

Al6061-T6소재의 열간성형성 평가를 통한 최적성형안 도출에 관한 연구

A study on Drawbility Estimation in Hot Forming of Al6061-T6 Sheet

*정희진¹, 허광호¹, 김종원¹, #소범식¹, 박성일²

*H. J. Jeong¹, K.H. Hor¹, J.W. Kim¹, #B.S. So(so@ghi.re.kr)¹, S.I. Park²

¹경북하이브리드부품연구원, ²태상ENG

Key words : Al6061, Hot forming, forming test, FLD, Dyna-form

1. 서론

자동차부품은 경량화가 지속적으로 이루어지고 있는데, 기존의 Steel 소재에서 알루미늄 등의 경량소재로 점차 그 적용이 확대되어가고 있다.¹ 특히 알루미늄 6000(Al-Mg-Si)계열 합금소재는 도장 후 소성 시재료가 경화되는 특성(bake hardening)이 있어 5000계(Al-Mg계)보다 높은 항복강도의 도출이 가능해 박육경량화가 용이하기 때문에 자동차용 외관부품에 많이 사용되고 있으며,² 로어 암, 어퍼 암 등 샤시 부품은 물론, 최근 많은 관심을 받고 있는 자전거의 프레임 소재로도 많이 활용되고 있다. 하지만 6000계열 알루미늄 합금 소재는 기존의 강판소재에 비해 상온 환경에서 복합곡면이 포함된 복잡형상의 제품을 성형하기에는 힘든 측면이 있어, 이를 해결하기 위한 기술에 대한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 온간/열간 프레스 성형 공법은 이러한 알루미늄 합금소재의 성형성을 극대화하기 위한 공정 기술로서 주로 300 ~500도의 온/열간 환경에서 금형을 가열 및 소재로의 열전도 후 성형을 하는 형태로 구현된다. 본 연구에서는 알루미늄 6000계열 소재 중 가장 활용이 많이 되고 있는 Al6061-T6 소재에 대한 열(온)간 성형성 평가를 통해 해당소재 적용 부품의 개발 시 최적의 성형 조건을 제시하고자 한다.

2. 열간박판성형시험

열간환경에서의 박판소재 성형성 평가를 위해 만능박판성형시험기(모델명: USTM-150T, 제조사: 웹비전21세기)를 사용하여 상온(25°C), 220°C, 320°C, 420°C 등 4가지 온도 조건에서 각 케이스별 8종의 시편에 대한 성형시험을 수행하였다.

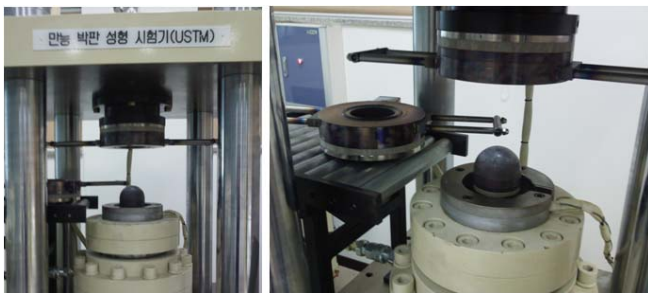


Fig. 1 USTM for Forming Limit Test

사용한 시편규격은 Al6061-T6 2t 소재이며, 별도 열처리는 하지 않은 상태에서, 시험 후 FLD(Forming limit diagram, 성형한계곡선) 도출을 위한 표면 에칭처리를 수행하였다.

