

블랭킹 잔류응력에 의한 리드프레임 변형 수치해석을 위한 대격자 모델

김용연[#]

A Coarse Mesh Model for Numerical Analysis of Lead Frame Deformation Due to Blanking Residual Stress

Yong Yun Kim[#]

ABSTRACT

The deformation of sheet metal due to the residual stress during blanking or piercing process, is numerically simulated by means of a commercial finite element code. Two dimensional plain strain problem is solved and then its result is applied to the deformation analysis of the lead frame. The plain strain element is applied to the 2D problem to observe the Von Mises equivalent stress concentration at the both shearing edges. As the punch penetrates into the sheet material, the stress concentration generated on both edges is getting increased to be the shearing surface. The limits of the punching depth applied to the simulation is 16% and 24% of the sheet thickness for the plain strain element and the hexahedral element, respectively. The hexahedral element and the limit of punching depth were applied to the deformation analysis of the lead frame for the blanking process. The FEM results for the lead deformation were very good agreement with the experimental ones. This paper shows that the coarse mesh has enabled to analyze the lead deformation generated due to the blanking mechanism. This simple approach to save the calculation time will be very effective to the design of the blanking tools in industries.

Key Words : Blanking process (블랭킹 공정), Lead Frame (리드프레임), Finite Element Method (유한요소해석), Semiconductor Package(반도체 패키지)

1. 서론

리드프레임은 화학적 부식에 의한 식각공정과 프레스에 의한 블랭킹 공정으로 제작된다. 리드프레임은 반도체 칩 단자로부터 신호를 회로기판

(PCB)에 전달하는 전기회로로 정의할 수 있다. Fig.1 은 메모리 반도체인 디램(DRAM)의 듀얼인라인 리드프레임의 제품도이다. 최근 리드프레임은 소재 두께 대비 회로의 너비가 40%이하의 수준에 이르고, 50 μ m이하의 리드변형을 요구하는 정밀한

접수일: 2004년 7월 27일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

[#] 교신저자: 충북대학교 기계공학부

E-mail yykim@cbnu.ac.kr Tel. (043) 261-3353

제품이다. 리드프레임 생산 금형은 500여 부품으로 구성되는 다단계 순차형 금형이다. 회로의 너비가 소재 두께보다 작을 때, 리드 끝단부(Fig. 1의 리드 중앙부)는 평면상의 변형과 비틀림변형이 크게 된다. 리드의 변형은 직접적으로 리드와 리드가 서로 접촉하는 불량 발생하고, 리드 끝단 부의 도금성을 저하시키고, 반도체 패키징 공정에서 금선 접합의 접착불량 및 금선의 인장력을 저하시켜 금선의 루프형상이 한쪽으로 쏠리는 스위핑(sweeping) 현상을 초래하게 된다.

전단 공정에 의한 리드프레임은 연속적 블랭킹 공정에 의하여 완성되기 때문에 블랭킹 후 변형을 최소화할 수 있는 형상설계, 금형의 편칭순서설계를 필요로 하고, 설계를 최적화하기 위해서는 전단공정으로부터 발생하는 잔류응력에 대한 해석을 요구한다. 블랭킹 후 소재의 변형을 관찰하기 위해서는 3차원 요소에 의한 3차원 해석이 요구되나, 블랭킹 공정이 진행될 때, 소재는 대단히 복잡한 응력-변형 현상을 수반하고, 비선형 대변형을 일으키기 때문에, 탄성변형에서 절단까지 공정을 3차원에서 해석하는 것은 대단히 어려운 문제로 알려져 있다. 이에 대한 수치해석은 대부분 축대칭 문제나 탄성영역에서 수행되었고, 3차원 해석에 의한 형상변형 해석은 극히 적을 뿐 아니라, 많은 유한요소에 의한 해석 시간의 제약 때문에 결과를 금형설계에 반영하는 것은 불가능하였다.

