

클린칭 접합의 파단 모드 예측

The Prediction of Fracture Mode in Clinching Joining

*김재영¹, 이찬주¹, 황빛나¹, 이상곤², 고대철³, #김병민⁴

*J. Y. Kim¹, C. J. Lee¹, B. N. Hwang¹, S. K. Lee², D. C. Ko³, #B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)⁴

¹ 부산대학교 정밀가공시스템, ²PNU-IFAM JRC, ³부산대학교 ILIC, ⁴부산대학교 기계공학부

Key words : Clinching Process, Undercut, Neck Thickness, Fracture Mode, Neck Fracture, Button Separation, Failure Prediction Model

1. 서론

최근 환경규제가 강화됨에 따라 자동차의 연비 향상을 위한 차체 경량화가 많이 요구되고 있다. 이로 인해 자동차용 재료로 알루미늄, 마그네슘 등과 같은 경량소재의 사용이 증가하고 있다. 경량소재의 사용은 차체 접합시 사용되는 저항 점 용접(Resistance spot welding)을 대체할 수 있는 접합방법을 필요로 한다. 이에 대한 대처 방안으로 클린칭 공정(Clinching process)이 주목 받고 있다.[1]

클린칭 공정은 두 겹 이상의 판재를 가압하여 기계적인 결합(Mechanical joining)을 유도하는 접합 방식이다. 펀치와 다이의 사용만으로 간단하게 접합이 가능하며, 저항 점 용접에 비해 생산비가 낮다는 장점을 가지고 있다.[2] 클린칭 접합력은 상판과 하판의 기하학적 구조를 결정하는 목두께(Neck thickness ; NT)와 언더컷(Undercut ; UC)에 의해 결정된다. Fig. 1에 나타낸 것과 같이 목두께는 클린칭 접합부에서 상판 소재의 가장 얇은 부분으로 목두께가 일정량 이상 얇을 경우에 클린칭 접합은 목파괴(Neck fracture ; NF)가 발생한다. 또한 버튼 분리(Button separation ; BS)는 클린칭 접합의 기하학적 구조가 분리되는 것을 의미하며, 주로 하판의 언더컷 생성이 작을 경우 발생한다.

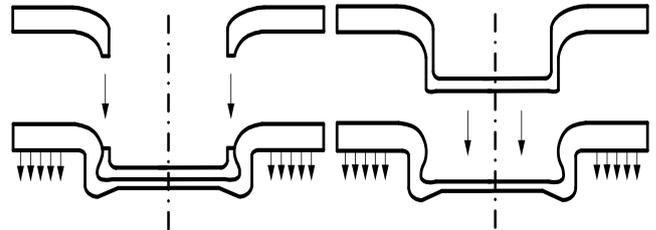
클린칭 접합력을 향상시키기 위한 연구는 주로 실험계획법을 통해 금형 형상변수의 조합을 찾는 방법으로 진행되었다. Paula [3]는 펀치와 다이 형상을 변화시키면서 언더컷과 목두께의 생성을 관찰하였고, 금형 형상을 최적화하여 클린칭 접합의 분리하중을 증가시켰다. Oudjene [4]는 다구찌 기법(Taguchi method)을 사용하여 분리하중에 대한 클린칭 금형 형상변수의 영향도를 평가하고, 변수 수준을 최적설계하였다. 또한, V. R. Jayasekara [5]는 실험계획법을 사용하여 언더컷, 목두께에 대한 금형 형상변수의 영향도를 평가하였다. 실험계획법을 통한 클린칭 연구가 활발하게 진행된 반면에, 클린칭 파단모드에 따라 클린칭 접합력을 평가하고, 파단 모드를 예측하는 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 클린칭 파단모드인 목파괴와 버튼분리에 대한 하중 예측모델을 이용하여 Fig.2에 나타난 절차와 같이 클린칭 파단하중을 평가하고, 파단모드를 예측하였다. 또한, Al5052 소재를 사용한 클린칭 실험을 수행하고, H 타입 인장시험을 통해 하중 예측모델의 타당성을 검증하였다.

