

물리적 모델링법을 이용한 이중 박판의 기계적 접합 공정에 관한 연구

권승오¹ · 김봉준¹ · 문영훈[#]

A Study on the Mechanical Press Joining of Double Sheet Metals Using Physical Modeling

S. O. Kwon, B. J. Kim, Y. H. Moon

(Received October 21, 2006)

Abstract

In this study, the mechanical joining process for double sheet metals was investigated by using physical modeling method. Process parameters of mechanical joining such as friction coefficient, drawing depth, punch radius, die radius and material thickness are preliminarily analyzed by finite element method. Referring to the finite element analysis results, mechanical joining system is designed on the basis of physical similarities. From the physical modeling test, the effect of process parameters on the deformation for the mechanical joining are experimentally investigated and optimized joining shape that can provide strong joining strength is obtained.

Key Words : Physical Modeling, Mechanical Press Joining, Plasticine

1. 서 론

최근 산업 제품은 경량화와 고성능화 등으로 인해 이중 재료나 특수 코팅 재료간 결합의 필요성이 증대되고 있으며, 그 중 한 가지 대안으로 성형 결합 공정이 고려되고 있다. 일반적으로 성형 결합이란 특별히 고안된 펀치와 다이틀 이용하여 모재 부위에 소성변형을 발생시키고 이를 통해 박판 간의 기하학적 구속을 유도하여 결합하는 방식을 말하며, 이를 기계적 프레스 결합이라고도 한다[1]. 기계적 체결 기술은 볼트나 너트 등의 소모성 부품을 필요로 하지 않으며, 프레스 작업과 동시에 체결이 이루어지므로 여러 체결 부위를 한 공정으로 동시에 체결 가능하여 자동화가 매우 용이한 공정이다[2]. 특히 미려한 표면이 유지되어야 하고 용접이 어려운 부위에 대한

기계적 체결 기술의 적용 비율 확대가 대세이며 이와 관련한 핵심 선행 기술의 개발이 요구된다.

모델링 재료를 이용한 물리적 모델링 시험(Physical modeling)은 공작물과 물리적 성질의 유사성(Similarity)을 가진 재료를 사용하여 기계적 프레스 결합을 모사하는 방법으로 재료 및 공구 제작비가 싸서 비교적 정확한 자료를 저렴하게 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 본 연구에서 사용된 Harbut사 제품의 플라스틱인은 유동특성이 열간예의 강과 매우 유사하다는 특성이 있다. 따라서 이를 이용한 모사실험을 통해 금속 유동과 가공하중을 예측하는 다양한 연구가 이루어졌다[3~5].

본 연구의 목적은 실제 이중 박판 간의 체결을 위해 앞서 플라스틱인을 이용한 물리적 모델링 기법을 통해 금속간 최적 결합형상을 구현하기

1. 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
교신저자: 부산대학교 기계공학부, yhmoon@pusan.ac.kr

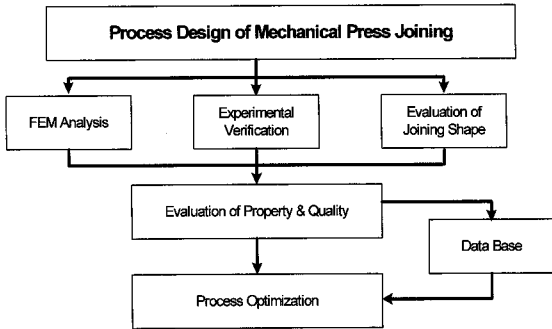


Fig. 1 Process sequence of the form-joining process

위한 체결 시스템을 개발하는데 있다.

이를 위해 종래의 기계적 체결형상을 변경하여 비대칭적인 기하학적인 구속을 최소화하고 강한 체결력을 부여하도록 FEM 예비성형해석을 통해 체결 형상 최적화 및 공정 설계를 위한 여러 변수들을 선정하였다. 아울러 소형 프레스를 이용한 성형결합공정을 모사할 수 있는 모사용 장치를 개발하여 박판 구속 결합 조건 별 결합 형상을 예측하여 최적공정을 얻고자 하였다.

2. 연구 방법

Fig. 1에서 보는 바와 같이 Deform-2D를 이용해 FEM 해석을 수행하고 이를 통해 선정된 최적 형상과 치수를 고려하여 1차 금형을 설계하고 제작하였다. 제작된 금형으로 실험 후 예비해석 결과와 비교 평가하고 보완 과정을 거쳐 최종 금형 형상을 확정한다. 최종 금형을 플라스틱을 이용하여 모델 공정을 수행하고 결과를 종합 분석하였다.

