

초고장력강과 알루미늄 5052 소재의 클린칭 접합특성

이찬주¹·김재영¹·이상곤²·고대철³·H. Schafer⁴·김병민[#]

Joint characteristics of advanced high strength steel and Al5052 alloy in the clinching process

C.J. Lee, J.Y. Kim, S.K. Lee, D.C. Ko, H. Schafer, B.M. Kim

Abstract

The purpose of this study is investigating the joint characteristics of advanced high strength steel DP780 and Al5052 alloy sheet in the clinching process. It is difficult to join the advanced high strength steel with light-weight materials like aluminum alloy, because of low formability of DP780. The defects of clinching joint such as necking of the upper sheet, cracks of the lower sheet and no interlocking were occurred by different ductility between advanced high strength steel and aluminum alloy. The clinching conditions should be optimized to interlock without any defects. In this study, the effect of process parameters of clinching process on joinability of advanced high strength steel with Al5052 alloy was investigated by using FE-analysis. From the result of FE-analysis, the clearance between clinching punch and die, die depth and the shape of die cavity mainly affected the joinability of advanced high strength steel with Al5052 alloy.

Key Words : Clinching (클린칭), Mechanical joining(기계접합), Advanced high strength steel(초고장력강)

1. 서론

차체 경량화를 위해 알루미늄 및 고장력강의 사용이 증가함에 따라 박판 결합에 있어 일반적으로 사용되고 있는 저항 점용접(resistance spot welding)을 대체할 수 있는 방법이 요구되고 있다. 특히 이종재료의 접합에 있어 두 재료간의 상이한 용융점 및 열적특성으로 인해 저항 점용접의 적용이 거의 불가능한 실정이다.[1]

알루미늄 합금과 스틸 박판을 접합하기 위해, 마찰 점용접(spot friction stir welding), 셀프 피어싱 리벳(self pierce riveting) 및 기계적 클린칭 접합(mechanical clinching)등이 개발되어 사용되고 있다. 마찰 점용접의 경우, 회전하는 톨을 이용해 마찰열을 발생시키기 때문에 많은 용접점을 가진 차체의 생산속도를 확보하기 힘들다. 셀프 피어싱

리벳 접합은 접합시 사용되는 리벳 비용 때문에 접합비용(operating cost)이 비싸다. 클린칭 접합의 경우 펀치와 다이를 이용하여 박판소재에 국부적인 소성변형을 가하여 결합하므로 접합비용이 다른 접합방법과 비교하여 상대적으로 낮다. 이러한 클린칭 접합의 장점으로 인해 클린칭 공정을 상용화하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.[2-4]

고장력강과 알루미늄 합금소재의 클린칭 접합에 있어 고장력강의 낮은 성형성은 일반 강판과는 달리 클린칭 접합부에서 넥킹(necking)에 의한 파단을 유발하여 클린칭 접합이 불가능한 경우가 많다. K. Mori는 고장력강의 인장강도에 따른 클린칭 접합강도를 평가하였다. 인장강도가 클수록 고장력강의 접합이 어려우며, 접합을 위해서는 펀치와 다이 형상이 고장력강의 성형성을 고려하여 설계되어야 함을 보였다.[5]

1. 부산대학교 정밀기계공학과

2. 부산대-IFAM 국제공동연구소

3. 부산대 ILIC

4. Fraunhofer IFAM

교신저자: 부산대 기계공학부, E-mail:bmkim@pusan.ac.kr

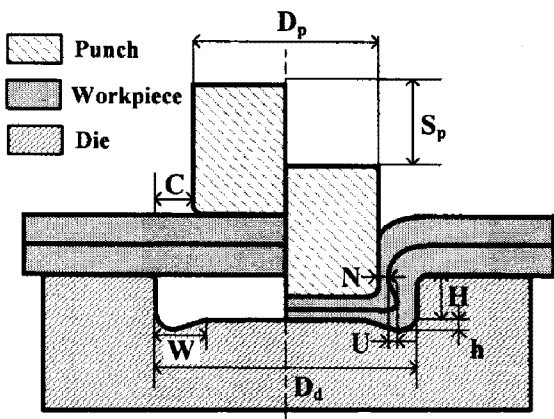


Fig. 1 Geometrical parameters of clinching process



Fig. 2 Fracture of upper sheets for advanced high strength steel DP780 in clinching process

Table 1 Mechanical properties of DP780 and Al5052

	K	n	Thickness
DP780	1173.0	0.133	2.0
Al5052	358.9	0.1615	2.0

본 연구에서는 클린칭 공정변수를 펀치 및 다이 형상으로 설정하였으며, 유한요소해석 및 클린칭 접합실험을 통해 클린칭 공정변수에서 다른 초고장력강판인 DP780소재와 Al5052 소재의 접합 특성을 평가하였다. 클린칭 접합특성은 클린칭 접합시 상판의 목두께 및 언더컷량으로 평가하였다.