2. 파단하중 예측모델

2.1 목파괴 하중 예측모델

목파괴 모드는 상판 소재의 가장 취약한 부분인 목두께에서 파단이 일어나는 형태로, 목두께가 일정량 이상 얇아지는 경우에 발생한다. 클린칭 접합시 간극이 작아지거나 다이 깊이가 증가하면 목부분에 과도한 연신이 발생하게 되어 목두께가 얇아지게 되며, 인장시험시 목두께 소재의 강도가 언더컷에 의한 구속힘보다 작아져 파단이 발생한다. 클린칭 접합부에 수직인 방향으로 인장응력을 가하여 접합하중을 측정하는 형태인 H 타입 인장시험에 근거하여 하중 예측모델을 제시하였다. 목파괴는 인장응력에 가장 취약한 소재의 가장 얇은 목두께에서 일어난다고 가정하였다. 또한, 소재의 인장강도 이상의 응력이 작용할 때 네킹과 목



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

Fig. 1 Flow chart for prediction of clinching fracture mode

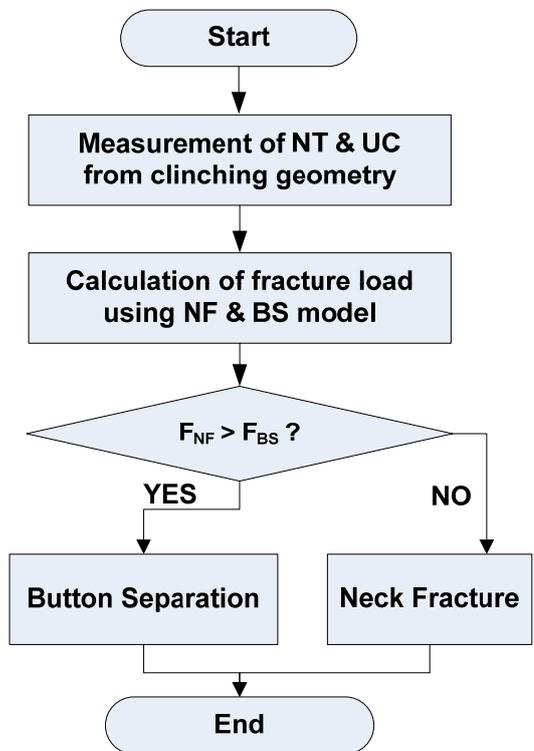


Fig. 2 Flow chart for prediction of clinching fracture mode

파괴가 일어나므로 파단 발생 시 작용하는 응력을 소재의 인장강도로 가정하였다. 목파괴 하중은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$F = \{2\pi(R_p + 0.5NT)NT\}\sigma_{TS} \quad (1)$$

여기서, R_p 는 펀치반경이며, NT 는 상판 소재의 목두께이다.

2.2 버튼분리 하중 예측모델

버튼분리 모드는 인장시험시 파단없이 상판 소재와 하판 소재가 분리되는 형태로, 불충분한 언더컷의 형성으로 인해 언더컷에 의한 구속힘이 소재의 인장강도보다 작아져 발생하게 된다. 분리시 하판 소재가 상판 소재의 언더컷에 소성변형을 가하면서 분리되는데, 이 때 구해지는 최대하중이 버튼분리 하중이다. 성형공정 해석방법의 하나인 슬



Fig. 3 Clinching geometry of neck fracture mode

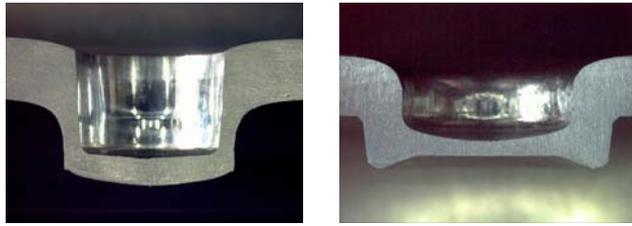


Fig. 4 Clinching geometry of button separation mode

Table 1 Condition of clinching experiment and result with neck thickness and undercut

Case	Punch Radius(mm)	Die Depth(mm)	Neck Thickness(mm)	Undercut (mm)
1	2.4	1.2	0.55	0.05
2	2.5	1.2	0.54	0.13
3	2.6	1.2	0.55	0.09
4	2.4	1.6	0.42	0.17
5	2.5	1.6	0.42	0.21
6	2.6	1.6	0.43	0.25

래브법(Slab method)을 사용하여 버튼분리 하중 예측모델을 유도하였다. 슬래브법의 절차를 따라 먼저 형상을 단순화하기 위해 클린칭 접합부의 곡선의 형상을 직선으로 근사화하였으며, 힘의 평형 관계를 고려하여 언더컷과 목두께에 관한 함수로 표현되며, 버튼분리 하중 예측식을 다음과 같이 나타내었다.

$$F = \{2\pi(R_p + 0.5NT)NT\} \bar{\sigma}_y \left[\frac{1+B}{B} \right] \left[1 - \left(\frac{NT}{UC+NT} \right)^B \right] \quad (2)$$

