

니켈합금 Alloy42를 사용하는 리드프레임의 블랭킹 특성에 관한 기초연구

반갑수*, 서의권⁺, 이광호⁺, 모창기⁺
(논문접수일 2004. 2. 20, 심사완료일 2004. 8. 18.)

A Study on the Characteristics for the Blanking of Lead Frame with the nickel alloy Alloy42

Gab-su Bahn*, Eui-kwon Suh⁺, Gwang-ho Lee⁺, Chang-ki Mo⁺

Abstract

An experimental is carried out to investigate the characteristics of blanking for nickel alloy Alloy42 ($t=0.203\text{mm}$), a kind of IC lead frame material. By varying clearance between die and punch, the shapes of shear profile are examined. Finite element analysis with element deletion algorithm for ductile fracture mode is also carried out to study the effect of clearance theoretically and to compare with experimental results. The rectangular shape specimen with four different corner radius is used to study the characteristics of blanking for straight side and corner region simultaneously. As the result, the ratios measured from experiment of roll over, burnish, and fracture zone based on initial blank thickness are compared with those of FE analysis. Both experiment and FE analysis show that the amount of roll over and fracture is increased as the clearance increases. When the radius of corner is less than thickness of blank, it has been found that larger clearance is required than that of straight region in order to maintain same quality of shear profile at the corner region.

Key Words : Ni Alloy(니켈 합금), Lead frame(리드 프레임), Blanking(블랭킹), Finie element analysis(유한요소 해석), Element deletion method(요소제거기법), Clearance(틈새)

1. 서론

Blanking 가공은 박판 소재인 판재류의 스트립(strip)에

서 펀치와 다이를 이용하여 제품이 되는 부분을 따내는 전단가공으로 산업현장에서 널리 이용되는 금형을 사용한 기본적인 가공방법이다. 근래에 들어 전자제품의 소형화,

* 상주대학교 자동차학과 (gsban@sangju.ac.kr)
주소: 742-711 경북 상주시 가장동 386

+ 상주대학교 자동차공학과

정밀화로 이에 사용되는 프레스 부품의 정밀도 향상에 단가 공으로 산업현장에서 널리 이용되는 금형을 사용한 기본적인 가공방법이다. 근래에 들어 전자제품의 소형화, 정밀화로 이에 사용되는 프레스 부품의 정밀도 향상에 대한 요구가 끊임없이 증가되고 있다. 특히 반도체에 사용되는 리드 프레임(lead frame)은 칩(chip)을 지탱하는 골격으로 리드의 폭 및 간격은 반도체의 집적도에 따라 다르나 현재 생산되는 리드 프레임의 최소 리드 간격이 소재두께의 50%정도에 불과하기 때문에 블랭킹 가공시 리드의 뒤틀림, 편심, 프레임의 뒤틀림, 휨 등등의 불량요인을 안고 있어 리드 프레임의 생산을 위해서는 이에 대한 대책이 필요하며, 따라서 고집적도의 반도체용 리드프레임에는 초정밀도 프레스 가공이 요구된다. 이러한 리드 프레임의 공정설계와 생산을 위해서는 금형의 초정밀 가공뿐만 아니라 금형 설계에서도 경험과 아울러 리드 프레임 소재의 블랭킹 특성에 대한 확실한 이해가 필요하다.

컴퓨터의 발달과 더불어 금형설계에서 CAE를 통하여 금형설계에 많은 유용한 정보를 얻으려는 시도가 끊임없이 이어지고 있으며, 그 중 유한요소해석법이 널리 이용되고 있다. 블랭킹은 소재의 파단을 동반하기 때문에 이 공정을 유한요소법으로 해석하기 위해서는 특별한 고려, 즉 적절한 연성파괴기준(ductile fracture criterion)⁽¹⁻⁶⁾ 과 요소제거기법(element deletion method)의 사용 등이 필요하다. Cockcroft와 Latham⁽²⁾이 제안한 연성파괴기준은 파괴시 소성변형률 경로에 대한 최대 주인장응력의 영향을 고려하여 전단 공정에서 인장변형률에너지가 재료상수인 임계값에 도달하면 파괴가 일어난다는 가정이다. 이 방법은 다양한 하중조건에 적용될수 있고 실험적 접근 및 수치적 계산이 용이하여 많이 사용되고 있다.