정밀블랭킹 공정을 해석하기 위하여 Maeda¹는 전단공정에 대한 이론적 해석을 하였고, Takaishi²는 편치와 다이 및 소재에 대한 전단부의 미소변위의 소성영역에서 해석함으로써 응력의 분포를 구하

고, 유한요소법에 의한 수치 해석의 가능성을 제시하였다. 이후 Koga³는 대변위 해석을 통하여 전단 변위에 의한 전단 크랙 형성과정을 유한요소법에 의하여 해석하고 비지오플래스티시티의 방법에 의한 실험을 통하여 전단 대변위를 측정하였다. 최근 Hambli⁴는 탄성변형에서 파단까지 전 공정을 축대칭 문제를 해석하였을 뿐 아니라, 손상 및 크랙형성에 의한 파단의 판단기준을 제시하였으나, 많은 유한 요소를 요구하기 때문에, 전단공정에 의한 잔류응력에 의한 변형해석에 적용하기는 쉽지 않았다. 그러나, 축대칭 전단시 파단면을 전산모사함으로써 향후 비대칭의 변형문제도 접근이 가능할 것으로 생각된다. Kim⁵은 블랭킹 공정을 LS-Dyna code를 적용하여 분석하였다.

본 논문에서는 리드프레임, 컨넥터와 같은 반도체 및 전자부품의 박판전단 성형공정에 대하여 전산모사한 결과를 기술하였다. 수치해석을 위하여 생산되고 있는 리드프레임의 시편으로부터 전단깊이를 측정하고, 단순 전단공정을 해석하여 측정된 전단 깊이와 비교하였다. 대 격자로 가능한 전단깊이를 적용하여 잔류응력에 의한 변형문제를 해석하고, 생산되고 있는 제품의 변형 결과와 비교하였다. 첫째로, 대변위 영역에서 2D 평면변형에 대한 블랭킹 공정을 비선형 대변위로 해석함으로써 소재에 손상이 발생하는 응력집중 현상을 고찰하였다. 둘째로, 이에 대응하는 편칭깊이를 3차원 문제인 반도체 부품인 리드프레임의 블랭킹 공정에 적용함으로써 미세리드의 변형을 고찰하였다.

2. 블랭킹 공정의 유한요소 해석

2.1 전단공정해석

Fig. 2은 블랭킹 금형을 단순화한 그림으로 다이, 스트리퍼는 원소재가 움직이지 않도록 압력을 가하여 소재를 고정시키고 편치가 내려오면서 소재를 블랭킹한다. 편치, 다이, 스트리퍼는 강체로 가정하고, 접촉면에서 공구와 소재의 마찰은 무시하고 강제 변위로 처리하였다. Fig. 3는 평면변형을 2차원 해석을 위한 절점분할 그림으로 대칭조건을 적용하여 편치 중심선을 기준으로 반쪽부분에 대해 430개의 절점으로 분할하였다. 스트리퍼는 소재가 고정될 수 있도록 가능한 작은 압력을 가하도록 설계하기 때문에 표면압은 무시하고, Fig. 3에서 C절점은 수평, 수직방향으로 구속하였다. 다이의 경계

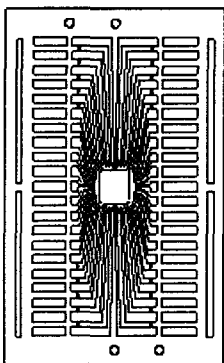


Fig. 1 Dip lead Frame

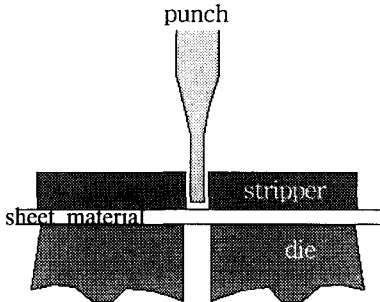


Fig. 2 Sketch of blanking dies

조건으로 다이와 접촉하는 절점을 수직방향으로 구속하였다. B절점에서 소재두께이상 되는 절점은 결과적으로 음압이 작용하기 때문에 구속하지 않았다. 펀치의 폭이 작기 때문에 펀치는 소재와 전면 접촉으로 가정하고 펀치와 접촉하는 소재의 절점은 수직방향으로 강제 변위를 주고, A 절점은 수평, 수직방향으로 구속하였다. 블랭킹 면적이 클 경우 소재가 펀치로부터 분리되는 부분이 발생하지만, 펀치의 너비가 원소재 두께보다 작을 경우 소재와 펀치는 완전히 접촉한다고 가정할 수 있다. FEM 코드는 Ansys를 사용하여 소성 대변형 요소인 Plane 42를 선택하여 378개의 요소로 해석하였다.

