

박판 미세 V-notching 성형 공정에 관한 해석적 연구 Analytical Study on Forming Process for Micro V-notching of Thin Sheet Metal

*김상묵¹, 김화영², 구태완³, 강범수³

*S. M. Kim¹, H. Y. Kim², T. W. Ku³, #B. S. Kang³(bskang@pusan.ac.kr)

¹ 부산대학교 항공우주공학과 대학원, ²(주)일광켄테크, ³부산대학교 항공우주공학과

Key words : V-notching, Sheet Metal Forming Process, Process Parameters

1. 서론

리튬이온 2차 전지는 IT 단말기, 통신기 및 노트북 등의 휴대용 전자제품에 이용되며, 친환경적인 장점과 휴대용 전자제품의 급격한 보급으로 인하여 수요가 증가하고 있다. 하지만 외부의 충격이나 내부 합선에 따른 전지의 내부압력 증가로 인한 폭발의 위험성이 있다. 이에 따라 사용자들의 안전을 보장하기 위하여 전지 내부에 안전장치를 탑재하고 있다.

안전장치는 전지 내부에 발생하는 압력을 적절한 내부압력에서 외부로 배출하는 역할을 한다. 적절한 내부압력에서 특정부위의 파단으로 내부기체를 외부로 배출하기 때문에 파단이 발생되기를 원하는 부위에 V자 형태의 홈을 성형하는 박판 미세 V-notching 성형 공정이 적용된다. 이것은 박판 스탬핑(stamping) 성형 공정과 동일하며, V자 형태로 성형되는 특성을 고려하여 V-notching 성형 공정이라 명명한다.

박판 미세 V-notching 성형 공정은 성형 공정 과정, 금형 형상, 마찰 특성 및 경계조건 등 여러 가지 공정 변수들에 의해서 제품의 품질이 크게 좌우된다. 금형 및 공정의 설계과정과 제품 성능을 만족시키는데 많은 노력과 시간이 소요되어 왔으며, 현장 작업의 상당부분에서 성형 공정과정과 성형 공정 변수가 성형에 미치는 영향을 파악하지 못하고 숙련된 기능공과 엔지니어의 경험, 시행착오 및 직관 등에 의존해서 결정되고 있다.[1]

본 논문에서는 리튬이온 2차 전지의 중요한 부품인 안전장치에 박판 미세 V-notching 성형 공정을 적용하였으며, 성형공정 과정을 CAE 해석을 수행하기 위하여 Al 1050-H16에 관하여 재료 인장시험을 실시하였다. 획득한 재료의 인장특성을 이용하여 CAE 해석을 실시하였으며, 시제품의 단면 형상을 광학현미경으로 촬영하여 성형 단면 특성을 파악하였다. 최종적으로 성형공정 변수의 Case Study를 통하여 V-notching 성형 공정에서 고려해야 될 요소를 제시하고자 하였다.

2. 성형공정 과정 해석 및 시제품

2.1 Al 1050-H16 진응력-진변형률 관계

성형공정의 CAE 해석에서 정확도 높은 결과를 얻기 위해서는 소재의 정확한 물성 정보가 필요하다. 알루미늄 합금 Al 1050-H16의 물성 자료를 획득하기 위해서 INSTRON 8516장비를 이용하여 인장 시험을 실시하였다. 인장 시험편은 ASTM (B 557M-06)규격을 참고 하였으며, 표점거리는 50mm이고 1mm/min의 속도로 시험을 실시하였다.[2]

인장 시험을 통하여 공칭응력-공칭변형률 곡선을 획득하였다.

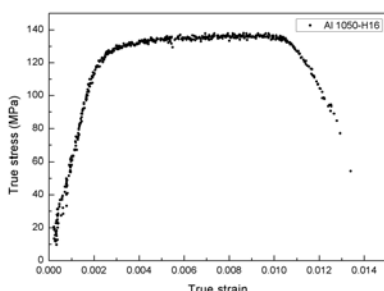


Fig.1 True stress-True strain curve

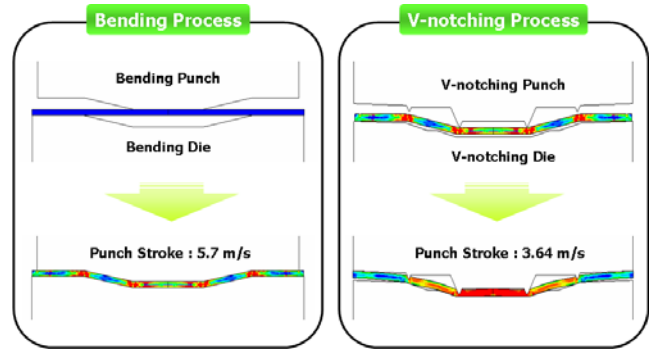


Fig.2 Forming process of sheet metal V-notching

이를 통해서 Fig.1과 같은 진응력-진변형률 곡선을 얻을 수 있었으며, 그래프를 통해서 Al 1050-H16의 변형률이 매우 작음을 확인할 수 있고 변형률이 0에 가깝기 때문에 공칭변형률과 진변형률이 거의 유사함을 확인할 수 있었다.[3]