블랭킹 및 유한요소해석에 관한 연구들로서, Maeda 등⁽⁷⁾은 블랭크 압축력, 누름판의 돌기부 형상 등이 전단면에 미치는 영향을 조사하였다. Asuke⁽⁸⁾는 두께 0.25mm의 순동(純銅)의 프로그래시브 블랭킹에서 0.2mm 코너반경에서 틈새의 변화에 따른 블랭킹 제품의 코너부 품질을 측정 평가하였다. Jimma 등⁽⁹⁾은 리드프레임의 내부 리드의 형상과 유사한 L자의 순차이송 타발실험을 통해서 타발속도에 따른 금형의 동적 변형을 관찰하고, 이러한 금형의 동적 변형이 제품정밀도에 미치는 영향을 조사하였다. Jeong 등⁽¹⁰⁾은 DEFORM 2D⁽¹¹⁾를 이용하여 변형률을 파괴기준으로 설정하고, 계산과정중에 요소에 발생한 변형률이 파괴기준 변형률에 도달하면 해당요소를 제거하고, 격자 재

구성을 수행하여 전단 메카니즘을 해석하여 요소제거기법에 의한 전단공정의 해석이 가능함을 최초로 제시하였다. Taupin 등⁽¹²⁾은 역시 DEFORM 2D에 McClintock⁽⁶⁾의 연성파괴기준을 적용하여 블랭킹공정을 실험과 함께 해석하여 Cockcroft와 Latham의 연성파괴기준과 마찬가지로 블랭킹 공정에 적용할 수 있음을 보였다. 국내에서는 Han 등⁽¹³⁾이 Deform-2D FEM 코드를 이용하여 리드프레임의 블랭킹 공정에서 스트리퍼력과 스트리퍼형상이 최종 리드 형상에 미치는 영향을 관찰하였으며, 리드프레임의 치수정밀도 향상을 위한 방법을 제안하였다. Kim 등⁽¹⁴⁾은 Deform 2D의 요소제거 기법을 이용하여 파인 블랭킹 공정을 해석하였으며, Lim 등⁽¹⁵⁾은 리드프레임 재료인 C194에 대하여 타발면의 형상에 미치는 틈새의 영향을 평가한 바 있다.

근래에 전자산업의 발전으로 반도체의 성능이 향상되고 집적도가 증가되어 리드프레임의 형상정밀도의 요구수준이 높아지고 있으나, 리드프레임에 관한 연구들은 아직도 부족한 편이다. 실제로 실험적인 방법으로 리드 프레임의 블랭킹 특성을 규명하기 위해서는 재질, 두께, 금형가공, 프레스, 측정장비 등 블랭킹과 관련한 모든 요소 모두에 초정밀도가 요구되기 때문에 실험에 의한 리드프레임의 블랭킹특성을 규명하기가 매우 까다로운 형편이다. 따라서 본 연구에서는 리드 프레임용 재료인 두께 0.203mm, 니켈합금 Alloy42 재질의 블랭킹 특성을 알아보기 위해 직접 실험과 유한요소 해석을 수행하였다. 실험에서는 가장 큰 영향을 미치는 공정변수인 틈새(clearance)의 크기에 따른 단계별 전단면 형상(shear profile)을 조사하였다. 아울러 직선부와 곡선부의 전단 특성을 조사하기 위하여 곡선부의 곡률반경을 변화시키면서 전단면의 형상을 비교하였다. 실험과 더불어 유한요소 해석을 통하여 틈새의 변화가 직선부의 전단면 형상에 미치는 영향을 조사하고 이를 실험과 비교 하였다. 해석에 사용된 S/W는 Deform 2D⁽¹⁶⁾이며, 실험과 잘 부합되는 연성파괴 해석조건 및 유한요소 모델을 도출함으로써, 금형설계에 유용한 기초자료를 제공하는 데 본 연구의 의의가 있다.

