한국기계가공학회지, 제7권, 제4호, pp.44～49 (2008. 12)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 7 No. 4, pp.44～49 (2008. 12)

마그네슘 합금 판재의 정적-내연적 성형해석에 관한 연구

손영기*, 정동원#

A Study on Static-Implicit Forming Analysis of the Magnesium Alloy Sheet

Young-Ki Son*, Dong-Won Jung**

ABSTRACT

The characteristic of magnesium alloy is the most light in utility metal, the effect of electromagnetic wave interception, excellent specific strength and absorptiveness of vibration. Although magnesium alloy with above characteristic is a subject matter which is suitable in world-wide tendency of electrical component frame, sheet magnesium alloy is difficult to process. Therefore, forming analysis of sheet magnesium alloy and applying warm-working to process are indispensable. Among Finite element method, the static implicit finite element method is applied effectively to analyze sheet magnesium alloy stamping process, which include the forming stage. In this study, it was focused on the crack, wrinkling and spring back on sheet magnesium alloy stamping by the static implicit analysis. According to this study, the result of simulation will give engineers good information to access the forming technique on sheet magnesium alloy. And its application is being increased especially in the production of electrical component frame for the cost reduction, saving of defective ratio, and improvement of Productivity.

Key Words : Magnesium Alloy Sheet(박판마그네슘 합금), Forming Analysis(성형해석), Warm-Working(온간가공), Digital Camera Frame(디지털 카메라 프레임)

1. 서 론

전 세계적으로 마그네슘합금의 박판성형 기술에 관한 특허의 출원인은 대부분이 일본인으로, 현재 일본에서는 HITACHI사, MATSUSHITA 전기 등 press forming 기술을 적용한 마그네슘합금 휴대폰 케이스 및 노트북 케이스 등의 전자제품의 외장재를 상용화하는 단계에 있다. 하지만 press forming 기술을 적용한 자동차 Hood/Door Inner Panel 등 자동차 부품을 상용화한 국가는 아직 없으며, 독일의 폭스바겐 및 아우디 등 일부 자동차메이커에서만 마그네슘금 부품을 시범 적용하는 단계이며, 국내에서는 전무한 실정이다.[1]

마그네슘 합금은 실용금속중 가장 가볍고 우수한 진동흡수성과 비강도, 방열성을 가지고 있으며 시간이나 온도에 대한 치수 안정도가 높다. 또한 재생산

* 제주대학교 대학원 기계공학과
# 교신저자 : 제주대학교 기계공학과
E-mail : jducheu@cheu.ac.kr

성이 뛰어나고 찍힘에 대해 강하며, 전자파 차폐성 등의 장점을 가지고 있다. 전 세계적으로 카메라, 휴대폰, 노트북 컴퓨터 등의 제품은 광학 및 반도체 기술의 진보에 힘입어 더 작고 가벼우며 다기능화로 발전하고 있는 추세이다. 현재는 대부분 전자제품의 프레임이 플라스틱 혹은 알루미늄으로 되어 있다. 그러나 알루미늄 합금 제품은 무게 감소에 한계가 있으며, 플라스틱은 가벼우나 색상변질이나 파손에 대한 저항이 약하다. 또한 플라스틱, 알루미늄의 경우 사출 혹은 다이캐스팅에 의하므로 2차 가공이 필요하며 전자파 차단의 효과가 없다. 그러므로 전자파 흡수가 뛰어나며 실용금속 중 가장 가벼운 마그네슘 합금은 전자제품 프레임의 세계적 추세에 적합한 소재이다.[2]