3. 기계적 체결 신공정 설계를 위한 FEM 예비 해석

3.1 FEM 성형해석 조건

본 성형해석은 DEFORM-2D 상용 소프트웨어를 이용하여 마찰계수, 드로잉 깊이, 펀치와 금형코너 반경이 체결 형상에 미치는 영향도를 분석하였다. 기하학적 성질로부터 2차원 축대칭 모델을 이용하였으며, 요소 분할은 두께 방향으로 5분할, 길이방향으로 500분할로 전 요소수 2500, 요소크기는 0.24×0.24mm로 했다. 물리적 모델링 실험에 사용된 재료인 플라스틱은 열간 단조공정

Table 1 Parameters for the form-joining process

Parameter	Values		
Material	AISI-1060, 1650°F(900℃)		
Friction Coefficient (μ)	0.08	0.24	0.70
Drawing Depth (h)	6 mm	10 mm	14 mm
Roundness of Punch (r)	3	6	9
Roundness of Die (R)	3	6	9
Thickness (t)	1.8 mm	2.2 mm	4.0 mm

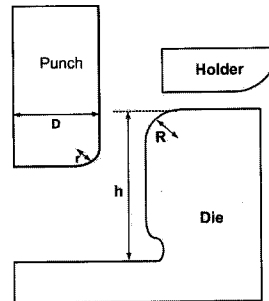


Fig. 2 Die design for the form-joining process

에서 강의 유동특성과 유사하므로[6] 성형해석에서의 물성은 AISI-1060(900℃)으로 하였다.

해석 결과들을 바탕으로 Table 1과 같이 각각의 영향인자에 따른 체결형상을 최적화하고 금형의 치수를 선정한다. 시뮬레이션시 공정변수 값들은 Table 1에 나타내었고, Fig. 2에 개략적인 다이형상을 나타내었다.

3.2 성형 형상 예측

성형해석 시 주요부품 구성은 판재, 펀치, 금형, 블랭크 홀더이며, 각각의 금형 형상에 따른 판재의 소성변형 거동을 파악하여 최적의 체결 형상을 갖기 위한 금형 형상을 선정하는데 해석 결과들을 이용하였다. Fig. 3은 두 개의 판재간 소성변형이 일어나 기계적인 구속이 생기는 것을 나타낸다.

3.3 소재와 Die의 마찰계수(μ)에 따른 영향

Fig. 4는 DEFORM-2D해석 결과에 의해 얻어낸 마찰계수 증가에 따른 곡률부에서의 최대 등가 변형률 변화그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 마찰계수가 증가함에 따라 판재의 국부적 두께 감소현상이 나타나 조기파단을 야기한다. 또한 일정 시간까지는 변형거동이 비슷하지만 최종 성형

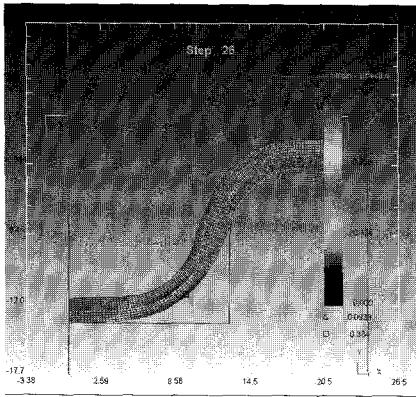


Fig. 3 Process sequence for the form-joining process

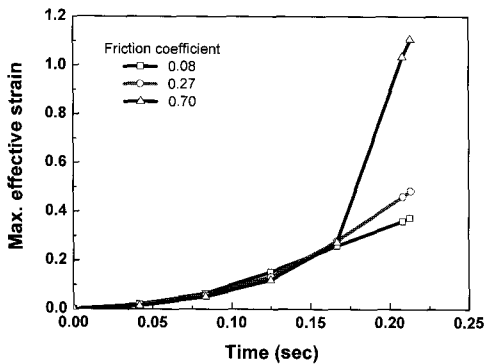


Fig. 4 Variation of the maximum effective strain with friction coefficient

에서는 급격한 국부변형이 일어남을 알 수 있다. 변형이 진행됨에 따라 펀치 코너부의 변형량이 급격히 증가하고 변형률 또한 마찰계수에 비례하여 증가하게 된다. 따라서 소재와 다이사이의 마찰계수가 커진다는 것은 국부적 두께 감소 현상이 쉽게 일어나 시편 전체의 두께 편차가 불균일해져 시편이 조기파단 될 수 있음을 의미한다. 그러므로 원활한 체결이 이루어지기 위해서는 윤활제를 통하여 마찰계수를 최대한 줄여야 함을 알 수 있다.