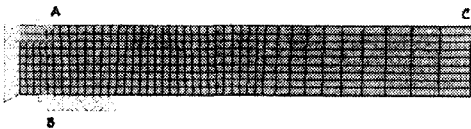


Fig. 3 Mesh generation

2.2 3차원 리드변형 해석

리드프레임 전 공정을 해석하는 데는 계산시간을 많이 필요하므로, 가장 리드변형이 심하게 발생하는 리드 5개의 형성 과정을 해석하였다. 유한요소소는 3차원 8절점 육면체 요소를 사용하였다. 5회 순차 블랭킹함으로써 5개의 리드가 형성된다. 따라서 아래와 같이 정 역학에 준하는 준 정적 상태의 10단계로 해석하였다:

- 1 단계 : 펀치 1 에 의한 블랭킹
- 2 단계 : 펀치 1과 접촉된 소재 제거 및 응력 풀림
- 3 단계 : 펀치 2에 의한 블랭킹
- 4 단계 : 펀치 2에 접촉된 소재 제거 및 응력 풀림

- 5 단계 : 펀치 3에 의한 블랭킹
- 6 단계 : 펀치 3과 접촉된 소재 제거 및 응력 풀림
- 7 단계 : 펀치 4에 의한 블랭킹
- 8 단계 : 펀치 4에 접촉된 소재 제거 및 응력 풀림
- 9 단계 : 리드 끝단 펀치에 의한 블랭킹
- 10 단계: 리드 끝단 형성 펀치에 접촉된 소재 제거 및 응력 풀림

3. 해석결과 및 고찰

3.1 평면 변형률의 블랭킹 공정 해석

리드프레임의 소재는 철계합금(Fe-Ni42)으로 탄성계수는 153.57MPa,이고 Fig. 4는 응력-변형률 선도를 나타낸다. 모델의 제원은 소재 두께 0.254mm, 펀치폭 0.254mm, 클리어런스는 원소재 두께의 4%, 펀치는 원소재와 전면 접촉하며, 펀칭깊이는 0.04mm까지 10단계로 동일한 절점구속 조건에서 해석했다. Fig. 5-6은 펀칭깊이에 따른 펀치와 다이에서 전단력 분포를 나타내고 펀치와 다이의 가장 자리에서 최대 전단력을 나타내고 있다. Fig. 5은 펀칭깊이에 따른 펀치 저항력의 변화이고 펀치의 가장 자리에서 최대 전단저항력을 나타낸다. 펀칭깊이가 증가함에 따라 절점 저항력은 증가함을 볼 수 있다. 음압이 작용하지 않기 때문에 펀치와 소재는 전면이 접촉하고 있음을 알 수 있다. Fig. 6에서 절점 B로부터 0.213-0.225mm에서 다이와 소재의 접촉압이 음압이 작용하고, 음압이 작용하는 절점부터 소재와 다이가 분리됨을 의미한다. 따라서 다이와 소재의 접촉하는 부분은 절점 B로부터 0.220mm, 소재두께 정도로 예측할 수 있다. Fig. 8은 펀치의 깊이에 대한 A절점

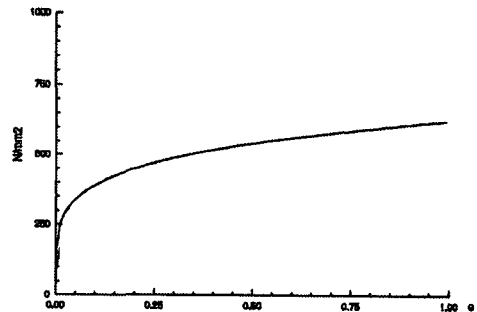


Fig. 4 Stress-strain curve of Alloy 42

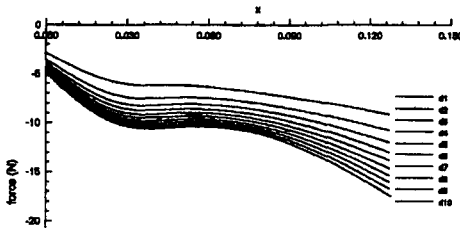


Fig. 5 Punching force distribution

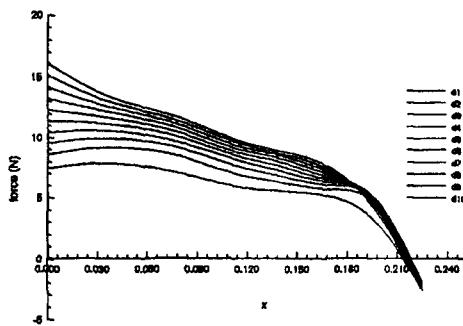


Fig. 6 Reacting force distribution on die

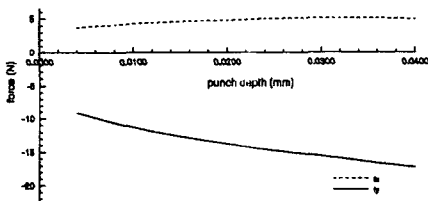


Fig. 7 Shearing force and side force of node 'A'