2. 실험조건 및 유한요소해석

2.1 실험 조건

리드프레임의 블랭킹 특성을 알아보기 위하여 Fig. 1과 같은 타발 시편으로 실험을 수행하였다. 10mm×5mm 두께 0.203mm의 직사각형으로 모서리부에 반경 0.10mm, 0.15mm, 0.20mm, 0.25mm의 모서리 반경을 부여하여 직선부 뿐만 아니라 곡선부위의 전단면 형상을 동시에 관찰할

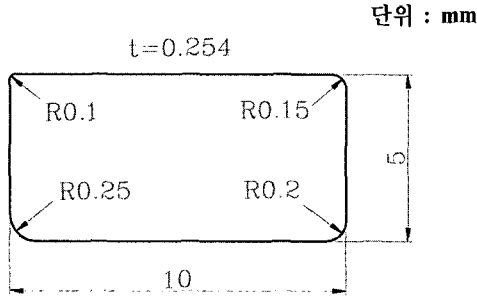


Fig. 1 Configuration of experimental specimen

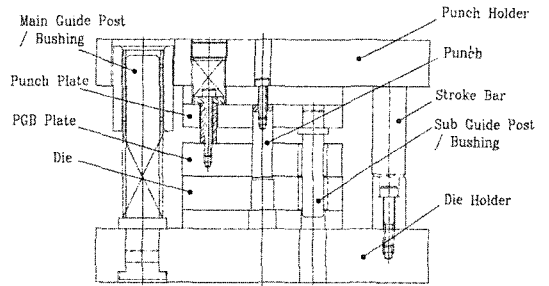


Fig. 2 Schematic view of blanking die components

Table 1 Properties of Alloy42

Ni	Mn	Co	Si	Cr
40~43	≤ 0.80	≤ 0.50	≤ 0.30	≤ 0.10
Al	C	P	S	Fe
≤ 0.10	≤ 0.05	≤ 0.015	≤ 0.025	remainder
Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)	
682.8	662.2	5.6	180~220	

수 있도록 하였다. Table 1은 Alloy42의 화학적 성분 및 기계적 성질을 나타내고 있다. Alloy42는 Ni성분이 40~43% 정도를 차지하는 Ni 합금으로서, 또다른 리드 프레임 재료로 Cu성분이 97.2%이상을 차지하는 Cu 합금 C194와 비교하여 열 및 전기전도도는 떨어지나, 항복강도, 연신율, 경도 등 기계적 성질은 더 우수한 특성을 지니고 있다.

Fig. 2는 실험에 사용된 금형의 각 구성부분을 나타내는 개략도이며, Fig. 3은 펀치를 포함한 상형을 제거한 다이의 하형 부분을 나타낸다. DR형의 다이세트 형식으로 아웃터 가이드포스트 및 인너 가이드포스트와 부시를 병용하였다. 펀치와 다이는 초경합금으로, 누름판과 다이 플레이트는 STD11을 사용하여 제작하였고, 프로파일 그라인더를 이용하여 치수정밀도 2 μ m로 금형을 가공하였다. 금형은 우선 틸새를 두께의 4%를 기준으로 펀치와 다이를 제작하여 먼저 실험하고, 프로파일 그라인더를 이용하여 다이부분을 가공하여 6%, 8% 및 12%등으로 틸새를 조절한 후 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 프레스는 실제 리드프레임의 제작에 사용하는 스위스 Bruderer 사의 초정밀 고속 프레스 (18 Ton)를 이용하였다. 실험 후 시편의 단면을 예폭시료 몰딩한 후 이를 연마한 후 측정정밀도가 0.5 μ m인 광학식 측정기(Optical Gauging Product Co.)를 이용하여 타발

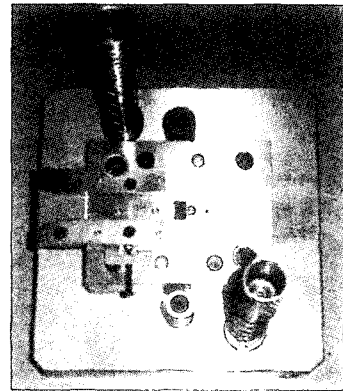


Fig. 3 Top view of lower blanking die

면의 형상을 측정하였다.

