

알루미늄 가변압연판재의 사각 컵 드로잉 성형해석 Forming Simulation of Aluminum Tailor Rolled Blank in Square Cup Drawing

*김영일¹, #김대용¹, 이채규², 김지훈¹, 이영선¹, 전성진³, 문영훈⁴
*Y. I. Kim¹, #D. Kim¹(daeyong@kims.re.kr), C. K. Lee², J. H. Kim¹, Y. S. Lee¹, S. J. Jeon³, Y. H. Moon⁴
¹ 한국기계연구원 부설 재료연구소, ² 콤팩, ³ 성우하이텍, ⁴ 부산대학교

Key words : Forming simulation, Aluminum alloy sheet, Tailor rolled blank, Square cup drawing

1. 서론

원소재의 가격을 줄이면서도 자동차 부품의 구조적인 성능을 향상시키기 위하여 자동차 업계에서는 두께나 소재를 달리하여 접합한 맞춤형 판재 적용을 확대하고 있다. 대표적인 예가 맞춤형용접판재(tailor welded blank, TWB)이며 이미 자동차의 다양한 부품에 TWB 판재가 적용되고 있다. 최근에는 용접 대신에 판재의 압연 공정을 조절하여 가변압연판재(tailor rolled blank, TRB)를 제조하는 기술이 개발되어 TWB 판재를 대체하려는 시도가 연구되고 있다. TRB 판재는 Fig. 1와 같은 공정에 의해서 제조되는데, 그 공정 중 Fig. 2와 같은 가변압연(flexible rolling)공정에 의해 판재의 두께가 조절된다. 따라서, 가변압연공정에서 원하는 판재의 두께를 맞추고 두께 변화 구간을 선형으로 하기 위하여 압연 롤의 겹을 온라인으로 제어하는 것이 공정의 핵심이라 할 수 있다. TRB 판재가 사용될 수 있는 자동차 부품은 기존의 TWB 판재가 사용되는 부품에는 거의 모두 사용 가능하므로 그 잠재 수요는 많다고 볼 수 있다[1]. TRB 판재는 주로 강판을 주 소재로 하여 제조되어 적용되어 왔으며, 최근에는 알루미늄 판재를 주 소재로 하여 제조되는 TRB 판재를 개발하여 적용하려는 연구가 진행 중이다.

TWB 판재에 대비하여 TRB 판재는 두께 변화부가 선형으로 이어져 있어 성형시 응력 집중을 유발하지 않으며, TWB 판재 용접부에서 보이는 열영향에 의한 물성 저하가 없는 장점이 있다. 반면에 TRB 판재는 TWB 판재에 비하여 두께 변화 부가 판재의 압연 방향과 수직으로만 제조되어야 하고, 다른 두께를 부여하는 것은 수월하나 물성을 달리 부여하는 것은 한계가 있는 단점이 있다.

맞춤형 판재의 경우 두께나 물성이 상이한 소재를 성형하여 부품화 해야 하므로, 그 적용에 있어서 기존 단일 판재를 적용할 때보다 시행착오가 더 많이 요구된다. 따라서, 이를 극복하기 위해서는 맞춤형 판재의 성형 공정을 적절히 모사할 수 있는 성형해석 기법 개발이 필수적이다. TWB 판재의 성형해석기법은 다양하게 연구되어 왔다. 주로 레이저용접 법에 의해 제조된 TWB 판재에 대한 연구가 주류를 이루고 있고[3-6], 최근 마찰교반용접법에 의하여 제조