2.2 성형공정 과정 CAE 해석

상온에서의 박판 미세 V-notching 성형 공정해석은 상용코드인 ABAQUS/Explicit를 이용하였다. 유한요소해석에 사용된 물성치는 인장곡선에서 나온 항복점 이후에서부터 인장 강도까지의 값을 사용하였고, 등방성으로 가정하였다. 성형 공정해석은 Fig.2와 같이 Bending 공정을 수행하여 초기 형상을 성형한 후 V-notching 공정으로 최종 형상을 성형하였다. Bending 공정에서 5.7m/s의 속도로 펀칭을 수행하였고 V-notching 공정에서 3.64m/s의 속도로 펀칭을 수행하였다. 성형공정 해석에 사용된 펀치와 다이는 해석상의 편의를 위하여 해석적 강체 요소(analytical rigid element)로 모델링을 하였고 블랭크는 4 절점 평면 변형률 요소인 CPE4R요소로 모델링 하였다. 블랭크는 1866개의 절점(node)와 1550개의 요소(element)가 사용되었으며, V-notching 성형 공정에서 펀치에 의하여 블랭크에 응력이 집중되는 곳에서 변형을 적절하게 반영하기 위하여 블랭크의 특정 부위만 요소를 집중적으로 배치하였다. 또한 두께 방향으로 5겹의 요소를 배치하여 해석상의 안정성을 피하고자 하였다. 블랭크와 금형의 마찰계수는 0.1로 가정하였다.[4]

2.3 CAE 해석결과

Fig.3.은 V-notching 성형 공정해석의 최종결과를 나타낸다.

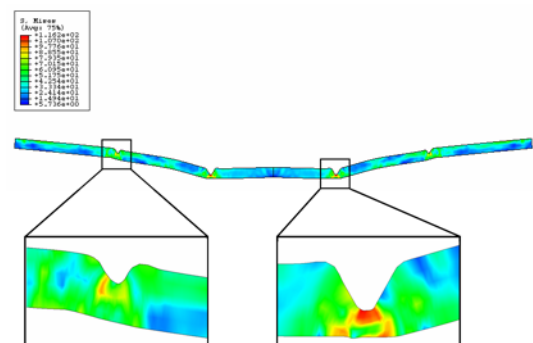


Fig.3 2D CAE analysis result

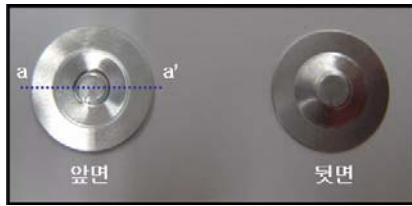


Fig.4 Prototype of V-notching process



Fig.5 Cross section of prototype (a-a')

Bending 공정과 V-notching 공정을 적용한 뒤에 블랭크와 펀치, 다이의 접촉조건을 제거하여 스프링 백(Spring back) 해석을 수행하였으며, 재료의 탄성회복에 의한 변형이 고려된 최종 단면형상을 획득할 수 있었다. 단면 형상의 내측 V-notching부에서 응력이 집중되어 있음을 확인 할 수 있고 이상기체에 의하여 내부에 압력이 발생하게 되면 내측 V-notching부에서 파단이 발생함을 예상할 수 있다.

2.4 시제품 및 시제품 단면 형상

V-notching 성형 공정과정을 실제 적용하여 시제품을 제작하였으며, Fig.4에 잘 나타나있다. 시제품의 단면 형상을 관찰하기 위하여 a-a' 영역으로 표시된 단면을 표면 처리하였으며, 처리된 단면을 광학현미경 50배율로 관찰하였다. 단면 형상은 Fig.5에서 잘 나타내고 있다. 전반적으로 성형해석 결과와 시제품 단면형상은 일치하였으나 단면의 중심 부분과 끝단 부분에서 스프링 백 영향에 의한 탄성 회복 변형이 시제품과 CAE 해석결과 사이에 차이가 있었다. 미소한 변형이기 때문에 형상에서 크게 차이 나지 않았으며, 제품 성능에 영향을 주는 요인은 V-notching부분이기 때문에 큰 의미는 없다고 할 수 있다.