2.2 유한요소해석

유한요소해석에서는 항복응력, 인장강도, 연신률 등의 일반적인 기계적 성질보다는 재료의 변형경로를 예측할 수 있는 응력과 변형률의 곡선의 결정이 중요하다. 따라서 재료 메이커(Mitsubishi)로부터 제공받은 리드프레임용 Alloy42 재료의 응력과 변형률 데이터를 이용하여 최소자승법을 이용하여 식 (1)의 유효응력-유효변형률 곡선식을 도출하였다.

$$\bar{\sigma} = 1342.3 \bar{\epsilon}^{0.14} \text{ MPa} \quad (1)$$

본 연구에서는 Deform 2D 상용프로그램을 사용하여 단열 평면변형률 문제로 가정하여 유한요소 해석을 하였다. 시편의 모서리부는 원호 형상이지만 블랭킹 과정 중에 직선부의 영향을 받기 때문에 축대칭 해석이 곤란하여 3차원 해석이 필요한 반면 직선부위는 평면변형해석으로 충분하기 때문에 본 연구에서는 Deform 2D로 해석이 가능한 직선부

만 해석하여 전단면 형상을 실험과 비교하였다.

Fig. 4는 해석에 사용된 전체 유한요소 모델을 나타낸다. 펀치와 다이의 틈새 부위에서 변형이 집중되므로 요소를 세분화하였다. Fig. 5는 틈새가 4%일 경우의 해석에 사용된 전체 모델링중 파단이 일어나는 부위만을 확대한 것이다. 실제 펀치 및 다이의 모서리는 예리하여 소재에 절입이 되나, 유한요소해석에서는 해석중에 격자의 왜곡이 심해짐에 따라 자코비안(Jacobian)값이 음수가 되고 이에 따라 해석이 불가능해 지기 때문에 성형해석시 펀치 및 다이의 최소 반경으로 0.003mm로 하였다.

연성파괴조건은 수정된 Cockcroft & Latham식⁽¹⁶⁾을 사용하였고, 이때 임계치를 0.45로 가정하였는데 이 값은 반복적인 해석을 통해 실험과 잘 일치되는 값으로 설정하였

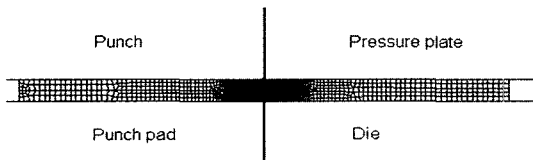


Fig. 4 Finite element mesh system

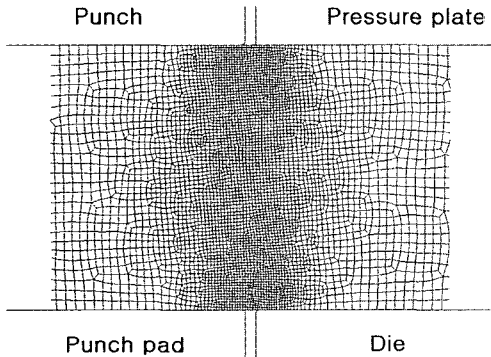


Fig. 5 Magnified view of FE mesh (clearance 4%)

Table 2 Parameters used in FE analysis

Parameter	Value
Punch speed	1000 mm/s
Friction Coefficient	0.1
Stroke per step	0.002 mm
No. of elements	About 6000 EA
Mesh densities	200, 60, 10, 5

다. 파괴가 시작될 때까지 격자재구성(remeshing)을 이용하여 해석을 수행하고 파괴가 발생되면 격자재구성을 중지하고 Deform 2D에서 제공하는 요소제거법을 사용하여 해석을 진행하였다. 기타 공정변수는 Table 2와 같다.