2. 클린칭 공정해석

2.1 클린칭 공정변수 설정

클린칭 공정은 두개의 박판소재를 펀치로 가압하여 소재가 다이 공동부의 형상으로 성형될 때

하판에 형성되는 언더컷을 이용하여 두 소재를 결합하는 방식이다. Fig. 1에 클린칭 공정변수 및 평가변수들을 도식적으로 나타내었다. Fig. 1에 나타낸 것과 같이 클린칭 공정은 박판성형공정 중의 하나인 드로잉 공정과 유사하다. 다이 간극이 소재 두께보다 작기 때문에 초기 클린칭 공정에서 상당한 두께 감소가 발생한다. 이로 인해 상판의 넥킹이 발생할 수 있다. 특히 DP780 소재를 상판으로 사용했을 경우, 재료의 연성이 작기 때문에 넥킹에 의한 상판의 파단이 발생한다. Fig. 2는 DP780 소재를 상판으로 사용했을 때 발생하는 상판의 파단을 나타낸 것이다. 이러한 클린칭 공정에서 DP780소재의 변형특성을 고려하여, 본 연구에서는 DP780소재를 하판으로 사용하여 클린칭 공정을 해석하였다.

클린칭 공정의 주요 공정변수를 펀치와 다이 간극(C), 다이깊이(H) 및 그루부 깊이(h)로 설정하였다. 클린칭 접합의 접합강도는 클린칭 접합 후 상판의 목두께(N)와 언더컷(U)에 의해 주로 결정된다. 본 연구에서는 공정변수의 변화에 따른 목두께 및 언더컷량으로 클린칭 접합여부를 평가하였다.

2.2 클린칭 공정 해석조건

유한요소해석을 이용하여 클린칭 공정에서 공정변수에 따른 목두께 및 언더컷의 변화를 조사하였다. 상용 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-2D를 사용하여 클린칭 공정을 해석하였으며, 인장시험을 통해 평가된 DP780과 Al5052소재의 유동응력과 유효변률 관계를 해석에 사용하였다. 인장시험을 통해 평가된 물성치는 Table 1에 나타내었다. 클린칭 공정의 마찰조건은 일정전단마찰을 이용하였으며, 클린칭 금형과 소재사이 마찰상수는 0.12로, 소재 간의 마찰은 0.3으로 설정하였다.[1]

3. 클린칭 해석결과

3.1 다이 깊이에 따른 접합특성

클린칭 다이 깊이가 깊을 경우 펀치 곡률부에서 넥킹이 발생할 수 있으므로, 이를 고려하여 다이 깊이를 1.4, 1.6, 1.8로 설정하여 유한요소해석을 수행하였다. 간극은 1.5mm, 그루브 깊이는 0.4mm로 고정하였다.