3. 성형공정 변수 ase tud

Stamping 성형공정에 영향을 미치는 성형공정 변수는 많은 연구를 통하여 우리에게 알려져 있다. Stamping 성형공정 변수를 바탕으로 V-notching 성형공정에 영향을 주는 성형공정 변수를 예측하고 앞서 수행한 V-notching 성형공정 해석에 적용을 하여 성형 공정 변수의 영향을 검토해보았다. 예측되는 성형공정 변수는 내측 V-notching 부분의 성형 깊이, 내부 각도, 펀치와 블랭크 사이의 마찰계수이다. 성형 깊이는 4개의 Case로 나누어 각 Case별 성형 깊이에 따른 동일 절점에서의 응력분포를 비교하였다. 동일한 방법으로 내부 각도, 펀치와 블랭크 사이의 마찰계수에 대해서도 응력분포를 비교하였다. (a)는 V-notching 부분의 성형 깊이 0.1mm, 0.12mm, 0.14mm, 0.16mm에 대한 동일 절점에서의 Von Mises Stress를 나타낸 결과이다. 이 결과를 통해서 V-notching 성형공정 과정에서 펀치의 성형 깊이에 따라 특정부위의 잔류응력에 변화가 있음을 확인할 수 있었다. (b)는 V-notching 부분의 내부 각도 56°, 60°, 64°, 68°에 대한 동일 절점에서의 Von Mises Stress를 나타낸 결과이다. 성형공정 과정에서 내부 각도에 따라 특정 부위의 잔류응력에 변화가 있음을 확인할 수 있었다. (c)는 펀치와 블랭크사이의 마찰계수 0.1, 0.15, 0.2, 0.25에 따른 V-notching 부분의 Von Mises Stress를 나타낸 결과이다. 성형공정 과정에서 마찰계수의 변화에 따라 특정 부위의 잔류응력에 변화가 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같이 성형공정 변수가 잔류응력 변화에 영향을 끼친다는 것을 확인할 수 있었다. 특정부위의 잔류응력은 제품의 성능에 많은 영향을 미치기 때문에 제품 설계과정에서 중요하다 할 수 있다.

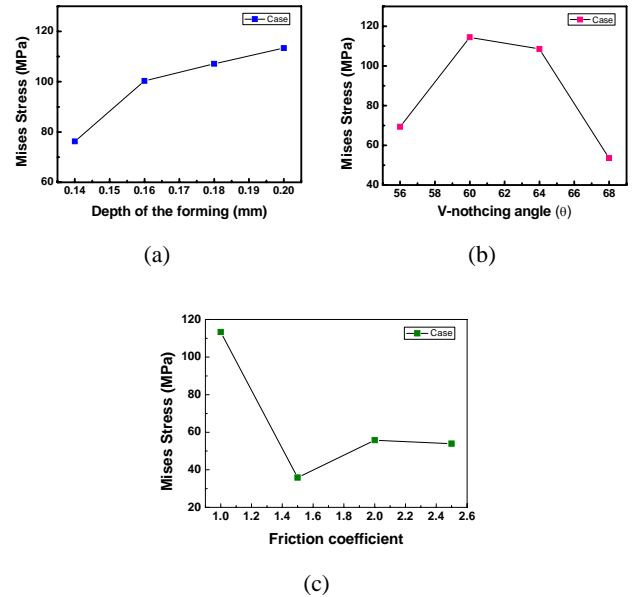


Fig.6 Mises stress at same node; (a) depth of the forming (b) V-notching angle (c) friction coefficient

4. 결론

본 논문에서는 리튬이온 2차 전지의 중요한 부재인 안전장치의 V-notching 성형공정 설계과정에서 고려해야 될 공정변수를 제시하고자 하였다. CAE 해석을 통하여 성형공정 과정을 설계하고 설계된 공정 과정을 바탕으로 시제품을 제작하여 시제품의 성형 단면과 CAE 해석 결과를 비교하였다. 스프링 백에 의한 탄성 회복 변형이 부분적으로 나타났지만, 제품의 성능에 영향을 주는 V-notching 부분에서 미소한 변형이 나타났기 때문에 스프링 백의 영향을 무시할 수 있었다. 전반적으로 성형 해석 결과와 시제품의 성형 단면의 형상이 일치하였으며, 이 결과를 바탕으로 예상되는 공정변수의 Case Study를 하였다. 공정변수에는 V-notching 부분의 성형 깊이, 내부 각도, 펀치와 블랭크 사이의 마찰계수가 있으며, Case Study를 통하여 성형공정 과정에서 특정 부위의 잔류응력에 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 제품의 성능에 영향을 줄 수 있으며, 성형공정 설계 과정에서 고려되어야 하는 중요한 요인이라 할 수 있다.

후기

본 연구는 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실용실험지원사업의 연구결과입니다. 또한 본 연구는 2단계 BK21사업, 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R-15-2006-022-02002-0)의 지원에 의하여 수행되어졌으며, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. J. H. Song, H. Huh, S. H. Kim, S. H. Kim, "Study on Design Parameters in a Stamping Process of an Automotive Member with the Simulation-based Approach", Transactions of Materials Processing, 14, No.1, 2005.
2. ASTM, "Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Product"
3. 김영석, "소성역학", 시그마프레스
4. ABAQUS User's Manual version 6.5