3. 결과 및 고찰

먼저 기준 틈새인 4%에서 실험과 유한요소해석을 각각 수행하였다. Fig. 6은 펀치의 진행단계별로 블랭킹이 진행되는 실험 형상을 나타낸다. 실험결과 전체두께에서 치짐이 12%, 전단면이 65%를 차지하였다. 앞선 연구⁽¹⁵⁾에서 C194에 비해 치짐과 전단면이 향상된 것을 알 수 있는데 이는 Ally42가 C194에 비해 연신율이 1.65배로 높기 때문에 치짐과 펀치의 먹혀들어감이 증가한 것으로 생각된다. Fig. 7는 틈새가 4%인 경우의 유한요소 해석 결과를 보여준다. 블랭킹 초기단계에서는 소재에서 치짐이 발생되고 펀치선단에서 절입이 되어 진행되는 과정을 잘 보여준다.

Fig. 8(a)는 펀치행정 0.156mm일 때의 유한요소 해석결과로 펀치선단 및 다이 선단에서 균열이 시작되고 Fig. 8(b)는 펀치행정 0.165mm에서 실질적으로 블랭킹의 최종 단계인 펀치 선단 및 다이선단에서 시작된 균열이 서로 만나 재료의 분리가 완료된 모양을 보여준다. Fig. 9는 균열이 발생되기 직전의 소재에서의 유효변형률 분포를 나타내는데 그림에서 알 수 있는 바와 같이 펀치 선단과 전단밴드 부근에서 변형이 집중되고 있음을 알 수 있다.

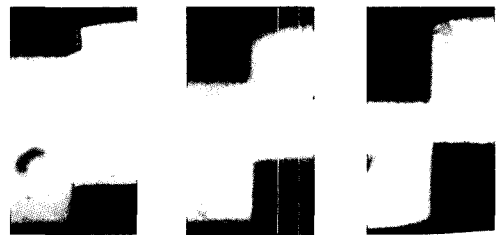


Fig. 6 Progress of blanking experiment (clearance 4%)

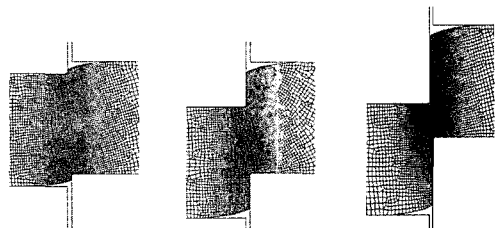


Fig. 7 Progress of blanking simulation (clearance 4%)

Fig. 10은 최종 블랭킹 작업후 정면과 측면에서 관찰한 단면형상을 해석형상과 함께 나타내었다. 해석에서 얻어진 전단면의 형상이 실험과 거의 유사하게 나타남을 볼 수 있다.

Fig. 11은 4% 틈새에서 실험한 시편의 각 모서리 반경(R)의 크기에 따른 타발면의 정면 형상이다. 직선으로 표시된 시편의 직선부 파단면의 비율을 기준으로 각 반경 크기에 따른 파단면의 비율을 Fig. 12에 나타내었다. 실제로 블랭킹 금형의 모서리부는 펀치의 모서리 반경과 다이의 모서리 반경이 동일하게 제작되는데 이로 말미암아 다이 모서리부의 틈새는 직선부의 틈새보다 크게 된다. 뿐만 아니라 타발 초기에는 펀치가 전진하면서 소재를 드로잉하는 작용이 나

타나는데 특히 모서리 부근에서는 직선부의 소재가 모서리 쪽으로 유입되는 현상이 나타나서 직선부위와는 전단특성이 달라진다. Fig. 12에 나타난 바와 같이 실험 결과 곡선부의 모서리 반경이 0.10mm인 경우 파단면의 비율이 거의 0에 가깝게 나타났으며, R=0.15mm의 경우 파단면의 비율이 25%, R=0.20mm 일때 28%, 그리고 R=0.25mm의 경우 파단면이 전체 판두께의 18% 정도 발생하였다. 즉 모서리 반경이 0.20mm 이하에서는 모서리 반경이 증가함에 따라 파단면의 비율이 증가하는데 이는 직선부위에서의 틈새의 증가에 따라 파단면 비율이 증가하는 사실과 동일한 경향을 보여주고 있지만, 모서리 반경이 0.25mm일 경우에는 파단면이 오히려 감소하고 있어 직선부위와 다른 특성을 보여주고 있다. 모서리부위의 전단특성이 직선부위와 다른 이유는 앞