3.4 Drawing 깊이(h)에 따른 영향

드로잉(Drawing) 깊이는 최종 체결의 형상에 중요한 영향을 미치는 인자이다. 깊이가 증가할수록 시편전체의 형상이 서로 구속되기 쉬워 기계적 접합성이 우수해진다. 하지만 너무 깊이가 커져버리면 최종 성형품의 돌출 형상(protrusion)이 심해지므로 최적 깊이를 찾아내는 것이 필요하다. Fig. 5

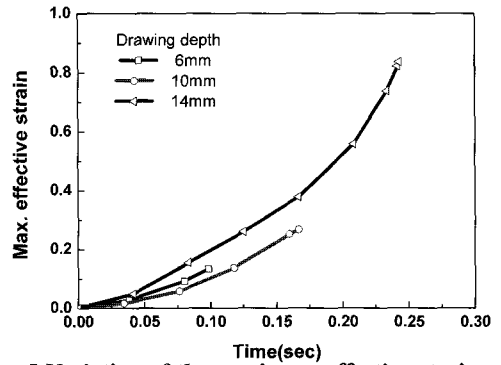


Fig. 5 Variation of the maximum effective strain with drawing depth

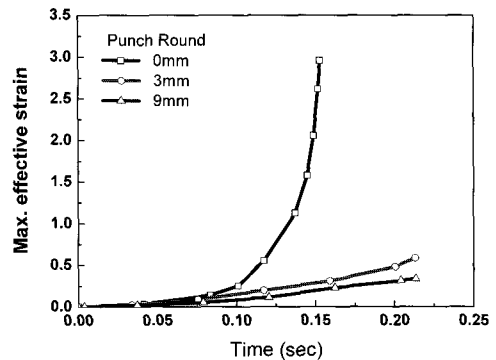


Fig. 6 Variation of the maximum effective strain with punch radius

에서 알 수 있듯이 드로잉 깊이가 6mm와 10mm 사이에서는 큰 변화가 없으나 14mm에서는 급격한 변형률 차이를 나타낸다. 그러므로 플라스틱을 이용한 물리적 모델링 실험에서 최적 체결 형상을 이루기 위한 초기 시편 두께 별 드로잉 깊이의 최적치를 파악하고, 성형해석 결과를 기준으로 최대 드로잉 깊이를 6mm이내로 제한하였다.

3.5 펀치 곡률반경(r)에 따른 영향

펀치의 곡률이 작을수록 재료에 집중응력을 발생시키므로 쉽게 파단이 일어나 피어싱의 형태가 되고, 펀치의 곡률 반경이 커질수록 부드러운 성형을 보여준다. 하지만 곡률반경이 커지게 되면 두 재료를 구속시킬 수 있는 형상과는 멀어지게 되므로 적당한 곡률반경을 선택해야 할 것이다. 즉 펀치의 크기가 커질수록 국부적인 두께 감소를 줄일 수 있지만 펀치의 크기가 지나치게 커지는 경우 롤 오버(roll-over) 걱정이 커지게 되어 최종 성형품의 결합 품질이 나빠지고, 제품의 형상

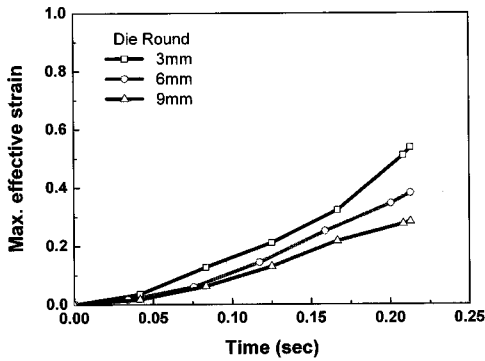


Fig. 7 Variation of the maximum effective strain with die corner radius

치밀도가 불량해질 수 있다. 그러므로 윤활제를 이용하여 마찰 조건을 개선하여 펀치의 코너부 반경을 최소 3mm, 최대 5mm 이내로 설계하였다.

3.6 Die 곡률반경(R)에 따른 영향

Fig. 7은 다이 곡률반경이 증가함에 따른 최대등가변형률의 나타내고 있다. 다이 곡률반경의 변화는 시편의 파단에는 크게 관여하지 않지만, 다이의 곡률 반경이 커질수록 판재의 곡률반경이 증가하여 펀치 코너부 반경과 마찬가지로 롤 오버(roll-over) 직경이 커지게 되어 최종 성형품의 결합 품질이 나빠지고, 제품의 표면이 미려하지 않게 되는 결과를 가져오게 되었다.

