

스테인레스 강판의 성형한계곡선 예측을 위한 MMFC 모델에 관한 연구

A Study on Modified Maximum Force Criterion to Predict Forming Limit Curve of Stainless Steel Sheet

*#정동원¹, 김동홍¹, 김봉천¹

*#D. W. Jung¹(jdwcheju@jejunu.ac.kr), D. H. Kim¹, B. C. Kim¹

¹제주대학교 기계공학과

Key words : Modified maximum force criterion (MMFC), forming limit diagram (FLD), hardening model

1. 서론

이번 연구에서는 스테인레스 강판을 더 정확한 FLD를 예측하기 위한 Swift 경화법칙은 FLD의 실험적 결과에서 예측과 비교를 위해 MMFC를 소개를 하였다. 새로운 MMFC(Modified Maximum Force Criterion) 모델은 변형비(β)의 함수로서 경화법칙의 경화 계수를 도출하여 FLD예측을 증명하기 위해 제안이 되었다. 제안된 MMFC 모델은 스테인레스 강판을 위한 FLD 예측의 개선을 보여주고 있다. 이 모델은 복잡한 성형공정에서 스테인레스 강판의 성형성을 예측하기 위해 적용하게 될 수 있었다.

2. 스테인레스강판에서의 MMFC 적용

FLD의 예측을 위한 MMFC모델에 따라서, Swift 경화법칙에 따른 응력-변형율 곡선을 적용 하였다. MATLAB의 최소자승법(Isqcurvefit)은 스테인레스 강판의 경화 지수를 결정하기 위해 사용되었다.

그림 1은 변형 곡선은 Swift 경화 법칙에 따른 스테인레스 강판의 응력-변형율 곡선을 보여준다.

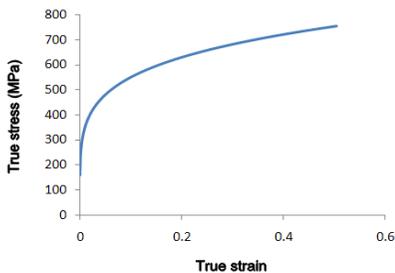


Fig. 1 Stress-strain curves based on Swift's hardening

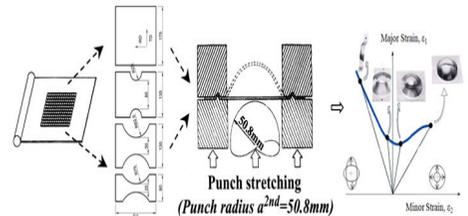


Fig. 2 Schematic of experimental FLD

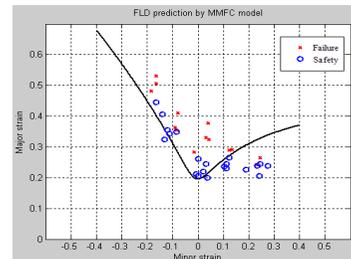


Fig. 3 Comparison of MMFC's prediction with experimental data of FLD

MMFC 모델 분석의 정확성을 위한 예측된 FLD는 Hecker에 의해 제안된 펀치 장출 시험의 실험 데이터 결과와 비교하였다. 실험을 하기 위해 시편은 박판 금속으로 준비하였고, 그림 2에 표시한 것처럼 50.8 mm의 펀치 반경을 가진 반구형의 펀치를 사용하여 펀치 장출 시험에 초기 형상에 다른 양에 두었다. 직경 2.54 mm의 원형 격자 시편의 장출 시험 전에 시험 시편의 표면에 처음 검사하였다. 시험 설정과 단단히 클래핑 한 후, 펀치 시험 동안 재료가 잡아 당기는 것을 예방하기 위한 클래핑 비드에 의한 시편은 펀치 하중이 일정적으로 약 1~10%정도 설정 부하감소를 감지 할 때 까지 10mm/min의 일정한 속도로 이동

하였다. FLD 측정을 위해 넥킹이 발생하면 시험을 정지시키는 것은 가장 바람직하다. 원 격자 분석은 변형된 시편에서의 변형되는 원의 major strain과 minor strain을 측정하기 위해 사용되었다. 카메라는 격자 분석기 소프트웨어가 변형된 원의 major strains과 minor strains을 공학적 계산하는 동안 변형되는 동안 원의 변형이 파괴에 가까워지면 이미지를 포착하기 위해 사용되었다. 데이터는 major strains과 minor strains 측에서 출력 하였으며 따라서 성형 한계 선도는 safety strain과 failure strain 사이의 경계로 추정을 하였다.