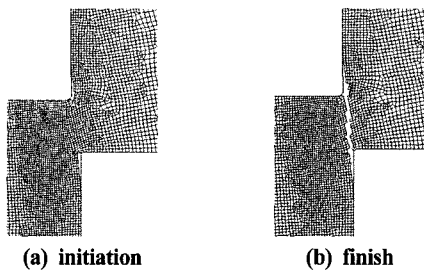


Fig. 8 Crack initiation and finish of blanking operation

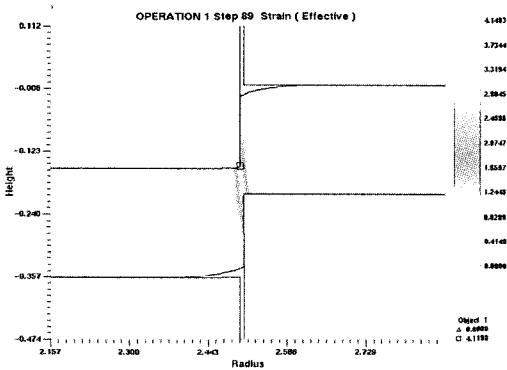


Fig. 9 Effective strain distribution (clearance 4%)

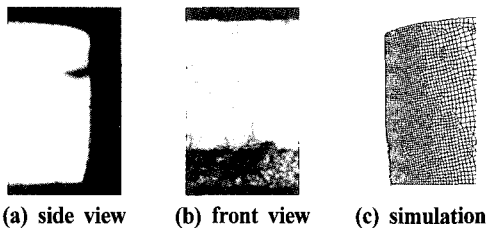


Fig. 10 Final front and side views of experiment and simulation(clearance 4%)

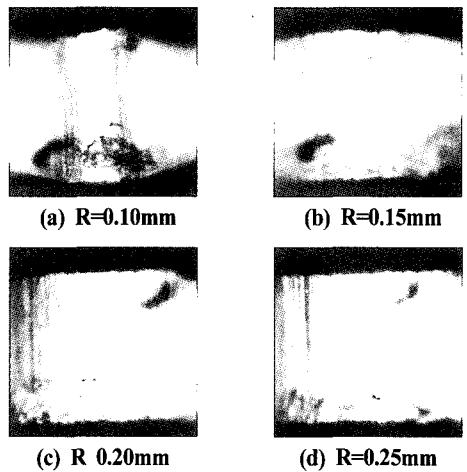


Fig. 11 Front views of corner rounds (clearance 4%)

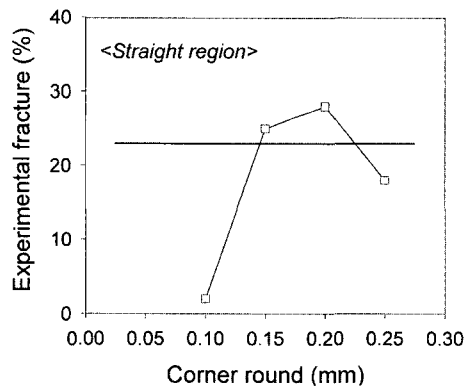


Fig. 12 Effect of corner radius at the corner region(clearance 4%)

서 언급한 바와 같이 타발 초기의 드로잉 작용에 기인하는 것으로 판단된다. 즉 모서리 반경이 커질수록 모서리 반경이 작을 경우에 비해 드로잉 작용이 쉽게 일어나기 때문에 모서리 반경이 클 경우 직선 부위와 다른 전단특성을 나타내는 것으로 판단된다.

Fig. 13에서 Fig. 15는 각각 6%, 8%, 12%의 틈새에서의 최종 블랭킹 후 실험과 해석 결과를 나타내었는데 해석결과가 실험과 유사한 경향을 보여준다. 틈새가 증가함에 따라 처짐과 파단면의 비율이 증가하고 전단면의 비율은 감소하고 있으며 또한 파단면의 각도가 틈새가 증가함에 따라 커지는 것을 알 수 있다.