이렇듯 4개의 변수들은 국부적 두께 감소와 성형 후 판재의 곡률반경에 영향을 미쳤으며 물리적 모델링 실험을 통해 4개의 변수들은 독립적이지 않고 서로 유기적인 관계를 보이고 있다. 각각의 변수에 따른 성형 양상을 고려하여 금형 설계 시 반영하였다.

4. FEM 예비 해석에 근거한 금형 설계

FEM 예비 해석 결과를 고려하여 금형을 설계, 제작하였다. 특히 최종 성형품의 추출을 용이하게 할 수 있도록 가이드 핀을 따라 형상 금형이 좌우로 이동이 가능하도록 하여, 추출 시 클린칭 채널 부와 금형과의 간섭이 일어나지 않도록 설계하였다(Fig. 8, Fig. 9). 아울러 드로잉 깊이를 임의로 변경시킬 수 있도록 인서트 다이(insert die)가 금형 캐비티 내부에 탈착이 가능하도록 하였다.

Fig. 10은 설계된 금형을 장착시킬 Solenoid Press 장비와 사양을 나타낸다.

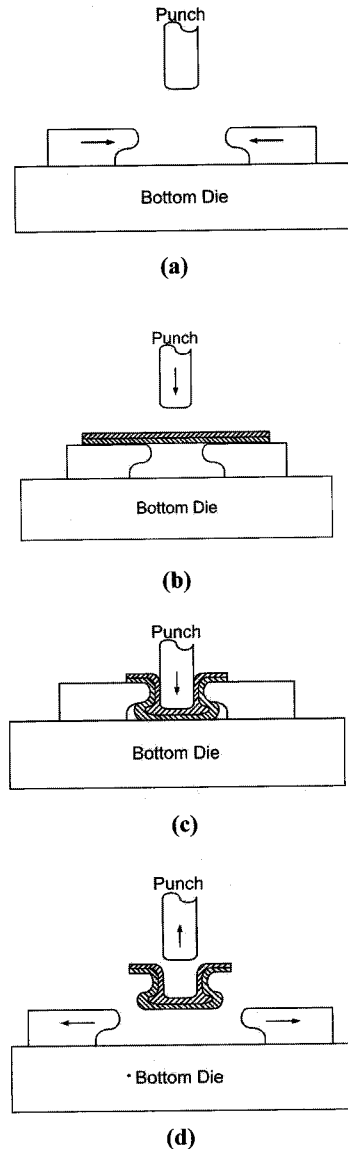


Fig. 8 (a) Die setting, (b) Sheet positioning, (c) Joining of sheet metal pairs, (d) Ejecting

5. 플라스틱인을 이용한 물리적 모델링 실험

플라스틱인을 이용한 실제 모델링 실험에서는 제작된 금형으로 초기 판재시편의 두께에 따른 최적 드로잉 깊이와 결합 형상을 확인하였다. 각각 소재의 치수는 5×10mm(폭×길이)에 대하여 두께 1.8mm, 2.2mm, 4.0mm로 흑색과 백색의 두 색상 플라스틱인을 적용하여 시편을 제작하였다. 단색의 시편 제작을 지양한 이유는 두 개의 결합

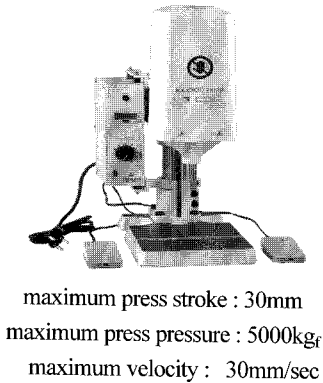
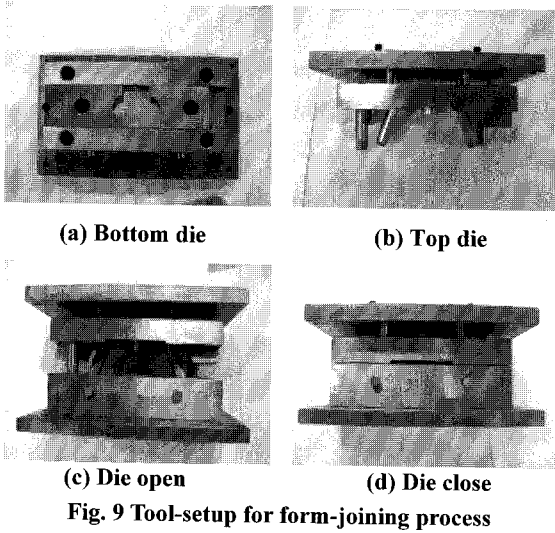


