

클린칭 툴 설계 기법 개발

Development of design methods for clinching tools

*김재영¹, 이찬주¹, 이상곤², 고대철³, 김재오⁴, 김병민⁵

*J. Y. Kim¹, C. J. Lee¹, S. K. Lee², D. C. Ko³, J. O. Kim⁴, B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)⁵

¹부산대학교 정밀가공시스템, ²PNU-IFAM JRC, ³부산대학교 ILIC, ⁴TOX-Pressotechnik LTD. ⁵부산대학교 기계공학부

Key words : Clinching Process, Failure Prediction Model, Analytical Model for Neck Thickness & Undercut

1. 서론

자동차 연비향상을 위해 차체 경량화 재료의 사용이 증가하고 있다. 스틸 재료의 판재 접합에는 저항 점 용접(Resistance spot welding)이 주로 사용되고 있으나 알루미늄 합금에 적용할 경우 높은 열전도성과 표면 산화층의 변질로 인해 제품의 품질 확보가 어렵다. 이에 대한 방안으로 클린칭 접합(Clinching Process)이 고려되고 있다. [1]

클린칭 공정은 펀치와 다이로 판재를 가압하여 기계적인 접합(Mechanical joining)을 유도하는 방식이다. 열변형을 수반하지 않으며, 생산비가 낮은 장점이 있다. [2] 그러나 타 공정에 비해 접합력이 낮은 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위해 클린칭에 관한 연구는 주로 실험계획법을 이용하여 금형 형상변수의 최적 조합을 찾는 방식으로 진행되었다.[3,4] 또한, Kim[5] 등은 클린칭 파단모드인 목과괴(Neck Fracture ; NF)와 버튼분리(Button Separation ; BS)에 대한 파단하중 예측모델을 목두께(Neck Thickness ; NT)와 언더컷(Undercut ; UC)의 함수로 제시하였으며, 클린칭 파단모드와 접합하중을 예측하였다.

본 연구 목적은 파단하중 예측모델을 이용하여 요구접합하중을 만족하는 클린칭 툴 설계 기법을 제시하는데 있다. Box-Behnken 법으로 클린칭 접합력을 결정하는 목두께와 언더컷을 예측하는 식을 제시하였으며, 유한요소해석을 통해 클린칭 공정변수를 설계하였다. 또한, 클린칭 성형 실험과 H 타입 인장시험을 수행하여 툴 설계 기법의 타당성을 검증하였다.

2. 목두께 및 언더컷 예측식

파단하중 예측모델로 접합력을 계산하기 위해서는 목두께와 언더컷을 구해야 한다. Kim[4] 등은 실험계획법을 통해 목두께와 언더컷에 관한 금형 공정변수의 영향도를 평가하였다. 영향도가 높은 주요 클린칭 공정변수를 Fig. 1 과 같이 선정하였으며, 각 공정변수의 수준을 Table 1 에 나타내었다. 본 연구에서는 Box-Behnken 법을 사용하여 유한요소해석을 수행하였으며, 목두께와 언더컷에 관한 식을 다음과 같이 정의하였다.