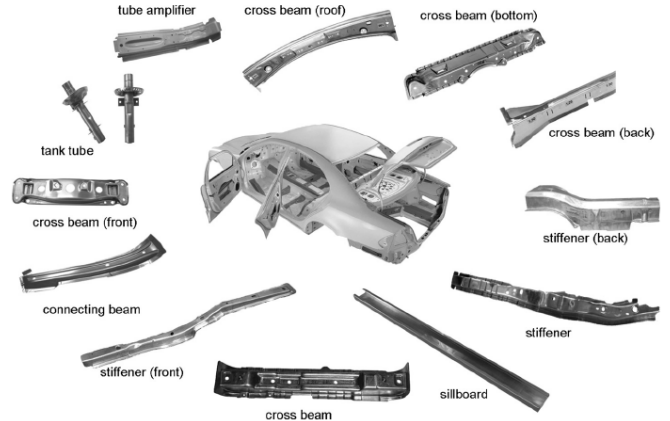


Fig. 3 Range of vehicle body parts made of load-adapted TRB (Source: Mubea) [1].

된 TWB 판재에 대하여 성형거동에 대한 거시적인 모델링에 대한 연구도 보고되고 있다[7, 8].

그러나 TRB 판재의 성형 해석 기술에 대한 연구는 아직 미진하며 알루미늄 TRB 판재에 대한 연구는 초기 단계라 볼 수 있다. 본 연구에서는 알루미늄 TRB 판재 성형 시 설계 가이드 라인을 제공하기 위하여 사각컵 드로잉 성형에서 블랭크 형상의 영향과 공정 변수가 드로잉 깊이에 미치는 영향을 성형해석을 통하여 고찰하였다.

2. 성형 해석 방법

사각컵 드로잉 성형에서 블랭크 형상의 영향과 공정 변수가 드로잉 깊이에 미치는 영향을 성형해석을 통하여 고찰하기 위하여 사용된 금형의 형상과 FEM 메쉬를 Fig. 4에 도시 하였다. 펀치 크기는 100mm x 100mm 이고 펀치와 다이의 코너 반경은 각각 10mm 이며 펀치와 다이의 간격은 2.3mm 이다. 성형해석은 LS-DYNA 를 이용하여 수행하였다. 재료는 5 천계 알루미늄 판재를 2.0t 와 1.1t 로 제조한 TRB 판재를 사용하였고(Fig. 5 참조), 해석 시에 두께 별 물성은 같다고 가정하였다. 사용된 5 천계 알루미늄 판재의 영율은 71GPa, 포아송 비는 0.33 로 하였고 유동 곡선은 Voce 형 $\bar{\sigma}(MPa) = 303.23 - 151.69 \exp(-12.784\bar{\epsilon})$ 을 사용하였으며 이방성은 고려하지 않았다. 드로잉 깊이는 성형한계도(forming limit diagram, FLD)로 판단하였다.

블랭크 형상의 경우 Fig. 6 와 같이 블랭크 크기(a: 170, 185, 200mm), 블랭크 내부 홀 크기(b: 20, 40, 60mm), 모 따기

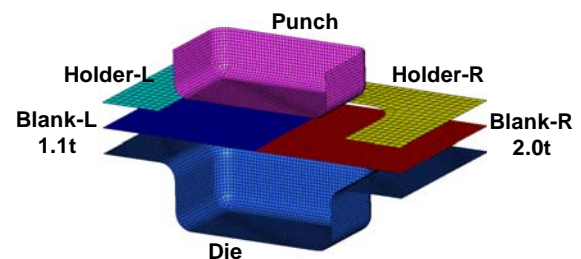


Fig. 4 Finite element mesh for the square cup drawing process.

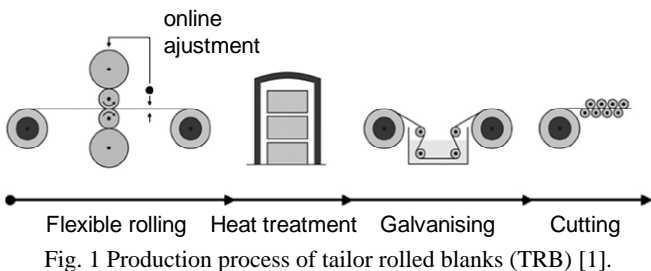


Fig. 1 Production process of tailor rolled blanks (TRB) [1].