3. MMFC 모델의 개선

그림 4는 스테인리스 강관의 Swift의 경화법칙을 따르는 제안된 MMFC 모델을 묘사하였다. FLD의 예측은 실험적 자료에서 좋은 결과이다. 게다가 다양한 변형비(β)에서 응력-변형 곡선은 또한 그림 5에 넣었다. 그림 5에 제시된 것처럼 참 응력-변형 곡선에서 두축 변형구역이 가장 높으며 평면 변형 구역과 비교된 단축의 인장 구역 보다 크다. 그 현상은 평면 인장 시편을 이용함으로써 안정된

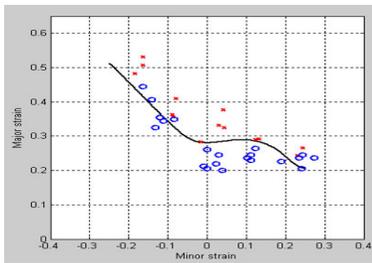


Fig. 4 Comparison of proposed MMFC follow Swift's hardening laws with experimental data of FLD

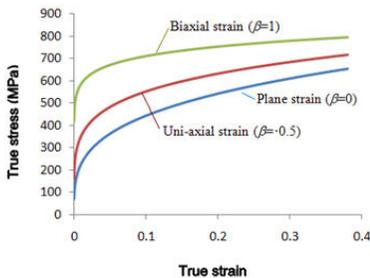


Fig. 5 Stress-strain curves' predictions at various strain zone

두축 흐름거동과 평면 변형시험이 측정된 수압 팽출 시험에 의한 상응하는 실험적 결과다. 이 결과로 보여주는 것은 FLD 예측은 재료에 대한 FLD 시험의 실험적 결과를 비교한 인장 시험의 Swift's 경화법칙과 MMFC 모델에 기초를 두었고, 실험적 테스트로부터 얻기 어려운 변형비(β)의 다른 구역에서 참 응력-변형 곡선을 예측 할 수 있다.

4. 결론

이 연구에서, MMFC 모델을 기초로 한 스테인레스강관의 FLD의 예측을 개선하기 위해 제안된 MMFC 모델은 변형비(β)의 함수로서 경화법칙의 가공경화 계수를 소개하였다. 새로운 매개 변수는 단축 인장 영역에서 실험 포인트와 경화법칙이 적용되는 평면 변형 영역의 비교에 의해 얻게 되었다. 제안된 MMFC 모델은 실험데이터에서 좋은 결과가 제안되었고 그 결과 참 응력-변형을 곡선은 다양한 변형 영역에서의 가변적이어야 할 것이다.

제안된 모델은 스테인레스강관에서 복잡한 성형공정의 파괴 발생을 예측하기 위해 이 FEM 시뮬레이션 소프트웨어의 서브루틴에 적용할 수 있다.

참고문헌

1. L. Paraianu, G. Dragos, I. Bichis, D.S. Comsa and D. Banabic, "A NEW FORMULATION OF THE MODIFIED MAXIMUM FORCE CRITERION (MMFC)," *Int J Mater Form*, **3**(Suppl 1), 243-246, 2010
2. S.S. Hecker, "Simple Technique for Determining Forming Limit Curves," *Sheet Metal Industries.*, **52**, 11, 671-676, 1975
3. D.C. Ahn., J.W. Yoon., and K.Y. Kim., "Modeling of anisotropic plastic behavior of ferritic stainless steel sheet," *Inter. J. Mech. Sci.*, **51**, 718-725, 2009
4. M. Brunet and F. Morestin, "Experimental and analytical necking studies of anisotropic sheet metals," *J. Mater.Process. Technol.*, **112**, 214-226, 2001