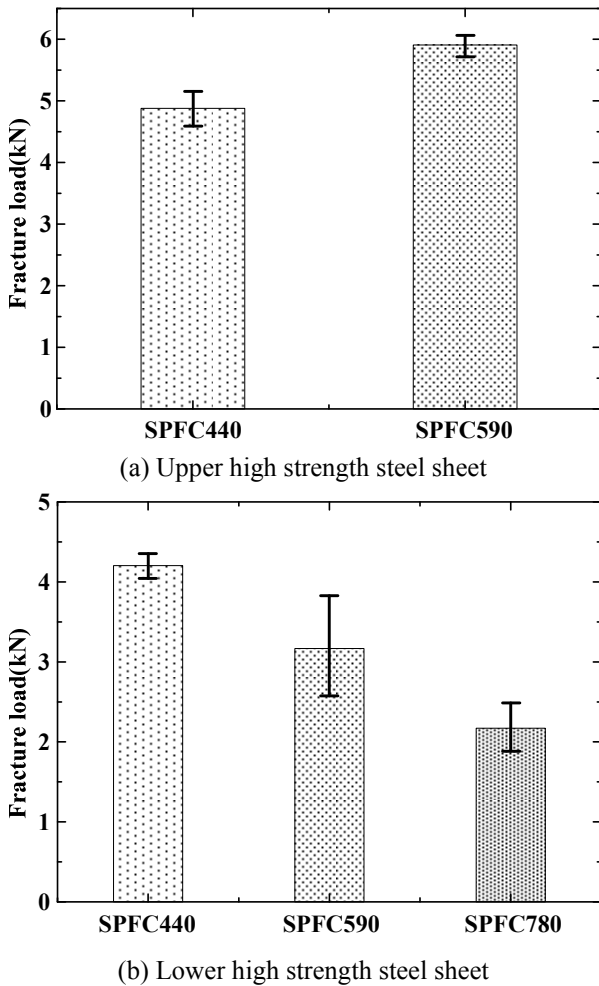


Fig. 14 Joint strength of mechanical clinched joint with Al5052 alloy and high strength steel

경우, 언더컷이 거의 형성되지 않았으며, 일부 시험편의 경우, 언더컷이 형성되지 않는 경우도 발생하였다.

5.2 이중소재 클린칭 접합의 인장전단시험

이중소재 클린칭 접합의 접합강도를 평가하기 위해 인장전단시험을 수행하였으며, 접합강도는 인장전단시험편의 파단하중으로 평가하였다. 사용된 시험편의 치수는 폭 25mm, 길이 100mm 및 겹침길이 25mm 로 제작하였다. 클린칭 접합은 클린칭 접합실험과 동일한 조건에서 수행하였으며, 크랙이 발생한 SPFC590 의 경우, 펀치 압입거리를 조절하여 크랙이 발생하지 않는 조건에서 인장전단시험편을 제작하였다. Fig. 14(a)는 상부소재가 고장력인 경우에 대한 클린칭 접합의 인장전단강도를 나타낸 것이다. 인장전단시험결과, SPFC440 의 인장전단강도는 4.88±0.241kN 으로 평가되었으며, SPFC 590 은 5.091±0.131kN 으로 평가되었다.

SPFC590 의 경우, 목두께 및 언더컷의 형성량이 SPFC440 보다 작았으나, 강도가 높기 때문에 목두께 및 언더컷 변형에 더 많은 힘을 필요로 한다. 이러한 이유로 SPFC590 의 인장전단강도가 SPFC440 보다 높게 평가되었다.

반면에 Fig. 14(b)에 나타난 하부소재가 고장력강인 경우에는 클린칭 접합의 인장전단강도가 접합소재의 강도차이에 대해 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 목두께 및 언더컷의 형성량이 접합소재의강도차이가 클수록 감소하기 때문이다. 또한 인장전단시 주된 변형을 하는 소재는 목두께 및 언더컷을 형성하는 상부소재인 Al5052 소재이기 때문에 상부소재가 고장력강인 경우보다 고장력강의 사용효과가 상대적으로 작게 나타난다.

6. 결론

본 연구에서는 자동차 차체 구조물에 주로 사용되는 Al5052 소재와 고장력강판(SPFC440, 590, 780)에 대한 클린칭 접합특성을 평가하였다. 클린칭 접합특성은 유한요소해석과 인장전단강도 시험을 통해 평가하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 상부소재가 고장력강인 경우, 고장력강의 낮은 연신율로 인해 상부소재에 네킹이 발생할 수 있으며, 이로 인해 SPFC780 에 대해서는 클린칭 접합이 불가능하였으며, SPFC590 의 경우, 언더컷을 형성하지만 상부소재의 목부분에서 일부 균열이 발생하였다.
- (2) 또한, 접합소재의 강도차이가 클수록 목두께와 언더컷은 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 강도차이로 인해 상대적으로 강도가 작은 Al5052 소재의 변형량이 증가하기 때문이다. 그러나 접합소재의 강도차이가 클수록 인장전단강도는 높게 평가되었다.
- (3) 하부소재가 고장력강인 경우, 접합소재의 강도차이가 클수록 목두께와 언더컷, 인장전단강도는 감소하는 경향을 나타내었다. 특히 SPFC780 의 경우, 클린칭 접합이 가능하였으나 언더컷이 거의 형성되지 않았다.

후 기

이 논문은 2009 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2009 년-K20601000004-09E0100-00410)

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,” *Trans. of Mat. Proc.*, Vol. 18, No. 5, pp. 393~400.
- (2) Lim, D.H., Lee, B.W., Rhyu, H.H. and Kim, H.K., 2003, “An Experimental Study on the Strength Evaluation of Al-5052 Tensile-Shear Specimens Using a Mechanical Press Joining Method,” *Trans. of KSMTE*, Vol. 12, No. 1, pp. 58~64.
- (3) Varis, J. P., 2006, “Economics of Clinched Joint Compared to Riveted Joint and Example of Applying Calculations to a Volume Product,” *J. of Mat. Proc. Tech.*, Vol. 172, pp. 130~138.
- (4) Lee, Y.B., Park, Y.K., Cung, C.S and Kim, H. K., 2000, “An Experimental Study on the Strength Evaluation of Mechanical Press Joint,” *Trans. of KSME A*, Vol. 24, No. 2, pp.438~447.
- (5) Abe, Y., Matsuda, A., Kato, T. and Mori, K., 2008, “Plastic Joining of Aluminium Alloy and High Strength Steel Sheets by Mechanical Clinching,” *Steel Res. Int.* Vol. 79, pp. 649~656
- (6) Lee, C.J., Kim, J.Y., Lee, S.K., Ko, D.C. and Kim, B.M., 2010, “Design of Mechanical Clinching Tools for Joining of Aluminium Alloy Sheets,” *Materials & Design*, Vol. 31, pp. 1854~1861.
- (7) Varis, J. and Lepisto, J., 2003, “A Simple Testing-Based Procedure and Simulation of the Clinching Process Using Finite Element Analysis for Establishing Clinching Parameters,” *Thin Wall Struct.*, Vol. 41, pp. 691~709.
- (8) Bhushan, B., 1999, New York, John Wiley & Sons, Principles and Applications of Tribology.