위 식에서 응력은 소재의 평균 항복강도이며, 이 때 변형률은 초기 상판 소재의 두께와 클린칭 공정에서 소성변형을 받은 목두께와 언더컷에 대한 비로 나타나며, 아래 식과 같이 정의된다.

$$\epsilon = \ln \left(\frac{NT + UC}{t_U} \right) \quad (3)$$

3. 파단모드 예측과 모델 검증

본 논문에서 제시한 하중 예측모델을 검증하기 위하여 클린칭 실험을 수행하였으며, 펀치 반경과 다이 깊이에 변화를 주어 목파괴와 버튼분리 모드를 유도하였다. 인장시험시 목파괴 모드를 Fig.3 에 나타내었으며, 목두께에서 파단이 일어났음을 확인할 수 있다. 버튼분리 모드는 Fig. 4 과 같이 나타났으며, 윗소재의 언더컷 부위에 소성변형이 발생하였음을 확인하였다.

클린칭 실험 조건과 측정된 목두께·언더컷을 Table 1 에 나타내었다. 측정된 목두께·언더컷을 목파괴와 버튼분리 하중 예측모델에 대입하여 클린칭 파단하중을 계산하였다. 실제 파단은 낮은 하중을 가지는 파단모드로 일어나

Table 2 Comparison of fracture load and mode between prediction model and clinching experiment

Case	F _{NT}	F _{BS}	F _{Exp}	Error	MODE _{Eqa}	MODE _{Exp}
1	2463.0	1582.4	1609.6	-1.7	BS	BS
2	2526.3	2106.5	2149.9	-2.0	BS	BS
3	2634.8	1934.0	2090.6	-7.5	BS	BS
4	1828.5	1895.8	1908.1	-4.2	NF	NF
5	1912.6	2335.7	2029.0	-5.7	NF	NF
6	2046.7	2456.5	2058.0	-0.6	NF	NF

로, 클린칭 파단모드를 예측할 수 있다. 클린칭된 시험편의 파단하중을 구하기 위해 5(ton) 용량의 인장시험기를 사용하였으며, 상판 소재를 구속하고 반대쪽 하판 소재를 수직 방향으로 하강시키면서 인장시험을 수행하였다. 파단하중 예측모델의 하중과 실험하중 및 파단모드의 비교 결과를 Table 2 에 나타내었다. 파단하중 예측에 의한 하중과 실험하중의 오차는 7.5(%)내로 나타났으며, 파단하중 예측모델로 예측한 파단모드가 실제 실험의 파단 모드와 일치하였다.

4. 결론

본 논문에서는 클린칭 파단모드인 목파괴, 버튼분리에 대한 파단하중 예측모델을 제시하였으며, 각 모드에 대한 파단하중의 계산을 통해 파단모드를 예측하였다. 하중 예측모델을 이용하여 구한 파단하중은 실제 실험에서의 인장시험 결과와 7.5(%)내의 오차로 정확하게 계산되었다. 또한, 예측된 파단모드는 실제 파단모드와 일치하였으며, 이와 같은 결과로부터 클린칭 파단하중 예측모델이 검증되었다. 따라서, 본 논문에서 제시한 파단하중 예측모델을 사용하여 클린칭 형상에 대해 파단하중 및 파단모드를 예측할 수 있다. 본 논문의 연구 결과를 바탕으로 향후 목두께와 언더컷에 영향을 미치는 틀 형상 변수의 설계에 관한 연구를 진행할 것이며, 이 연구를 통해 클린칭 접합력을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

후기

이 논문은 2009 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단(KICOS)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

1. D. H. Lim, B. W. Lee, H. H. Rhyu, H. K. Kim, "An Experimental Study on the Strength Evaluation of Al-5052 Tensile-Shear Specimens Using a Mechanical Press Joining Method," Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers. Vol. 12, No. 1, 58-64, 2003.
2. J. Varis, "Economics of clinched joint compared to riveted joint and example of applying calculations to a volume product," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 172, 130-138, 2006.
3. A. A. de Paula, M. T. P. Aguilar, A. E. M. Pertence, P. R. Cetlin, "Finite element simulations of the clinch joining of metallic sheets," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 182, No. 1-3, 352-357, 2007.
4. M. Oudjene, L. Ben-Ayed, "On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method, Engineering Structures," Vol. 30, No. 6, 1782-1788, 2008.
5. V. R. Jayasekara, J. H. Noh, B.B. Hwang, K. C. Ham, D. H. Jang, "A study on the forming characteristics of clinching joint process," Transactions of Materials Processing, Vol. 17, No. 8, 603-613, 2007.