현재 마그네슘 합금을 가공하는 방법에는 다이캐스팅이 대표적이다. 그러나 박판 금속 성형법(sheet metal forming method)은 다이캐스팅에 비해 가공중의 소재의 손실이 적고 가공시간이 짧아 낮은 가격으로 대량생산이 가능하고 제품 측면에서는 무게에 비해 강도가 높고 표면 특성이 우수한 장점이 있기 때문에 마그네슘 합금의 가공법은 박판 성형법으로 점차 변경될 것으로 예상된다. 그러나 금속 판재를 이용하여 다양한 형상의 제품을 만드는 박판 금속 성형법은 드로잉(drawing), 굽힘(bending), 스트레칭(stretching) 및 트림(trimming) 등의 다양하고 복합적인 공정으로 이루어져 있어 성형시 소재의 기계적 성질 및 성형 조건에 따라 터짐(crack), 주름(wrinkling) 및 형상불량 문제들이 발생한다. 이점은 소성변형을 수반할 때 스프링백이 심한 박판 마그네슘합금의 성질과도 맞물려서 그 가공에 어려움이 있다. 본 연구에서는 박판 마그네슘 합금으로 디지털 카메라 프레임을 개발함에 있어서 성형해석을 통한 최적설계와 사전예측기술로 설계 및 공법을 개발하고 실제 금형개발에 반영할 수 있는 정보를 제공고자 한다.

2. 성형해석

일반적으로 박판성형 공정은 준정적(quasi-static) 과정으로서 공구나 재료의 관성효과는 무시할 수 있는데, 이를 시뮬레이션 하기 위해서 세 종류의 해석방법, 즉 정적-내연적(static implicit, SI), 정적-외연적(static explicit, SE) 그리고 동적-외연적(dynamic explicit, DE)방법 등이 쓰인다. 세계적으로 LS-DYNA3D, PAM-STAMP, ABAQUS/Explicit, RADIOSS 등의 외연적(explicit) 소프트웨어들이 활발히 쓰여지고 있는데, 이는 판재성형에 필수적으로, 존재하는 접촉문제를 비교적 수월히 해결하며, 대형, 복잡한 문제를 비교적 단시간 내에 풀 수 있기 때문이다. 내연적(implicit) 소프트웨어로서 유럽의 일부 자동차 회사에서 쓰여지는 것으로 스위스의 Kubil 교수가 개발한 AutoForm 상용 소프트웨어는 내연적 방법임에도 불구하고 수렴성 문제가 극복되었고, 굽힘을 고려하는 박막요소와 정확한 해석을 위한 쉘요소, 적응 자동 요소 생성(adaptive automatic mesh generation) 기술을 첨가하여 상당히 정확히 단시간 내에 성형해석을 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 해석방법에는 One-step 해석과 Incremental 해석이 있으며 양자는 상호 보완적 관계에 있다. One-step 해석은 완성된 제품으로부터 역순으로 해석을 진행하는 방법으로 해석시간이 짧아서 초기단계에서 전체적인 설계변수와 공정변수를 파악하고 공법방향을 제시해줄 수 있으나 정확도면에서는 다소 떨어진다. 본 논문에서는 Incremental 해석을 통한 성형해석을 하였으며, Incremental 해석은 금형형상으로부터 제품에 이르는 순차적인 해석을 진행하여 높은 정확도를 보장하지만 성형해석 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 그러므로 실제 산업현장에서는 두 가지 해석법을 병행하여 수행하는 것이 가장 효과적이라 할 수 있다.[3-4]

3. 성형해석결과

재료는 AZ31 계열의 박판 마그네슘합금을 사용하였고 마찰계수는 0.1, 두께는 0.5mm이다. 그리고 본 연구에서 사용된 정적-내연적 소프트웨어는 온간가공의 성형해석이 아직 개발되어 있지 않아, 사전에 기존 문헌에서 파악한 성형성이 가장 좋은 것으로 알려진 250°C 조건에서 재료물성치를 얻어 성형해석을 진행하는 방법을 사용하였다. 프레스성형 형식은 싱글작동법(Single action method)을 채택하였고 Fig. 1에서 보면 위에서부터 위로부터 다이, 블랭크 홀더, 펀치의 형상이다.