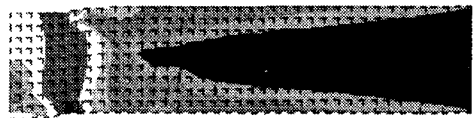
에서 x , y 방향의 절점반력의 변화이다. 실선은 A 절점의 전단력을 나타내고, 점선은 측압력을 보여 준다. 전단력과 측압력의 비는 약 14.6%이다. 측압력은 실험적으로 C. Ballhausen과 P. Moers등⁶⁻⁸이 측정 하였고 전단력의 8-33.6%로 소재에 따라서 크게 달라진다.

Fig. 8-9는 펀칭 깊이에 따른 Von Mises 상당응력과 전단응력의 분포이다. Plane 42요소를 사용할 경우 펀칭깊이 40 μm (소재두께의 16%)까지 계산이 가능하고, 육면체 요소를 사용할 경우 소재두께의 24%까지 해석이 가능하였다. 육면체의 요소는 평면요소에 비해 자유도가 높기 때문이다. Fig. 8로부터 펀칭행정에 따라 Von-Mises의 상당응력이 펀치와 다이의 모서리, A와 B절점에서 집중되기 시작함을 관찰할 수 있다. 펀치의 행정이 진행됨에 따라 펀치와 다이의 모서

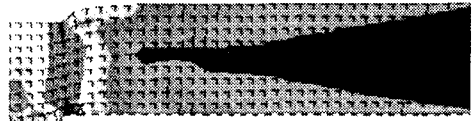
리에 접하는 요소로부터 최대상당응력이 발생하여 펀치와 다이의 양방향의 펀치인선을 따라 응력집중이 확대-감소하면서, 파단선을 관찰할 수 있다. 그러나 Fig. 9의 전단응력의 분포로부터 펀치와 다이의 모서리 부분에서 응력집중은 관찰되지 않는다. 리드프레임 소재와 같은 연성재료의 Von Mises 상당응력이나 전단변형에너지에 의한 상당응력이 파손의 기준이 됨을 알 수 있다.



(a) punching depth 4 μm



(b) punching depth 20 μm



(c) punching depth 40 μm

Fig. 8 Von Mises equivalent stress distribution



(a) punching depth 4 μm



(b) punching depth 20 μm



(c) punching depth 40 μm

Fig. 9 Shear stress distribution

3.2 3차원의 리드변형 해석

Fig. 10은 펀치 1-5의 순서로 블랭킹하여 리드 끝단부의 변형 현상을 확대한 사진이다. p1-p2-p3-p1-p2-p4는 펀칭순서, T는 타이바, 1-2-3-4-5는 리드 번호이다. 리드 프레임은 리드1 부터 리드5 까지 리드 간격을 0.254mm로 일정하게 설계했지만, 리드1과 리드2, 리드2와 리드3사이공간은 설계치수보다 작고 리드3과 리드4, 리드4와 리드5사이의 공간은 설계치수보다 넓음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 블랭킹에 의한 잔류응력의 불균형에 때문으로 설명할 수 있다. Fig. 11-12는 수치 해석 결과이다. 수치해석에 의한 리드변형은 생산제품의 리드변형과 비교적 잘 일치하고 있다. Fig. 13로부터 리드 변위의 측정값과 해석 결과를 비교할 수 있다. 리드프레임은 상하좌우대칭이므로 같은 형상과 리드의 변형이 1,2,3,4사분면에 있다. 현장 데이터는 각 사분면에서 측정한 값이고, 각 사분면마다 변형량의 차이는 있지만 경향은 동일함을 알 수 있다. 해석 결과에서 리드의 변형량은 현장 데이터의 극값을 나타내고 있다. 이러한 차이는 소재와 금형간의 마찰력의 영향과 금형의 조립상태, 프레스의 진동, 등의 영향으로 생각된다. 따라서 제품도와 같은 최종 제품을 얻기 위하여, 해석결과에 따라서 리드의 변형량을 상쇄시킨 수정 제품도를 기준으로 금형을 제작하여 리드 프레임을 생산한다면 설계자가 의도하는 제품도에 근접한 제품을 생산할 수 있을 것이다.