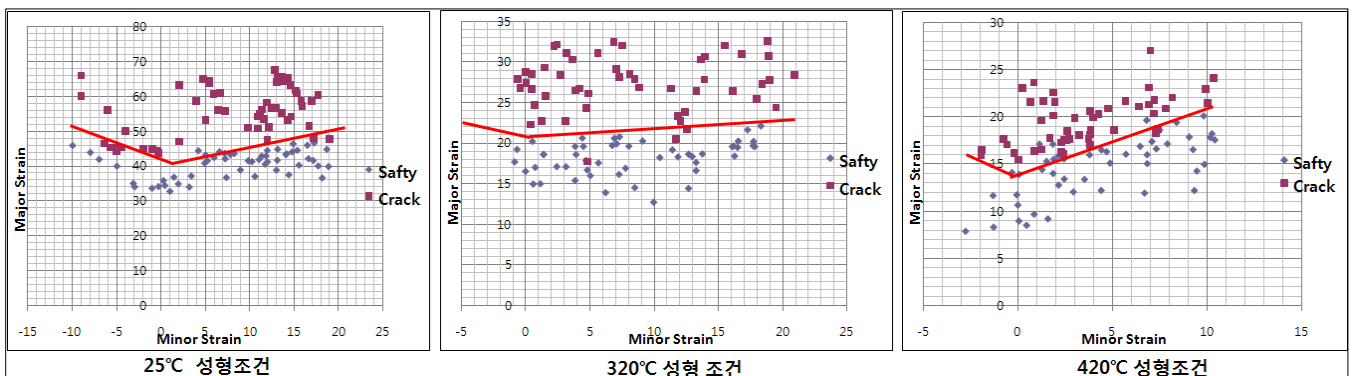


Fig. 3 FLD under Different Forming Temperatures

해당 성형시험기는 온/열간 시험용 금형의 Punch 내부에 가열을 위한 Heating core를 내장하고 있는 형태로서 성형시험편으로의 충분한 열전도를 위해 상하형 금형이 닫힌 상태에서 20초 이상의 대기시간을 설정하였다. 이때 블랭크 홀더력은 10톤으로 선정하였다.



Fig. 2 Specimen for Forming Limit Test

성형시험 완료 후 그리드형상분석기를 활용하여 시험 후 시험편 표면의 에칭 격자를 분석 후 성형한계 data를 도출하였으며 Fig. 3 과 같이 FLD로 나타내었다. 이를 살펴보면 상온조건에서의 성형에 비해 220°C, 320°C조건은 약 12%, 18% 정도로 성형성이 증대되며, 420°C 조건인 경우 180%정도의 성형한계도 신장 효과를 보이는 것으로 평가된다.

3. 전산성형해석을 통한 비교 평가

성형시험 결과의 비교평가를 위해 전산성형해석을 수행하였다. 최근의 성형해석 프로그램은 해의 안정성을 보장하기 위해 시간증분을 자동적으로 결정하게 해주는 외연적 시간적분법을 채택하고 있으며,^{3,4} 본 해석에서도 신뢰성 있는 외연적 해석 알고리즘을 탑재한 Dyna-Form 5.7.1과 LS-Dyna solver를 이용하여 해석을 수행하였다. 성형해석에 사용된 물성치는 Table.1 과 Table.2 의 온도별 기본물성치를 활용하였으며,⁵ 성형시험의 결과인 온도별 FLD 데이터를 적용하여 해석을 수행하였다. 해석의 대상이 되는 모델은 자동차 및 산업현장 전반의 판재성형부품 성형경향을 대변할 수 있는 하단부 직경 140mm, 높이 30mm의 반구형 딥드로잉 형상을 선정하였다.

Table 1 Material property of Al6061-T6 sheet

Property	Pinion
Sheet thickness	2.0 mm
Young's modulus	E = 6.89E+11 MPa
Poison's ratio	$\nu = 0.33$
Binder Holding Force	10 ton

Table 2 Material property on Temperature Conditions

Property	25℃	205℃	315℃	425℃
Tensile strength (Mpa)	310	230	95	26
Yield strength (Mpa)	275	220	90	22
Modulus of elasticity(Gpa)	68	59	47	38
Elongation in 4D (%)	17	20	18	65

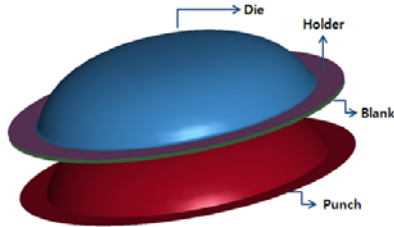


Fig. 4 Modeling of Die, Holder, Punch and Blank using Dyna-Form

성형해석은 상온 환경(25℃)과 320℃, 420℃ 등 3가지 온도 조건으로 분류하여 수행하였다. Fig. 4의 Die와 Blank 모델을 기초로 하여 hold와 Punch를 생성하였으며, Blank소재로는 al6061 소재 기본물성치를 적용하였다. 이때 FLD선도의 데이터 값을 적용하였다. 해석 유형은 sheet metal forming으로 선정하였으며, Dyna-Form의 AutoSetup 기능을 활용하여 해석 process를 구성하였다. working direction은 binder에서 punch방향으로 -37mm로 선정하였으며 Duration은 closure 조건으로 binder에 punch가 매칭될 때까지 완전성형을 하는 유형으로 해석경계조건을 수립하였다.

해석결과를 살펴보면 25℃ 조건의 경우 Fig. 5 과 같이 crack 부위가 하단 플랜지 성형부 안쪽으로 원주방향으로 분포하고 있음을 확인할 수 있으며, Crack 위험 부위 또한 Crack 부위 상단 방향으로 넓게 분포함을 알 수 있다.