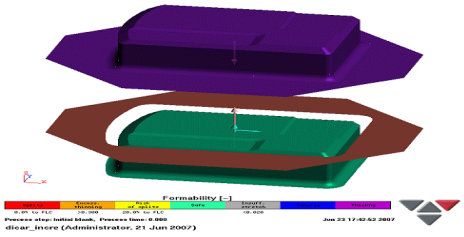
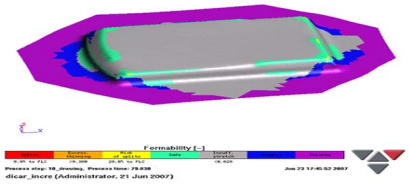
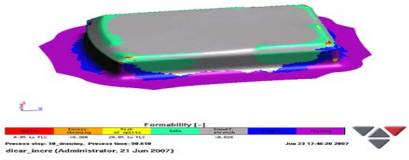


Fig. 1 The metallic pattern shape(Incremental)

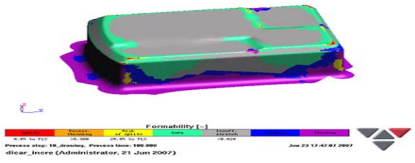
Fig. 2는 다이가 80mm, 90mm, 최종 100mm 씩 단계로 하강하며, 각 단계별로 스프링백 변형 후의 성형성 분포를 보여주고 있다.



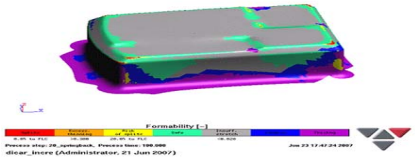
(a) Punch stroke = 80mm



(b) Punch stroke = 90mm



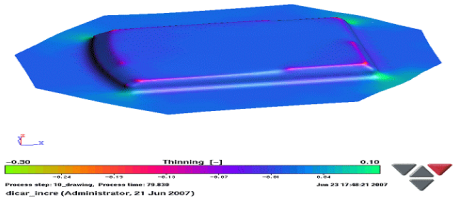
(c) Punch stroke = 100mm



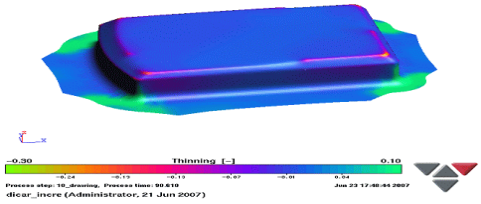
(d) After spring back

Fig. 2 formability distribution

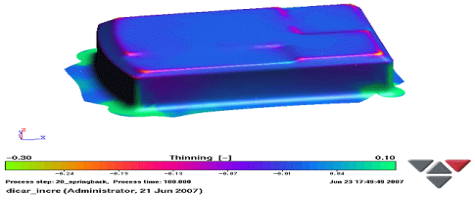
Fig. 3은 다이가 80mm, 90mm, 최종 100mm 씩 단계로 하강하며, 각 단계별로 스프링백 변형 후의 두께변형률 분포를 보여주고 있다.