$$t_{NT} = 0.75 + 0.06 \cdot C - 0.31 \cdot H + 0.23 \cdot r \quad (1)$$

$$t_{UC} = 0.11 - 0.07 \cdot C - 0.26 \cdot r + 0.10 \cdot W \quad (2)$$

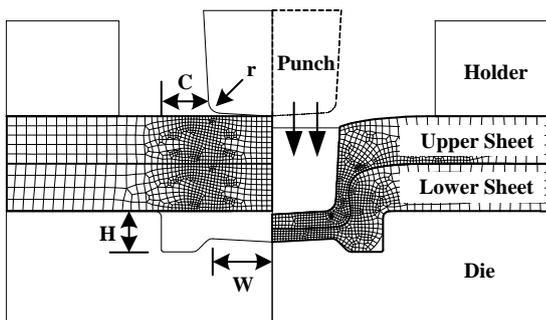


Fig. 1 Shape parameters of clinching process

Table 1 Levels of design parameters for Box-Behnken's method

Level	C	R	H	W
1	2.3	0.3	1.4	3.0
2	2.5	0.4	1.6	3.2
3	2.7	0.5	1.8	3.4

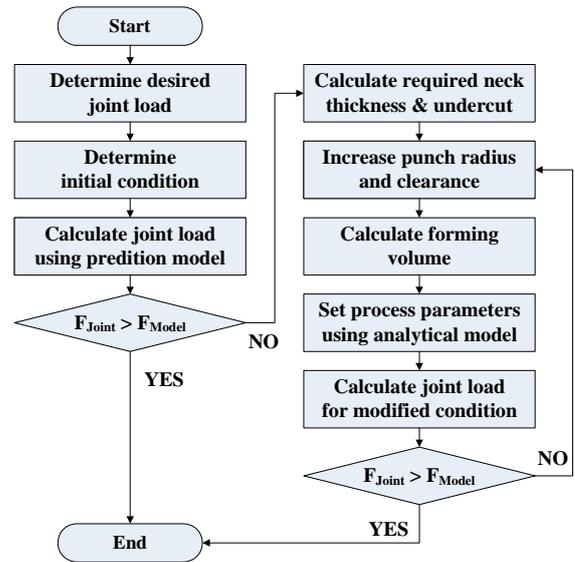


Fig. 2 Flow chart for design of clinching tools

3. 클린칭 공정변수 설계

본 연구에서는 두께가 2.5mm 인 Al5052 소재를 사용하였으며, Fig. 2 에 나타난 절차에 따라 클린칭 툴을 설계하였다. 클린칭 요구접합하중을 셀프 피어싱 리벳(Self piercing rivet) 기준의 70%인 3.5kN 으로 설정하였다. 초기 조건은 클린칭 툴 제작업체인 TOX@GmbH 사의 방법을 참고하여, 다이 반지름은 전체 판재 두께인 5.0mm, 펀치 반지름은 다이 반지름의 60%인 3.0mm 로 설정하였다. 다이 깊이, 펀치 코너반경, 다이 밀면 폭 등의 공정변수는 목두께와 언더컷 예측식을 구하기 위한 유한요소해석에서 얻어진 최적 조합으로 설정하였으며, Table 2 에 수치를 나타내었다.

Table 2 Initial condition of clinching tool

Parameter	R _p	R _D	C	H	r	D
Dimension	3.0	5.0	2.0	1.6	0.3	3.0

초기조건을 식(1), (2)에 대입하여 구한 목두께와 언더컷, 접합하중을 Table 3 에 나타내었다. 이 때 예상되는 하중은 2.759kN 으로 요구접합하중보다 낮다. 요구접합하중을 만족시키기 위해 필요한 최소 목두께는 0.629mm 이고, 언더컷은 0.236mm 이다. 하지만, 목두께 및 언더컷 식에서 설계 가능한 최대 목두께와 언더컷은 0.593mm 와 0.211mm 로, 요구접합하중을 만족하지 못함을 알 수 있다.

Table 3 Neck Thickness and Undercut at initial condition

$t_{NT}(mm)$	$t_{UC}(mm)$	$F_{NF}(kN)$	$F_{BS}(kN)$
0.505	0.192	2.759	2.782

과단하중 예측모델에서 펀치 반지름을 증가시키면 접합하중이 향상된다. 따라서 본 논문에서는 요구접합하중을 만족하기 위해 펀치 반지름을 3.5mm 로 증가시켰다. 이 경우 필요한 목두께와 언더컷이 각각 0.552mm 와 0.186mm 로, 설계 가능한 범위로 줄어 들게 된다.

다음으로 소재로 삽입되는 펀치 체적과 다이 공동부 체적을 계산하여 다이 깊이와 간극, 다이 밀면 폭 등의 공정변수를 설계하였다. 일반적으로 클린칭 시 소재로 삽입되는 펀치의 체적은 다이 공동부 체적과 일치해야 한다. 펀치 삽입 깊이는 다이 깊이의 함수이므로, 펀치 삽입 체적과 다이 공동부 체적은 다이 깊이의 함수로 표현된다. 다이 공동부 체적을 결정하는 간극은 목두께와 언더컷에 상반된 결과를 가져온다. 따라서 본 논문에서는 Table 1 의 2 수준 값인 2.5mm 로 간극을 설계하였고, 체적 계산을 통해 다이 깊이를 1.7mm 로 설계하였다. 일반적으로 그루브 체적은 다이 공동부 체적의 20%가 되도록 하므로 다이 밀면 폭을 3.4mm 로 설정하였다. 이상에서 설계된 클린칭 공정변수를 Table 4 에 나타내었다.