Fig.10 Solenoid Press for the form-joining press

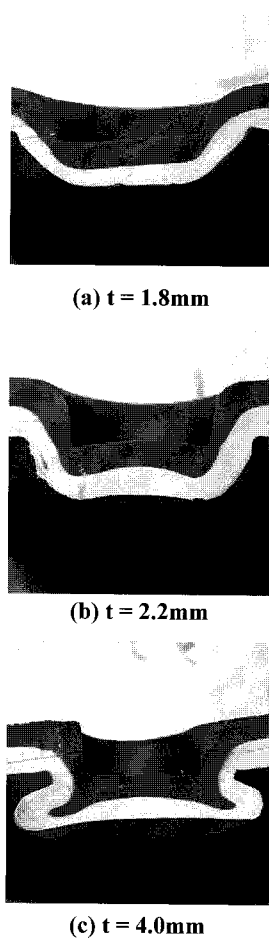


Fig.11 Drawing depth $h = 6\text{mm}$

판재의 변형 거동 특성 관찰을 용이하게 하기 위해서이다. 그리고 성형품간의 직접적인 접촉으로 인해 마찰계수 정도를 FEM 해석에 근사하게 모사하기 위해 각각의 플라스틱인 접촉면 사이에 활석 파우더(Talc powder)를 균일하게 도포하였다. 금형과 접촉되는 부분은 고체 윤활제의 일종인 닥드로잉용 저밀도 폴리에틸렌 필름을 사용하였다.

Fig.11에서 보이듯이 금형 캐비티의 드로잉 깊이가 6mm일 때 시편 두께 4.0mm의 결합 형상이 가장 우수한 결과를 보였다. 즉 h/t 비율이 1.5부근에서 소성변형으로 인한 두 판재간의 결합 구속 정도가 가장 긴밀하게 나타났다. 판재 두께가 얇아짐에 따라 단순히 드로잉된 형상만을 가짐으로써 두 판재간의 결합력이 낮아지게 되었다.

드로잉 깊이를 6mm 이하에서도 각각의 두께 별로 실험을 하였다. 그 결과 Drawing 깊이가 감

소할수록 소재의 구속력이 적은 형상으로 성형되는 양상이 나타났다. 또한 소재 두께가 증가할수록 금형 캐비티 내부에서 플라스틱이 과도하게 변형되어 최종 성형품의 표면 상태가 불균일하게 나타났다.

6. 결론

중첩된 박판 간의 기계적 체결 최적 공정 개발을 위하여 플라스틱을 이용한 물리적 모델링 실험을 실시하였다. 유한요소해석 결과를 토대로 우수한 결합력을 가지는 기계적 접합 메커니즘을 제안하고 플라스틱을 이용한 물리적 모델링 실험 결과를 바탕으로 초기 판재 시편 두께에 따른 최적 드로잉 깊이와 펀치, 금형의 치수를 정하여 두 판재간의 구속 형상을 최적화시키도록 하

였다. 체결방향 별로 일정한 결합력을 가지는 것은 물론, 드로잉 깊이를 최소화시켜 최종 성형품의 결합품질을 개선 시킬 수 있는 h/t 비율은 1.5 부근으로 나타났으며 이 구간에서 소성변형으로 인한 두 판재간의 결합 구속 정도가 가장 긴밀함을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 산학협동재단 학술연구비지원과제의 연구 결과로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] J. P. Varis, 2003, The suitability of clinching as a joining method for high-strength structural steel, Int. J. materials processing Technology, Vol. 132, pp. 242~249.
- [2] R. F. Pedreschi, B. P. Sinha, R. J. Davies, End fixity in cold-formed steel sections using press joining, Int. J. Thin Walled Structures, Vol. 29, No. 1/4, pp. 257~271.
- [3] A. P. Green, 1951, The use of Plasticine models to simulation the plastic flow of metals, Phil, Mag., p. 541.
- [4] P. M. Cook, Forging Research; Use of plasticine models, Metal treatment and drop forging, 1953, p. 541.
- [5] Shunji Oomori, Junichi Ibushi, 1974, A study of simulative model test for metal forming using plasticine, MTB.
- [6] S. Y. Aku, 1965, The use of plasticine to simulate the dynamic compression of prismatic blocks of hot metal, Int. J. Mechanical Science, Vol. 9, p. 495.