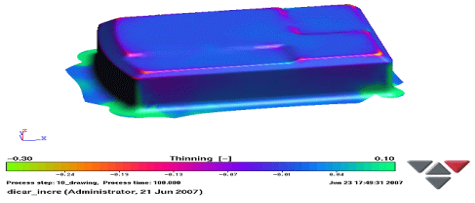
(a) Punch stroke = 80mm



(b) Punch stroke = 90mm



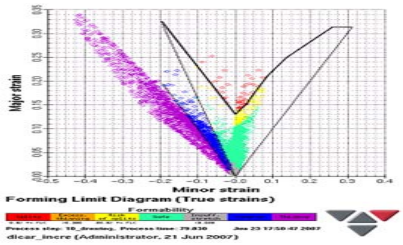
(c) Punch stroke = 100mm



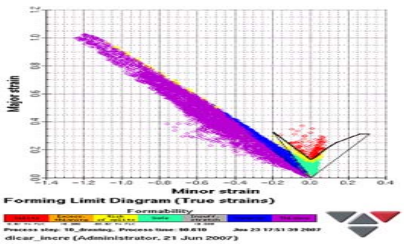
(d) After spring back

Fig. 3 The thickness reduction ratio distribution

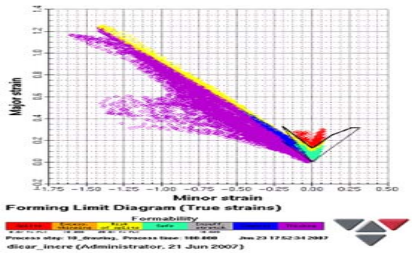
Fig. 4는 앞에서 성형해석한 각 행정에 대해서 성형한계도 분포를 나타내었다.



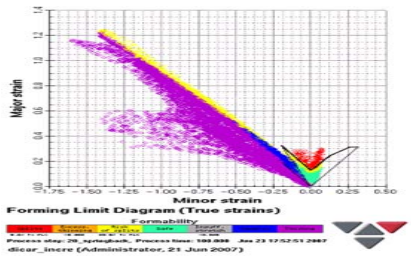
(a) Punch stroke = 80mm



(b) Punch stroke = 90mm



(c) Punch stroke = 100mm



(d) After spring back

Fig. 4 The forming limit diagram distribution of Each punch stroke

Fig. 5는 성형시간에 따른 성형력을 나타낸 것인데, 본 연구를 실제 산업현장에서 적용하기 위해서는 최소 25 Ton이 넘는 프레스용량이 필요함을 알 수 있다.

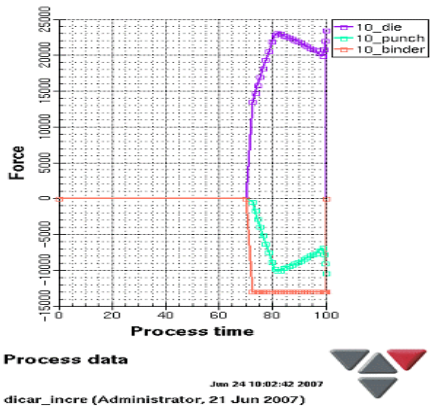
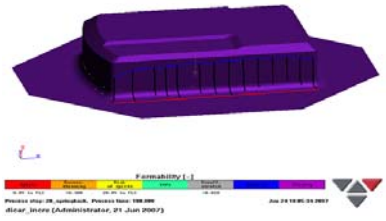
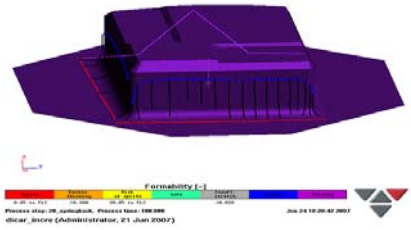


Fig. 5 The forming force

Fig. 6은 성형이 끝나고 제품에 생길 수 있는 skid line을 살펴본 것이며, 정면과 측면에 세로로 긁힘의 가능성이 있음을 알 수 있다.



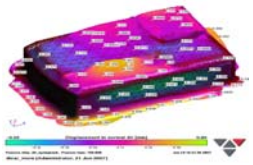
(a) Front view



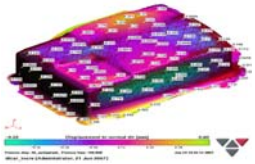
(b) Other side view

Fig. 6 The skid mark distribution according to forming

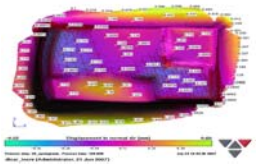
Fig. 7에서 (a)(b)(c)는 스프링백 전후의 형상비교를 컬러와 수치로 나타내고 있으며, (d)(e)는 기준이 되는 단면과 각 단면에서의 스프링백 전후의 형상을 5배 확대하여 보여주고 있다.