Fig. 16은 실험 및 해석결과에서 나타난 전단면의 각 구성영역 즉, 처짐, 전단면과 파단면의 비율을 틈새별로 정리하여 나타내었는데, 틈새의 증가에 따라 처짐과 파단면이 차지하는 비율은 증가하고, 전단면이 차지하는 비율은 작아진 것을 쉽게 알 수 있다. 4%, 6%, 8% 틈새에서 대체로 해석결과와 실험결과가 잘 일치하고 있으나 12%로 틈새가 커짐에 따라 처짐 및 전단면에서 약간의 차이를 나타낸다. 이는 3차원 측정기로 측정할 때 파단면과 전단면의 경계가 직선적이지 못하기 때문에 나타난 측정오차, 그리고 연성파괴 해석시 요소제거와 요소 재구성을 하면서 해석을 수행하는데 이 과정에서 유한요소 격자계의 모양에 따라 제거되는 요소의 모양이 달라지게 되고 이로 말미암아 해석결과가 차이가 났기 때문으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 반도체 리드 프레임용 재료인 두께 0.203 mm, 니켈합금 Alloy42재질의 블랭킹 특성을 실험을 통하여 조사하였다. 펀치와 다이 사이의 틈새가 전단면의 형상에 미치는 영향을 실험과 유한요소해석을 통하여 파악하였다. 틈새의 증가에 따라 처짐과 파단면의 비율이 증가하고 전단면은 감소하는 것을 실험과 유한요소해석을 통해 검증할 수 있었다. 특히 직선부의 형상과 유사한 파단면을 얻기 위해서는 펀치와 다이의 모서리 반경을 동일하게 주어 직선부보다 큰 틈새가 필요함을 알 수 있었으며, 모서리의 라운드 크기가 판두께 이상일 경우는 직선부와 같은 틈새를 유지하여도 타발 초기에 드로잉작용에 기인하여 직선부와 다른 전단특성이 나타남을 알 수 있었다.

유한요소해석을 통하여서는 전단면 형상에 영향을 미치는 틈새에 대해 실험결과와 잘 부합되는 연성파괴 해석조건

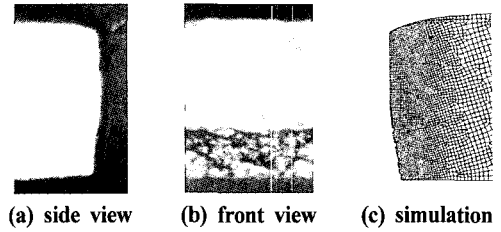


Fig. 13 Front view, side view of straight region and simulated result (clearance 6%)

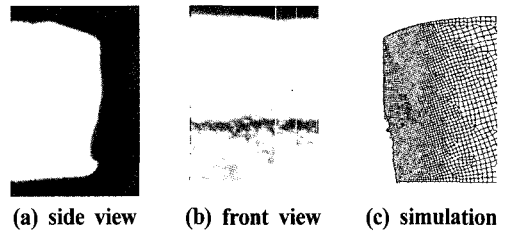


Fig. 14 Front view, side view of straight region and simulated result (clearance 8%)

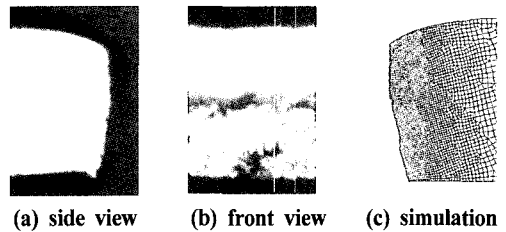


Fig. 15 Front view, side view of straight region and simulated result (clearance 12%)