Fig. 3은 다이 깊이에 따른 목두께와 언더컷의 변화를 각각 나타낸 것이다. 다이 깊이가 증가함

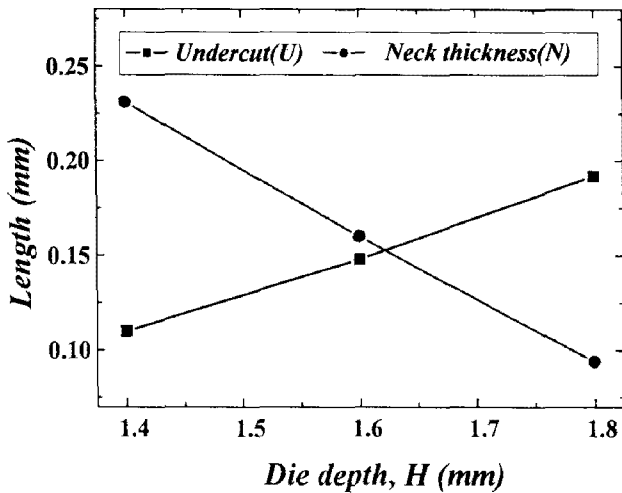
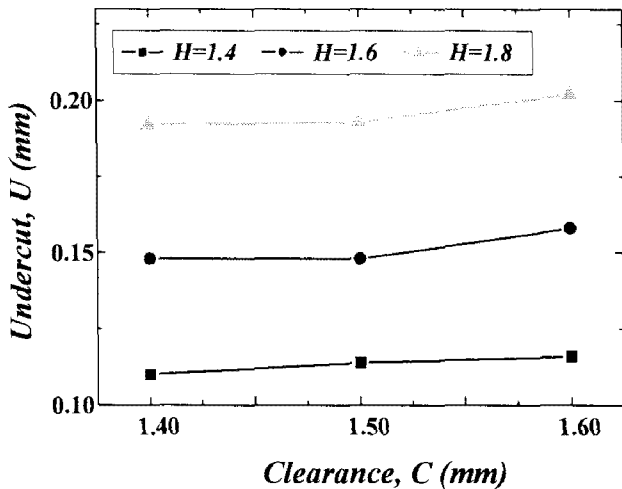
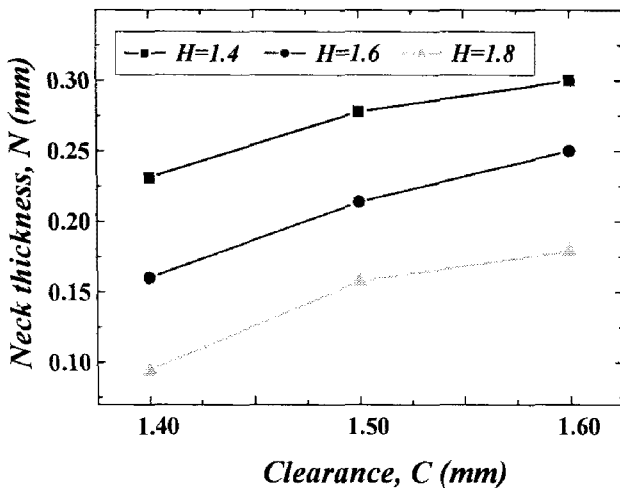


Fig. 3 Variation of undercut and neck thickness with increasing of die depth, H



(a) Undercut



(b) Neck thickness

Fig. 4 Variation of undercut and neck thickness with increasing of clearance, C

에 따라 목두께는 감소하였으며, 언더컷은 증가하는 것으로 나타났다. 클린칭 공정에서 상판의 변형특성은 드로잉공정 보다는 전단공정에 가까운 변형을 한다. 다이 깊이가 증가함에 따라 다이공동부의 체적이 증가한다. 이로 인해 언더컷의 형성이 늦어지게 된다. 이때 상판은 계속적으로 전단공정에 가까운 변형을 하기 때문에 상판의 목두께는 계속 감소하게 된다. 반면에 목두께가 감소함에 따라 언더컷 형성지점이 펀치쪽으로 이동하게 되어 언더컷량 상대적으로 증가하게 된다.

3.2 간극에 따른 접합특성

클린칭 공정에서 클린칭 다이 직경(Dd)는 8mm로 설정하였으며, 펀치 직경(Dp)를 4.8, 5.0, 5.2로 변화시켜 간극을 조절하였다. 이때 그루브 깊이는 0.45로 고정하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 간극의 변화에 따른 목두께와 언더컷의 변화를 각각 나타낸 것이다. 간극의 변화에 따른 목두께는 증가하는 것으로 나타났으며, 언더컷의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 간극이 증가함에 따라 펀치와 하판과의 거리가 증가하기 때문에 상판의 두께감소가 상대적으로 줄어든다. 이는 간극을 증가 시킴으로써 상판의 목두께를 증가시킬 수 있음을 의미한다. K. Mori에 의하면 고장력강과 알루미늄의 클린칭 접합의 파단시험에서 파단은 상대적으로 강도가 낮은 알루미늄에서 발생한다.[5] 즉, 알루미늄의 목두께를 증가시킬 경우 접합강도를 향상시킬 수 있음을 의미한다.

일반적으로 클린칭 공정에서 목두께와 언더컷의 관계는 서로 반비례하기 때문에 목두께와 언더컷을 적절하게 형성시켜야 충분한 접합강도를 얻을 수 있다. 간극을 조절할 경우, 언더컷에 영향을 주지 않으면서 알루미늄의 목두께를 증가시킬 수 있기 때문에 간극의 변화를 통하여 접합강도를 조절할 수 있을 것으로 판단된다.