Table 4 Modified clinching parameters by proposed method

Parameter	R_p	R_D	C	H	R	D
Dimension	3.5	6.0	2.5	1.7	0.3	3.4

4. 클린칭 툴 설계 기법의 검증

Table 4 에 제시된 조건으로 유한요소해석을 수행하였다. 그 결과 목두께 0.561mm, 언더컷은 0.255mm 로 측정되었다. 이 때 목과피 및 버튼분리 하중은 3.562kN, 3.967kN 로 예측되었으며, 요구접합하중을 만족하였다.

툴 설계 기법의 타당성을 실험으로 검증하기 위해 클린칭 펀치와 다이를 Fig. 3 과 같이 제작하였으며, 10ton 용량의 프레스를 사용하여 알루미늄 소재를 접합하였다. 유한요소해석과 실험의 클린칭 접합 단면 형상을 Fig. 4 에 나타내었으며, Table 5 에 결과를 비교하였다. 실험과 해석결과의 최대 오차가 약 5%이므로 이상의 결과로부터 본 연구의 유한요소해석 결과가 상당히 타당함을 알 수 있다.



Fig. 3 Manufactured clinching tools with dimension in table 4

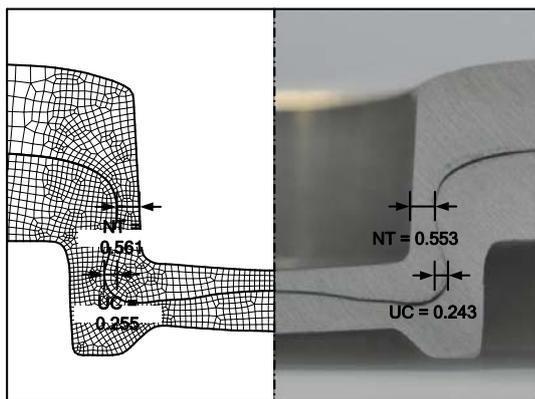


Fig. 4 Comparison between the cross sectional shapes of experiment & FEA on joint geometry

과단하중을 평가하기 위해 H 타입의 인장시험을 수행하였으며, 하중 변화 그래프를 Fig. 5 에 나타내었다. 목과피가 일어났으며, 접합하중은 3.512kN 으로 평가되었다. 실험 결과로부터 요구접합하중인 3.5kN 을 만족함을 확인할 수 있었다.

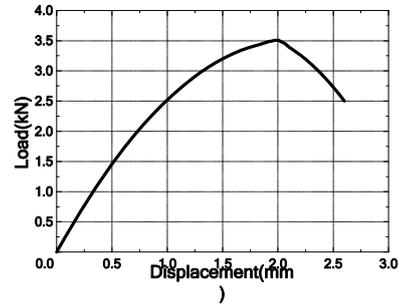


Fig. 5 Variation of joining load under modified condition

Table 5 Comparison between result of the FEA and experiment

Process	t_{NT}	t_{UC}	F_{NF}	F_{BS}	MODE
FEM	0.561	0.255	3.562	3.967	NF
Experiment	0.553	0.243	3.512	-	NF

5. 결론

본 연구에서는 과단하중 예측모델을 이용한 클린칭 툴 설계 방법을 제시하였다. Box-behnken 법을 이용하여 목두께와 언더컷을 예측하는 식을 정의하였고, 유한요소해석을 통해 요구접합하중을 만족시키는 클린칭 툴의 공정변수를 설계하였다. 또한, 클린칭 실험을 통해 요구접합하중인 3.50kN 을 만족함을 검증하였다. 유한요소해석과 실험에서의 클린칭 접합 단면의 오차는 최대 4.94%로 매우 유사한 결과를 얻었다. 이상의 결과로부터 접합하중 예측모델을 사용한 클린칭 툴 설계 방법은 산업 현장에서 유용하게 적용될 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. 182, No.1-3, 352~357, 2007
3. 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, pp. 1782~1788, 2008.
4. J. Y. Kim, C. J. Lee, S. K. Lee, D. C. Ko, B. M. Kim, "Effect of shape parameters of tool on improvement of joining strength in clinching, Transactions of Materials processing, V.18, No.5, 2009
5. 김재영, 이찬주, 황빛나, 이상곤, 고대철, 김병민, "클린칭 접합의 과단모드 예측." 한국정밀공학회 2009 년도 추계학술대회논문집, 395-396, 2009