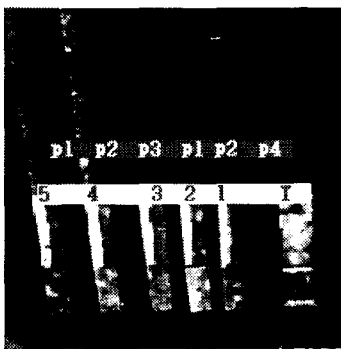


Fig. 10 Lead deformation of the dip lead frame

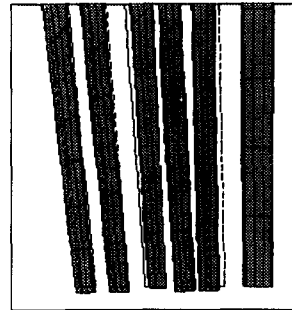


Fig. 11 Numerical result of lead deformation



Fig. 12 Lead deformation in z-direction

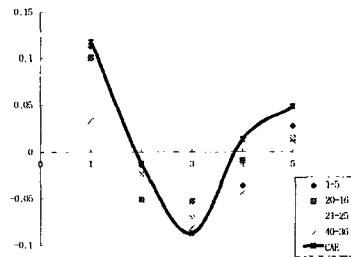


Fig. 13 Experimental and numerical data of lead deformation

4. 결론

정밀 블랭킹은 펀치와 다이의 공차영역이 소재 두께의 4%이고, 이 영역에서 소재의 파단면이 형성되기 때문에 전단부의 손상이나 크랙의 응력분포를 관찰하기 위해서는 금형의 클리어런스 부분의 미세 격자로 인하여 많은 계산시간을 요구하기 때문에 신제품의 생산성 검토를 위해 수치해석을 적용하는 것은 불가능하였다. 그러나 본 연구에서 펀치 모서리와 다이 모서리를 연결한 선을 중심으로 격자를 분할함으로써 대 격자에 의한 수치해석을 함으로써 계산시간을 단축함으로써 신제품에 대한 생산성 검

증이 가능하게 되었다. 특히 2차원 해석에서 Von Mises의 상당응력의 집중 현상을 관찰함으로써 전단에 의한 크랙팁의 형성과정을 확인할 수 있었다. 이미 알려진 것처럼 연성재료는 항복전단응력보다는 Von Mises 상당응력이 크랙 발생의 판단기준으로 더 적합함을 알 수 있었다. 또한 2차원 해석결과 및 실험에 의한 단면분석에 의한 크랙 생성시점의 펀칭 깊이를 계산하여 3차원에 적용하여 리드 변형을 해석하여 생산 제품의 변형과 비교적 잘 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문의 해석결과를 순차형 금형을 설계하는데 적용하면 블랭킹에 의한 잔류응력에 의한 현상 변형을 최소화하는 할 수 있을 것으로 사료된다. 더 나아가서 제품도와 같은 최종 제품을 생산하기 위해서 해석결과에 의한 리드 변형량을 고려한 수정 제품도를 기준으로 금형을 제작하여 리드 프레임을 생산한다면 설계자가 의도하는 제품도에 근접한 제품을 생산할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2004년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. Maeda, T., "Theory of the shearing mechanism for sheet-metals with punch and die," Precision Engrs(Japan), Vol. 25, No. 6, pp. 248-263, 1958.
2. Takaishi, K., Maeda, T., "Finite element analysis of shearing process," Journal of the JSTP, Vol. 21, No. 236, pp. 784-791, 1980.
3. Koga, N., "An application of viscoplasticity to the analysis of shearing Phenomenon," Journal of the JSTP, Vol. 32, No. 364, 1991.
4. Hambi, R., "Finite Element Model fracture prediction during sheet-metal blanking processes," Engineering Fracture mechanics, Vol. 68, No. 3, pp. 365-378, 2001.
5. Jeong, S. J., Kim, D. H., Kim, B. M., Jeon, Y. H., "Development of optimal layout design system in multihole blanking process," JKPE, Vol. 20, No. 3, 2003.
6. Keller, F., "Untersuchung des Kraftbedarfes beim Scherenden Schneiden langs einengeraden Schnittkinie," Werkstatt U., Betrieb, 1949.
7. Ballhausen, C., Moers, U. P., "Untersuchung der Seitenkraft beim Schneiden dunner Bleche," Werkstattstechnik U., Maschinenbau, 1956.
8. Maeda, T., "Measuring of the side force acting on shearing tools," Precision Engrs(Japan), Vol. 26, No. 11, pp. 575-585, 1958.