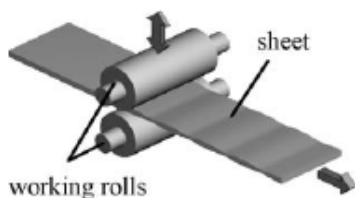


Fig. 2 Flexible rolling process [2].

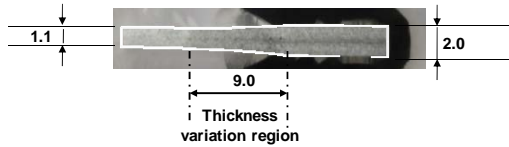


Fig. 5 Cross section shape of tailor rolled blank (unit: mm).

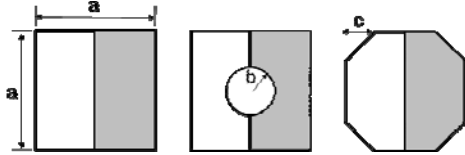


Fig. 6 Different blank shapes.

정도(c: 20, 30, 40mm)의 변수에 대하여 영향도를 분석 하였고 공정 변수의 경우는 블랭크 홀더력(15, 20, 25 kN)과 마찰 계수(0.08, 0.10, 0.12)의 영향을 분석하였다. 특히 블랭크 홀더력의 경우 블랭크 두께에 따라 다른 홀더력(1.1t 쪽: 5kN, 2.0t 쪽: 5, 10, 15kN)을 부가했을 때의 영향 또한 고려하였다.

3. 성형 해석 결과

블랭크 형상이 드로잉 깊이에 미치는 영향을 Fig. 7에 도시하였다. 결과 블랭크 크기가 커질수록 드로잉 깊이는 작아지고, 블랭크 홀의 크기가 커지면 드로잉 깊이가 증가하는 경향을 보였다. 하지만 홀이 없을 때보다는 홀이 있는 경우 드로잉 깊이가 감소함을 확인하였다. 모 따기 정도가 커지면 드로잉 깊이가 증가하는 경향을 보이거나 그 양이 크지 않은 것을 확인하였다. 단 모따기를 하지 않았을 때보다 모따기를 할 경우 드로잉 깊이가 상당히 증가함을 알 수 있다.

블랭크 홀더력이 드로잉 깊이에 미치는 영향을 Fig. 8에 나타냈다. 블랭크 홀더력이 증가할수록 드로잉 깊이는 작아졌으며, 가변 블랭크 홀더력을 적용하였을 경우 2.0t 쪽 홀더력을 증가하였을 경우 드로잉 깊이 증가하였다가 감소

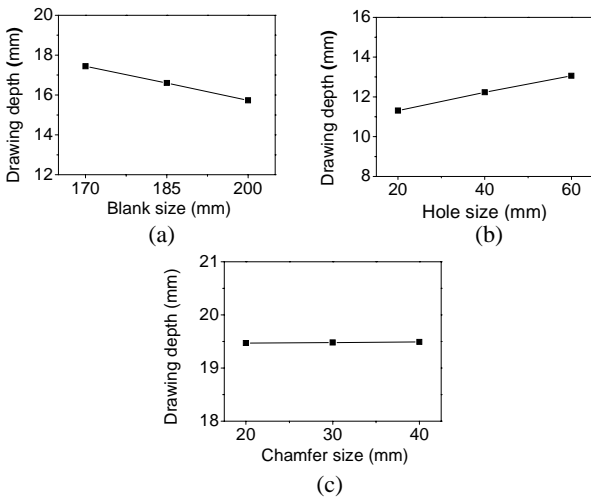


Fig. 7 Effect of blank shapes with respect to (a) blank size, (b) hole size and (c) chamfer size on drawing depth.

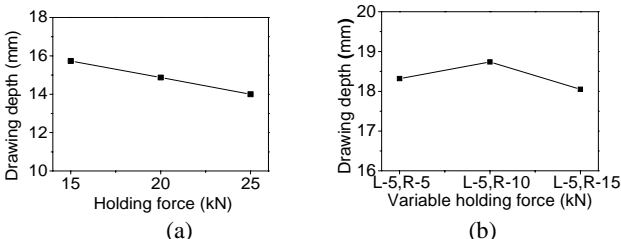


Fig. 8 Effect of (a) single point and (b) multi point blank holding forces on drawing depth.

