

마찰교반용접 판재에 있어서 모재의 방향성이 성형성에 미치는 영향

김대용¹ · 이원오² · 김준형³ · Chongmin Kim⁴ · 정관수[#]

Influence of Anisotropy on Formability in Friction Stir Welded Sheet

D. Kim, W. Lee, J. H. Kim, C. Kim, K. Chung

Abstract

In order to investigate the influence of anisotropy on formability and also to obtain guidelines for the stamping process design in friction stir welded TWB (tailor welded blank), the aluminum ally 6111-T4 sheet was welded with three different types of combination: RD||RD, TD||RD and TD||TD (Here, RD and TD mean the rolling direction and transverse direction, respectively) and then hemisphere dome stretching and cylindrical cup drawing tests were carried out. In addition, the numerical analysis was performed to confirm the validity of experimental results. For the numerical analysis, the non-quadratic orthotropic yield function, Yld2004-18p was utilized to represent precise anisotropic properties.

Key Words : Friction Stir Welded Sheet, Anisotropy, Formability, Aluminum Alloy

1. 서 론

최근 차량 경량화를 위하여 경량 판재의 활용이 두드러지게 많아지고 있으며 아울러 테일러 용접 판재(tailor welded blank, TWB)를 적용하여 부품 일체화, 중량 절감 등의 효과를 극대화하려는 노력 또한 경주되고 있다. 일반적으로 TWB는 레이저 용접이나 기타 전기저항 용접 등의 액상-고상 용접 기술을 적용하고 있는데, 이는 6111-T4나 6022-T4 등과 같은 열처리형 알루미늄 합금 판재에 대해서 그 적용이 쉽지 않다 [1]. 이에 1991년 TWI 사(영국용접연구소)에서는 고상 상태의 용접 방법으로 마찰교반용접법을 개발하였다 [2]. 마찰교반용접법은 열처리형 알루미늄 합금의 용접이 가능할 뿐만 아니라, 투자비가 적고, 용접 시 에너지 소모량이 적으며, 용접부 내의 기공을 최소화 하던서 비교적 두꺼운 판재까지도 용접이 가능한 장점을 지니고 있다.

마찰교반용접에 관련한 많은 연구가 수행되었으나 [3], 주로 용접 신뢰성에 영향을 미치는 용접 자체의 공정 변수(툴 형상, 툴 재료, 툴 회전 속도 등)에 대한 연구 및 마찰에 따른 용접부 조직변화에 대한 연구들이 주류를 이루고 있으며 마찰교반용접된 판재의 프레스 공정에서의 성형성 및 탄성회복과 같은 거시적인 거동에 대한 연구는 부족한 상태이다.

본 연구에서는 마찰교반용접 판재를 이용한 부품을 제작할 경우, 프레스 공정 설계 시 가이드라인을 제공하고자 모재의 압연 방향을 달리하여 용접을 한 후 반구 돔 장출 실험 및 원통형 컵드로잉 실험을 수행하여 모재의 방향성이 마찰교반용접 판재의 성형성에 미치는 영향을 고찰하였다. 아울러 Yld2004-18p[4]를 이용하여 모재의 이방성을 묘사하였고, 이를 사용자코드에 적용하여 FEM 수치해석을 수행한 결과와 실험 결과를 서로 비교함으로써 실험 결과를 검증하였다.

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 소성응용연구그룹
2. 한국기계연구원 부설 재료연구소 복합재료연구그룹
3. 삼성전자
4. General Motors
교신저자: 서울대학교 재료공학부,
E-mail: kchung@snu.ac.kr

2. 기계적 물성 평가

재료의 이방성에 따른 성형성 평가를 위하여 자동차용 알루미늄 판재 6111-T4(1.5mm)를 사용하였다. 마찰교반용접은 Hitachi사에서 11kW 서보모터가 장착된 3D 마찰교반용접기(모델명: Hitachi GR-3DM10T)에 의해서 수행되었다. 용접 판재는 모재의 방향에 따라서 RD||RD, RD||TD, TD||TD의 3가지로 제작되었다(여기서, RD는 압연방향, TD는 압연 수직 방향을 나타낸다.). 톨의 어깨부의 크기는 톨 핀의 길이는 1.2mm 이고 회전 속도는 1000rpm, 피딩 속도는 300mm/min이었다. 핀 이송 방향과 판재의 수직과 이루는 각도를 3로 하였다.

용접부의 탄성율과 경화곡선을 얻기 위해서 식 (1)과 같은 혼합법칙을 이용하였다.

$$\sigma_{WZ} = \frac{F - (\sigma_{BM})_1(A_{BM})_1 - (\sigma_{BM})_2(A_{BM})_2}{A_{WZ}} \quad (1)$$

여기서 F 는 인장 하중을 A 는 단면 넓이를 나타낸다. 아래첨자 WZ 는 용접영역을 BM 은 모재영역을 나타내며 숫자 1, 2는 용접 판재에서 양쪽의 모재를 각각 나타낸다.