3.3 그루브 깊이에 따른 접합특성

다이 그루브 깊이를 0.25, 0.35, 0.45로 변화시켜 목두께 및 언더컷의 변화를 조사하였다. 다이스 간극은 1.5mm, 다이스 깊이는 1.8mm로 고정하였다. Fig. 5는 다이 그루브 깊이의 변화에 따른 목두께와 언더컷의 변화를 나타낸 것이다. 다이 그루브 깊이가 증가함에 따라 목두께 및 언더컷이 감소하는 경향을 나타내었으나, 그루브 깊이 0.35 이상에서는 수렴하는 경향을 나타내었다. 그루브

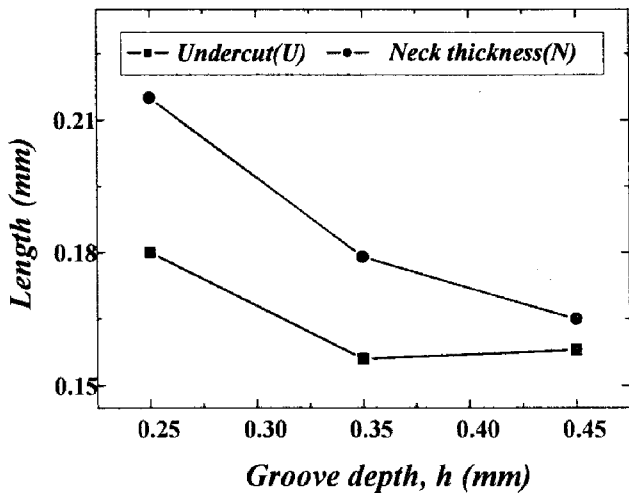


Fig. 5 Variation of undercut and neck thickness with increasing of die depth, H

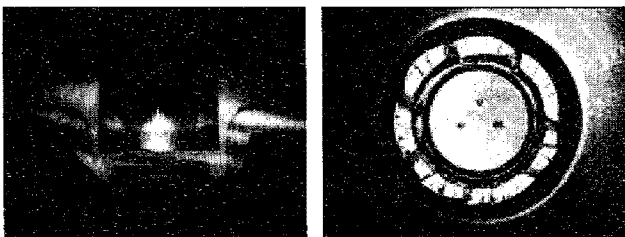


Fig. 6 Fracture of lower sheets for advanced high strength steel DP780 in clinching process

깊이 0.25에서는 하판이 그루브쪽으로 성형되면서 언더컷이 형성되었으나, 그루브 깊이 0.35 이상에서는 그루브쪽으로 성형이 완료되기 전에 언더컷이 형성된다. 그루브 체적이 클수록 하판의 성형이 그루브쪽으로 유도되기 때문에 하판의 두께가 얇아지게 되어 Fig. 6과 같이 하판의 크랙이 발생할 우려가 있다.

4. 결론

본 연구에서는 클린칭 접합공정에서 초고장력강 DP780과 Al5052의 공정변수에 따른 변형특성을 유한요소해석을 이용하여 평가하였으며, 그 결과는 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 다이 깊이가 증가함에 따라 목두께는 감소하였으며, 언더컷을 증가하는 것으로 나타났다. 이는 목두께의 감소로 인한 언더컷의 상대적인 증가이다.

(2) 간극은 언더컷에는 영향을 미치지 않았으며,

하판과 펀치사이의 거리의 증가로 인해 목두께를 증가시키는 경향을 나타내었다.

(3) 그루브 깊이가 증가함에 따라 목두께 및 언더컷이 감소하였으나, 0.35mm 이상에서는 수렴하는 경향을 나타내었으며, 다이 깊이에 따라 적절한 그루브 깊이의 선택이 필요하다.

(4) 초고장력강 DP780과 Al5052의 클린칭 접합의 경우, 강도가 약한 Al5052의 접합강도가 우려되기 때문에 Al5052의 목두께를 충분히 확보하는 것이 접합강도 확보에 유리하다.

후 기

이 논문은 2007년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. K20601000004-08E0100-00410)..

참 고 문 헌

- [1] 비스라, 노정훈, 황병복, 함경훈, 장동훈, 2007, 크린칭 접합의 성형특성에 관한 연구, 한국소성가공학회지, 제 16권, 제 8호, pp.603~613.
- [2] 박석완, 권순용, 김관희, 조원석, 1992, 차체용 Al 합금 판재의 접합 방법에 관한 연구, 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 358~363
- [3] 이용복, 박영근, 정진성, 김태윤, 김호경, Clinch Joining의 강도평가, 대한기계학회 춘계학술대회논문집 A, pp.122~127.
- [4] 이용복, 정진성, 김태윤, 차백순, 1998, Clinch Joining의 접합강도향상을 위한 최적화에 관한 연구, 대한기계학회 추계학술대회논문집 A, pp.224~249
- [5] Y. Abe, A. Matsuda, T. Kato, K. Mori, 2008, Plastic joining of aluminium alloy and high strength steel sheets by mechanical clinching, Steel Research International., Vol. 79, pp. 649~656.