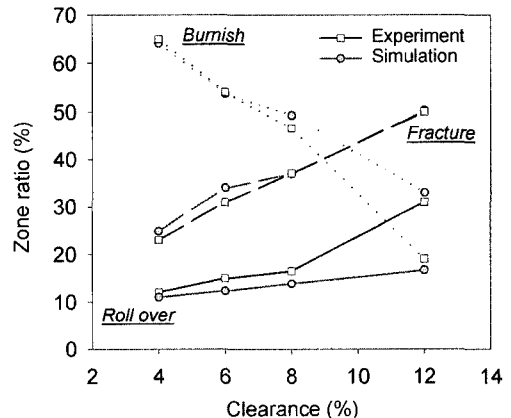


Fig. 16 Variation of fracture, burnish, and roll over zone ratios according to each clearance

및 유한요소 모델을 도출하였다. 이러한 미소 박판의 연성 파괴 해석모델은 차후 동일한 니켈합금 Alloy 재료를 사용한 리드 프레임 금형설계에 유용한 기초자료로 이용될 것이며, 향후 우수한 품질의 리드 프레임의 생산을 위해서는 더 많은 생산공정인자의 영향에 대한 연구가 수반되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) Freudenthal, A. M., 1950, *The inelastic behaviour of engineering materials and structures*, Wiley, New York.
- (2) Cockroft, M. G., and Latham, D. J., 1968, "Ductility and the workability of metals," *J. Inst. Metals*, Vol. 96, pp. 33~39.
- (3) Brazzo, P., Deluca, B., and Rendina, R., 1972, "A new method for the prediction of formability limits of metal sheets," *Proceedings of the 7th Biennial Conference of the IDDRG*.
- (4) Ghosh, A. K., 1976, "A criterion for ductile fracture in sheets under biaxial loading," *Metallurgical Transactions*, Vol. 7A, pp. 523~533.
- (5) Oyane, M., 1972, "Criteria of ductile fracture strain," *Bulletin of the JSME*, Vol. 105, pp. 1507~1513.
- (6) McClintock F. A., 1968, "A criterion for ductile fracture by the growth of holes," *J. Appl. Mech.*, Vol. 35, pp. 363~371.
- (7) Maeda, T., and Nakagawa, T., 1968, "Experimental Investigation on Fine Blanking," *Sci. Papers I.P.C.R.*, Vol. 62, No. 2, pp. 65~80.
- (8) Asume, F., 1996, "Characteristics of blanked sheet metal at inner corner," *J. of Mechanical Eng. Lab.*, Vol. 50, No. 2, pp. 1~6.
- (9) Jimma, T., Sekine, F., and Sato, A., 1990, "Influence of dynamic behavior of progressive die-Research on precision blanking of electronic machine parts II," *J. of Japan Soc. for Tech. of Plasticity*, Vol. 31, No. 348, pp. 60~65.
- (10) Jeong, S. H., Kang, J. J., and Oh, S. I., 1996, "A study on shearing mechanism by FEM simulation," *Proceed. 5th Int. Con. on Tech. of Plasticity*, Vol. 2, pp. 631~634.
- (11) Oh, S. I., Wu, W. T., Tang, J. P., and Vedhana-yagam, A., 1991, "Capabilities and applications of FEM code DEFORM : Perspective of the developer," *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 27, pp. 25~42.
- (12) Taupin, E, Breitling, J., Wu, W. T., and Altan T., 1996, "Material fracture and burr formation in blanking results of FEM simulations and comparison with experiments," *J. Mat. Proc. Tech.*, Vol. 59, pp. 68~78.
- (13) Han, C. H, and Chun, S. G, 1999, "A study of precision improvement of lead frame blanking", *Proceed. of '99 KSPE Autumn Conf.*, pp. 1027~1030.
- (14) Kim, Y. J., Kwak, T. S., and Bae, W. B, 2000, "Finite Element Analysis on Effect of Die Clearance on Shear Planes in Fine Blanking," *Trans. Mat. Processing*, Vol. 9, No. 2, pp. 152-158.
- (15) Lim, S. H., Suh E. K., and Shim, H. B, 2001, "A study on the characteristics for the blanking of lead frame with the rectangular shape blanking," *J. KSPE*, Vol.18 No.3, pp. 182~188.
- (16) DEFORM™, 1998, *DEFORM-2D Ver. 6.0 Users Manual*, Scientific Forming Technology. Co.