판재의 이방성을 현상학적으로 나타내기 위해서 Barlat 등[4]에 의해 제안된 Yld2004-18p에 필요한 계수를 얻기 위하여 (1) 압연방향과 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90도를 이루는 일축 인장시험 (2) 등방이축응력 상태에서의 항복응력을 얻기 위한 벌지 시험 (3) 등방이축 응력 상태의 변형을 비를 얻기 위한 디스크 압축 시험을 수행하였다. 단, 용접부의 경우 모재보다 비교적 작은 부위이므로 본 연구에서는 등방성이라고 가정하였다.

모재부의 성형한계도는 실험에 의해서 측정된 반면, 용접부의 성형한계도는 용접부의 면적이 적어 실험으로 구할 수 없기 때문에 혼합법칙에 의해서 Hollomon형과 Voce형의 식으로 얻어진 인장 물성 기초로 M-K이론을 사용하여 성형한계도를 얻어 내었다.

3. 성형성 평가

마찰교반용접 판재의 성형성 평가를 위해서 반구 돔 장출 실험과 원통형 컵드로잉 실험을 수행하였다. 반구 돔 장출 실험에서 블랭크 사이즈는

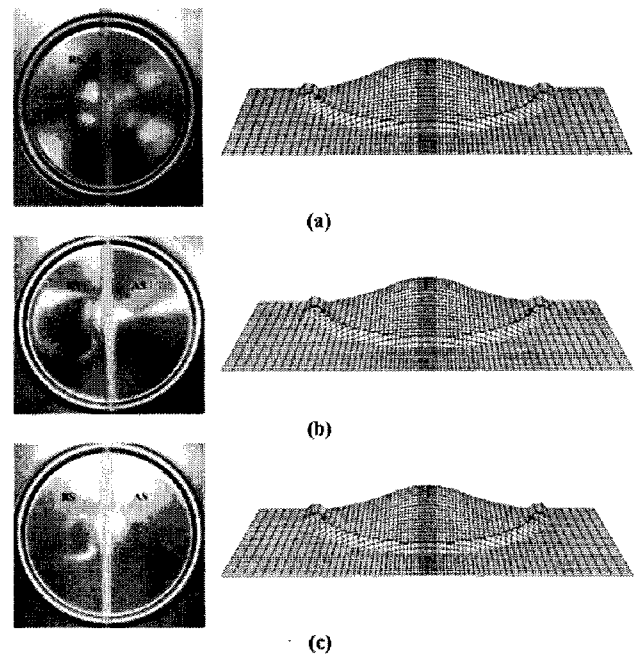


Fig. 1 Failure onset in hemispherical dome stretching test for material directional combinations (a) RD||RD (b) TD||RD (c) TD||TD.

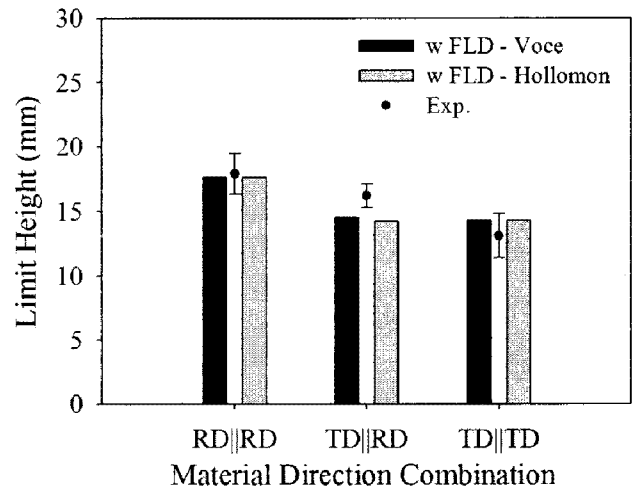


Fig. 2 Limit heights with respect to material directional combinations.