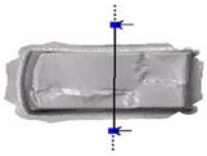
(a) Form comparison



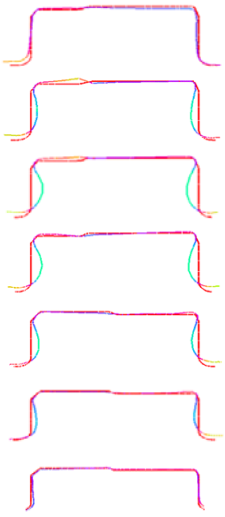
(b) Form comparison



(c) Form comparison



(d) Location of section



(e) Deformed section shape according to different section`s location

Fig. 7 Form comparison of before and after spring back

4. 분석 및 고찰

Fig. 8은 성형해석 후 그 결과를 설계, 공법, 금형제작 공정에 적용해 본 것으로 실제 금형을 제작하여, 박판마그네슘 합금으로 시제품을 찍어 본 것이다. 모서리 부분에서의 터짐은 없었지만 치수 정밀도나 품질 면에서는 부족하여 계속적인 성형해석을 통한 이론적 정보를 더 확보하는 동시에 실제 산업현장에서는 경험적 방법에서 나오는 공법개발을 병행하여 목표로 하는 품질을 달성해야 할 것이다.

Fig. 8 The photo of tryout for the digital camera frame

5. 결 론

1. 성형성과 두께감소율 분석을 통해서 성형해석 제품의 모서리 부분에 파단이 발생할 가능성이 있으나 그 크기가 미비하고 두께 감소율이 20%를 넘지 않아 실제로는 파단이 발생하지 않을 것으로 예상되었다.

2. 실제 산업현장에서 박판 마그네슘합금으로 제품을 생산하기 위해서는 최소 25 Ton이 넘는 프레스용량이 필요하며, 프레스 공정을 마치면 실질적인 제품이 완성되는 박판 금속성형법의 특성상 성형이 끝나고 제품에 생길 수 있는 skid line을 제거하기 위해 윤활을 높이거나 펀치 R을 키우는 방안을 금형설계에 반영해야 한다.

3. 스프링백의 형상과 치수 비교에서 스프링백량이 최대 0.5mm 이하여서 치수정밀도 관점에서 냉간 가공보다 온간가공이 훨씬 유리함을 알 수 있었고, 본 논문에서 적용한 250°C 이외에 더 적절한 온도가 있는지도 조사할 필요가 있다.

마그네슘 합금은 상온에서 가공이 어렵기 때문에, 금속을 재결정온도 이하, 실온 이상으로 가열하여 성형하는 소성(塑性) 가공 방법인 온간가공 방법을 사용함으로써 가공력을 적게 들게 하고, 치수정밀도와 품질이 높은 제품을 얻을 수 있도록 해야 한다. 그 구체적인 방법으로 마그네슘 합금이 박판이기 때문에 열 발산율이 높아 온도 유지가 어려운 점을 고려하여, 금형에 직접 열을 가하는 동시에 프레스 작업도 유지할 수 있는 열 제어 시스템을 개발해야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국특허정보원, 2006.4, 친환경 고기능 마그네슘 합금 성형공정 및 부품제조기술 특허동향, pp.149-150.
2. 이용길, 2004.2, 마그네슘 합금 판재의 온간 디프드로잉성에 관한 연구, 서울산업대 산업대학원 석사논문, pp5-9.
3. 정동원, 이찬호, 셀요소를 이용한 차체판넬 성형해석, 한국정밀공학회 2007년 춘계학술대회논문집, 제주컨벤션센터, 2007년 6월 20~22일, pp99-100.
4. 고형훈, 정동원, 안현길, 이찬호, 안병일, 문원섭, 2006.3, REF SILL OTR-R/L 차체판넬 스템핑 공정에서 성형해석을 통한 공법개발에 관한연구, 한국정밀공학회지 제23권 제3호, pp118-124.