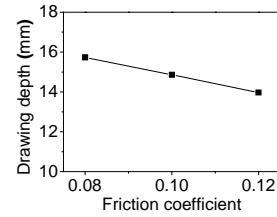


Fig. 9 Effect of friction coefficients on drawing depth.

하였다. 마찰 계수가 드로잉 깊이에 미치는 영향을 Fig. 9에 도시 하였는데, 마찰 계수 값이 클수록 드로잉 깊이가 감소함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 가변압연판재(TRB)의 사각컵 드로잉 공정에서 블랭크 형상과 공정 변수가 드로잉 깊이에 미치는 영향을 분석하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 블랭크 크기는 작을수록, 블랭크 내부의 홀의 크기가 클수록, 모따기 양이 많을수록 드로잉 깊이는 증가한다.
- (2) 블랭크 홀더력이 작을수록, 마찰 계수가 작을수록 드로잉 깊이는 증가한다.
- (3) 가변 블랭크 홀더력은 블랭크의 두께에 비례하여 1.1t의 블랭크에는 작은 홀더력을, 2.0t의 블랭크에는 큰 홀더력을 줘야 드로잉 깊이가 증가한다. 그러나 너무 큰 홀더력의 차이가 나면 오히려 드로잉 깊이는 감소한다.

참고문헌

1. Meyer, A., Wietbrock, B. and Hirt, B., "Increasing of the Drawing Depth Using Tailor Rolled Blanks – Numerical and Experimental Analysis", *Int. J. Machine*, **48**, 522-531. 2008.
2. Urban, M., Krahn, M., Hirt, G. And Kopp, R., "Numerical Research and Optimisation of High Pressure Sheet Metal Forming of Tailor Rolled Blanks", *J. Mater. Process. Technol.*, **177**, 360-363. 2006.
3. Padmanabhan, R., Baptista, A.J., Oliveira, M.C. and Menezes, L.F., "Effect of Anisotropy on the Deep-Drawing of Mild Steel and Dual-Phase Steel Tailor-Welded Blanks", *J. Mater. Process. Technol.*, **184**, 288-293. 2007.
4. Jiang, H.M., Li, S.H., Wu, H. and Chen, X.P., "Numerical Simulation and Experimental Verification in the Use of Tailor-Welded Blanks in the Multi-Stage Stamping Process", *J. Mater. Process. Technol.*, **151**, 316-320. 2004
5. Gaied, S., Roelandt, J.-M., Pinard, F., Schmit, F. and Balabane, M., "Experimental and Numerical Assessment of Tailor-Welded Blanks Formability", *J. Mater. Process. Technol.*, **209**, 387-395. 2009.
6. Cheng, C.H., Jie, M., Chan, L.C. and Chow, C.L., "True Stress-Strain Analysis on Weldment of Heterogeneous Tailor-Welded Blanks - a Novel Approach for Forming Simulation", *Int. J. Mech. Sci.*, **49**, 217-229. 2007.
7. Lee, W., Chung, K. -H., Kim, D., Kim, J., Kim, C., Okamoto, K., Wagoner, R.H. and Chung, K., "Experimental and Numerical Study on Formability of Friction Stir Welded TWB Sheets Based on Hemispherical Dome Stretch Tests", *Int. J. Plasticity*, **25**, 1626-1654. 2009.
8. Chung, K., Lee, W., Kim, D., Kim, J., Chung, K.-H., Kim, C., Okamoto, K. and Wagoner, R. H., "Macro-Performance Evaluation of Friction Stir Welded Automotive Tailor-Welded Blank Sheets: Part I – Material Properties", *Int. J. Solid Struct.*, **47**, 1048-1062. 2010.