200mm x 200mm를 사용하였다. 반구 돔 장출 실험 결과로 파손 시점에서의 위치와 파손 시점에서의 돔 높이에 대한 실험과 해석 결과를 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 파손 지점은 돔의 중앙 용접부에서 일어났으며, 방향성에 따른 차이는 보이지 않았다. 이는 해석과도 동일한 양상을 보여 주었다. 파손시 돔의 높이는 근소하나마 RD||RD, TD||RD, TD||TD의 순으로 나타났으며, 수치 해석

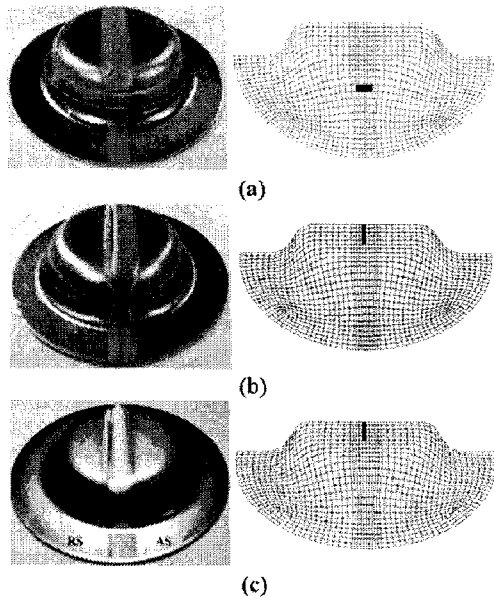


Fig. 3 Failure onset in cylindrical cup drawing test for material directional combinations (a) RD||RD (b) TD||RD (c) TD||TD.

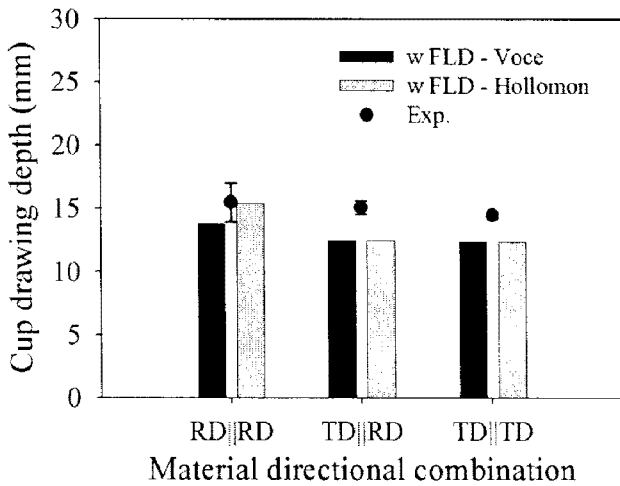


Fig. 4 Limit cup drawing depth with respect to material directional combinations.

또한 정량적인 차이는 있으나 같은 경향을 보여주었다. 원통형 컵드로잉 실험에서는 95mm의 지름을 갖는 원형 블랭크를 사용하였으며 블랭크 홀딩력은 RD||RD, TD||RD, TD||TD가 모두 파손이 발생하는 90kN을 사용하였다. 파손 지점에서의 위치와 파손 지점에서의 컵 높이를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 파손 지점은 RD||RD의 경우 펀치 코너부의 용접부에서 일어났으나, TD||RD, TD||TD는 컵 바닥의 용접부에서 일어나 상이한 양상을 나

타냈다. 이러한 양상은 수치해석을 통한 결과에서도 동일하게 나타났다. 파손 지점에서의 컵 드로잉 깊이는 돔 장출 실험 결과와 동일하게 RD||RD, TD||RD, TD||TD의 순이었으며 수치해석 결과 또한 같은 경향을 보여주었다.

4. 결론

마찰교반용접된 TWB 판재의 모재의 방향성에 따른 성형성을 고찰하기 위하여 알루미늄합금 판재 6111-T4를 RD||RD, TD||RD, TD||TD으로 용접하여 성형성 실험과 수치 해석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. (1) 방향성에 대한 성형성은 RD||RD가 가장 좋았고 TD||TD가 가장 작았다. 따라서 6111-T4를 마찰교반용접하여 사용할 경우에는 RD||RD 방향으로 용접하여 사용하는 것을 추천된다. (2) Yld2004-18p를 기초로 하여 이방성을 고려한 수치해석 결과는 실험결과와 잘 일치하였고, 이를 통해 실험의 신뢰성이 확보될 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 MOST /KOSEF (R11-2005-065)의 SRC/ERC 프로그램 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] M.C. Stasik, R.H. Wagoner, 1998, Forming of tailor-welded aluminum blanks. Aluminum of Magnesium for Automotive Applications, TMS, 1996, pp. 69-83.
- [2] M.W. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham, M.G. Murch, P. Templesmith, C.J. Dawes, GB Patent Applications No. 9125978.8, Dec. 1991; US Patent No. 5460317, Oct. 1995
- [3] K.V. Jata, M.W. Mahoney, R.S. Mishra, S.L. Semiatin, D.P. Field, 2001, Friction stir welding and processing I, A Publication of TMS, Warrendale.
- [4] F. Barlat, H. Aretz, J.W. Yoon, M.E. Karabin, J.C. Brem, R.E. Dick, 2005, Linear transformation-based anisotropic yield functions, Int. J. Plasticity, Vol. 21, pp. 1009-1039