

온간 딥 드로잉 공정시 파단발생 예측을 위한 유한요소해석 및 실험

FE Analysis for Failure Prediction in Warm Deep Drawing Processes and Experimental Verification

*#김상우¹, 이영선¹
*#S.W. Kim, (kimsu@kims.re.kr)¹, Y.S. Lee¹
¹재료연구소 변형제어연구실

Key words : Fracture, Crack, Drawing, Warm forming, FEM, Damage

1. 서론

본 연구에서는 최근 경량성, 우수한 절삭성, 전자파 차폐성 등 다양한 이점으로 인해 산업적 수요가 증가하고 있으나, 육방정계 결정구조로 인해 성형중 파단발생이 빈번하게 발생하고 있는 마그네슘 합금 판재의 온간 성형공정에서의 연성파괴현상을 예측하기 위해 온도 및 변형률 의존성 연성파괴이론을 적용한 유한요소해석을 수행하였으며, 동일 조건하에서의 실험을 통해 상기 접근법의 적용 가능성을 검증하였다.

2. 임계손상지수

298, 373, 423, 473, 523, 573K 의 온도범위와 0.001, 0.01, 0.1/s 의 변형률 속도에서의 등온인장시험과 동일한 조건하에서의 강소성 유한요소해석을 통해 식(1)의 Cockcroft-Latham[1]이 제안한 연성파괴이론의 임계연성파괴상수를 온도 및 변형률 속도의 공간내에 표현하고, 이에 대한 3 차원 곡면으로 근사하였다. 그 결과 Fig. 1 과 같이 임계연성파괴지수는 온도가 증가함에 따라 증가하는 반면, 변형률 속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보임으로써, 온도 및 변형률 속도에 매우 의존적인 것으로 나타났다. 이는 비등온 성형공정해석시 소재의 국부적인 온도 및 변형률 속도변화를 고려하여 임계연성파괴기준이 달리 적용되어야 예측오차를 최소화할 수 있음을 의미한다.

$$CDV = \int^{\bar{\epsilon}_f} \frac{\sigma_{max}}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} \quad \text{식(1)}$$

3. 드로잉 공정 실험

온도 및 변형률 속도 의존성 연성파괴상수의 적용 타당성을 검증하기 위하여 비정형 형상의 드로잉 실험을 수행하였다. 실험은 각각 독립적으로 제어 가능한 두 개의 실린더로 구성된 유압프레스를 이용하여, 펀치(punch) 및 블랭크 홀더(blank holder)의 개별제어가 가능하도록 하였다. 홀더와 다이(die)는 각각 카트리지히터(cartridge heater) 및 온도제어장치를 이용하여 성형공정 동안 250℃를 유지할 수 있도록 직접 가열하였다. 3mm 두께의 AZ31 마그네슘 합금 판재는 로내에서 250℃로 가열되어 일정시간 유지한 후 금형으로 이송

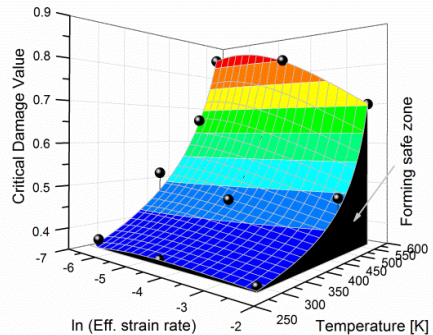


Fig. 1 Surface-fitted CDV with respect to temperature and effective strain rate.

되었으며, 블랭크 홀딩하중은 30kN 및 5kN, 펀치속도는 1mm/s 로 일정하게 제어하였다. 실험 결과 Fig. 2 에서와 같이 블랭크 홀딩 하중에 따라 파단여부가 결정 되었는데, BHF=30kN 에서는 하단 코너부에서 내.외측을 관통하는 파단이 발생하였으며, BHF=5kN 에서는 내외측 모두 파단이 발생되지 않았다.

4. 파단 예측 결과

상기 실험에서 나타난 파단현상을 예측하기 위하여 상용유한요소해석 코드인 Deform-3D 를 이용하여 유한요소해석을 수행하였다. 소재는 초기 온도 250℃에서, 공정 중 강소성 변형과 함께 주변부로의 열전달을 고려하였으며, 금형은 가열장치에 의해 일정온도가 유지된다는 가정하에 온도변화가 없는 강체로 해석하였다. 매 시간 증분마다 사용자 부프로그램에 의해 모든 요소에 대해 식(1)의 우측 적분항이 계산되고, 각 요소에서의 변형률 속도 및 온도에 따라 임계파단상수가 결정되어 식(2)에 의해 I 값이 결정된다. 이때, $I = 1$ 을 만족할 경우, 파단이 발생할 것으로 예측된다.

$$I = \frac{1}{CDV(T, \dot{\epsilon})} \int_{\bar{\epsilon}}^{\bar{\epsilon}_f} \frac{\sigma_{max}}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon} \quad \text{식(2)}$$

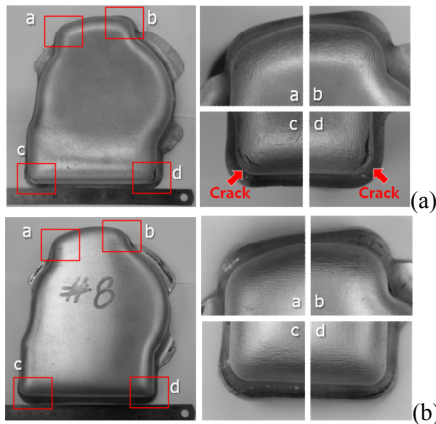


Fig. 2 Deep drawing test results for various blank holding forces (a)30kN, (b)5kN.

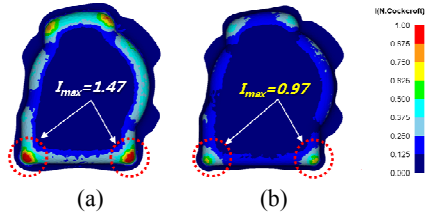


Fig. 3 Distributions of I -value at various blank holding forces (a)30kN, (b)5kN.

해석결과, Fig. 3 에서와 같이 실험에서와 동일하게 BHF=5kN 에서는 소재 전체에서 I 값이 1.0 미만으로 나타남으로써 파단이 발생하지 않을 것으로 예측하였으며, BHF=30kN 에서는 하단 코너부의 외측면에서 I 값이 1.47 로 표면에서의 크랙 발생을 예측하였다. 이는 Fig. 2 에서의 실험결과와 잘 일치하는 경향을 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 유한요소법과 연계한 연성파괴이론에 의해 AZ31 마그네슘 합금 관재의 온간 드로잉 성형시 발생하는 파단현상을 예측하였다. 변형률 속도 및 온도 의존성 임계파단상수를 이용한 해석결과, 동일한 조건에서의 실험결과와 잘 일치하는 경향을 보임에 따라 마그네슘 합금의 파단 발생예측을 위한 유용한 수단으로 활용 가능할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 산업기술연구회 협동연구사업(B551179-11-02-00)의 지원으로 수행된 결과임.

참고문헌

1. Cockcroft, M.G and Latham, D.J., "Ductility and the workability of metals", J. Inst. Metals, **96**, 33-39, 1968.