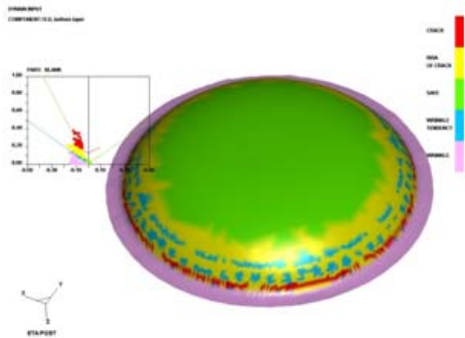


Fig. 5 Analysis result on 25℃

320℃ 조건의 경우 Fig. 6 과 같이 crack 부위가 하단 플랜지 성형부 안쪽으로 원주방향으로 분포하고 있지만 crack 위험부위는 많이 감소한 것을 확인할 수 있다. 다만 측면부에 하늘색으로 표시된 wrinkle 부는 성형 시 상하금형간의 closure 조건 적용에 따라 발생한 부분임을 감안할 필요가 있다.

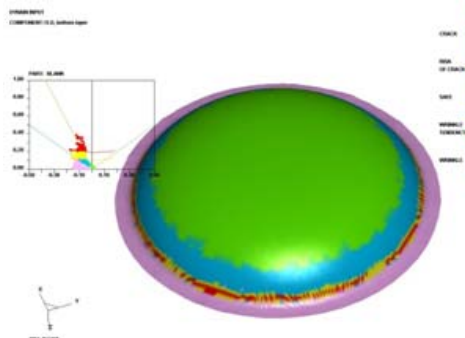


Fig. 6 Analysis result on 320℃

420℃ 조건의 경우 Fig. 7과 같이 성형이 30mm 높이의 반구형 덩프로잉 모델 전 구간에 걸쳐 원활하게 이루어진 것으로 보이며, crack부위는 관찰이 되지 않는다.

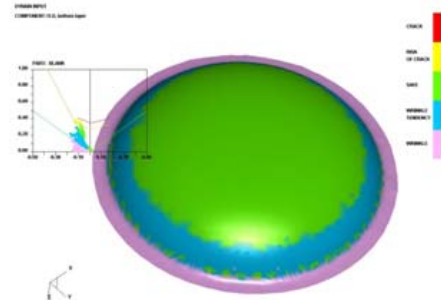


Fig. 7 Analysis result on 420℃

이상의 해석결과를 실제 박판성형시험기를 통해 열간성형시험을 수행하여 도출한 결과에 거의 부합한다고 할 수 있으며, al6061-T6소재의 경우 상온 ~ 320℃ 구간에서는 박판성형 시 성형성이 크게 증대되지 않는데 반해, 320℃초과 ~ 420℃ 부근에서 양호한 성형성을 도출할 수 있을 것으로 예측이 된다.

4. 결론

Al6061-T6소재의 열간성형성 평가를 위해 상온 ~ 420℃ 사이의 4case 온도조건에 대한 박판성형시험을 수행하였으며, 이를 통해 FLD 선도를 추출하였다. 박판성형시험을 통해 도출한 FLD 물성치를 기초로 전산성형해석을 수행하였으며, 소재 가열 성형 조건에 대한 Al소재의 성형성 경향을 예측하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 도출한 결과는 다음과 같다.

- 1) Al6061-T6 sheet의 열간박판성형시험을 수행한 결과 420℃ 성형온도 조건에서 상온 대비 180% 정도 성형성이 증대되는 결과를 도출할 수 있었다.
- 2) 성형시험 후 시편의 표면 에칭 격자에 대해 그리드형상분석기를 활용하여 주변형을, 주변형을 분석을 수행하였으며, Al6061-T6 소재의 온도조건별 FLD 선도를 도출하였다.
- 3) Dyna-Form 활용 전산성형해석 결과, 상온~ 320℃ 가열조건에서는 플랜지부 상단 Crack 분포가 넓게 나타났으며, 420℃ 조건에서는 원활한 성형이 가능함을 확인하였다.

후기

본 연구는 경상북도 지역기반육성기술개발사업 수행과 관련하여 (재)경북하이브리드부품연구원과 태상ENG의 공동연구를 통해 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

1. 박중철, 송진화, 김영섭, "자동차 부품용 알루미늄 합금의 고주파 및 저주파 피로강도 평가", RIST 학술논문 제20권, 3호, 216-223, 2006
2. 이원식, "자동차용 알루미늄합금 소성가공 재료와 성형가공 기술", 한국과학기술정보연구원, 모니터링 분석, 1-6, 2009.
3. 정동원, 황재신, "차체 관넬스탬핑 공정에서 동적-외연적 유한요소법을 이용한 성형해석에 관한 연구", 한국기계가공학회지, 제3권, 4호, 63-72, 2004
4. 정동원, "외연적 시간 적분법을 이용한 박판성형공정의 강소성 유한요소해석", 박사학위논문, KAIST, 1995.
5. J.Gilbert Kaufman, "PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOYS", ASM International, 166-167, 1999