

STS304 원형관의 2축 압축 변형 특성에 관한 연구

A study on the characteristics of biaxial compressive deformation of STS304 circular pipe

*#원시태¹, 김춘태², 유종근³, 김기주⁴, 김원경⁵, 유준종²

*#S. T. Won¹(stwon370@snut.ac.kr), C. T. Kim², C.K.Yoo³, K. J. Kim⁴, W. K. Kim⁵, C.K.Yoo²
¹서울산업대 제품설계금형공학과, ²서울산업대대학원 정밀기계공학과, ³뉴테크, ⁴서정대학 자동차과, ⁵한국철도
 기술연구원 시험인증센터

Key words : Strain rate, Biaxial, Compressive, Deformation, STS304, Circular Pipe

1. 서론

원형관의 2축 압축 변형 특성에 대한 계통적인 연구를 위하여, 전보에서는 횡 2축 압축 실험 금형을 설계, 제작하고, 다양한 압축속도의 조건에서 Cu 재 원형관의 단면형상 변화 특성, 편치하중과 변형거동 특성, 변형과정에서 발생하는 인장과 압축 변형량의 평가를 발표한 바 있고, 본 연구는 STS304 원형관의 2축 압축변형 특성을 조사하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서 사용한 시험재료는 STS304 모재와 1030℃에서 진공 풀림처리한 STS304 풀림재 원형관으로 화학성분과 기계적 성질은 Table 1 및 Table 2와 같고, 시험편 형상과 규격은 Fig. 1과 같다.

Table 1. Chemical composition

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
STS304	0.05	0.56	1.14	0.037	0.003	8.16	18.14

Table 2. Mechanical properties

Material	σ (MPa)	ϵ (%)	C (MPa)	n	H _{mv}
STS304(base material)	64.86	54.33	110.66	0.72	183.5
STS304 (annealed)	59.4	70.01	17.25	0.53	146.4

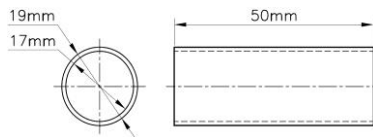


Fig. 1 Geometry of test specimen

원형관의 2축 압축시험은 Fig. 2와 같은 단동 가경식 2축 압축실험 금형을 제작하여 사용하였다. 실험금형은 가경식으로 각도변화가 최대 70° 범위까지 시험이 가능하지만, 본 시험에서는 45°로 동일한 압축비로 실험을 하였고, 시험편에 작용하는 2축 압축 힘의 상태는 Fig. 3과 같다.

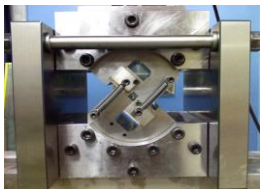


Fig. 2 Biaxial compression experimental apparatus

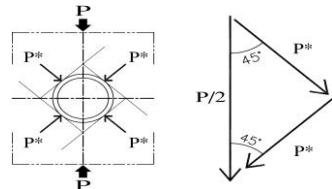


Fig. 3 Biaxial compression load state

2축 압축시험은 Fig. 1의 실험금형을 압축시험기에 장착한 후 EP-기어오일(점도 410 C.P.)의 윤활조건과 1mm/min ~ 450mm/min 범위의 압축속도조건에서 하였다. 변형 전 및 변형단계에서의 시험편 경도값(H_{mv})은 미소비커스 경도계를 이용하여 Fig. 4와 같이 각각 원형관의 외측, 중립축 및 내측의 측정위치에서 50g의 하중으로 측정하였고, 변형과정에 대한 FEM 해석은 상용프로그램인 DEFORM-2D를 사

용하였고, 변형량의 평가를 경도실험 결과와 비교하였다.

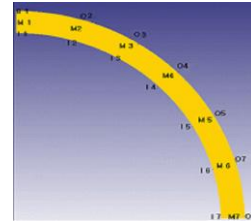


Fig. 4 Micro Vickers measure points

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 DEFORM-2D 해석에 의한 2축 압축 변형 특성 곡선을 나타낸 것이다. 변형의 최종단계에서의 시험편 형상은 Fig. 6과 같은 바람개비 모양으로 변형됨을 알 수 있다. Fig. 7은 10mm/min의 압축속도에서 STS304 모재 및 풀림재 원형관의 2축 압축실험에 의한 전형적인 변형특성 곡선과 시험편이 변형하는 형상을 나타낸 것이다. 실험결과 원형관의 변형초기(편치스트로크 0~0.7mm)에는 STS304 모재 및 풀림재 원형관의 경우 모두 2축 압축시험장치의 다이면에 원형관이 접촉한 후 하중의 ①차 하중 일정구간이 나타난다. 그러나 면 접촉을 시작하는 편치스트로크 0.7mm 이후에는 STS304 모재의 변형특성은 편치스트로크 0.7~1.2mm까지 약 450kgf까지 급격히 증가하는 ②차 하중 상승구간이 나타나고, 이후 원형단면 형상에서 사각단면 형상으로 형상이 변화되는 시점인 편치스트로크 1.7mm에서 약 500kgf까지 ③일정량의 하중이 증가한다. 이후 원형단면이 사각단면 형상으로 완성되는 편치스트로크 2.1mm를 지나, 사각단면 형상이 내측으로 좌굴이 시작되는 편치스트로크 2.9mm 위치에서 최대하중은 약 1350kgf까지 하중이 급격히 증가하는 ④ 2차 하중 증가구간이 발생한다. 이후 사각단면 형상이 좌굴되면서 중심부에서 4면이 접촉하기 직전(편치스트로크 2.9mm ~ 4.7mm)까지 ⑤하중이 감소하는 현상이 나타난다. 이 지점을 지나서 좌굴된 면들이 접촉하게 되면 다시 급격한 ⑥3차 하중증가 구간이 나타난다.

STS304 풀림재 원형관의 변형특성에서도 STS304 모재의 특성과 비슷하지만 1차 하중 증가구간이 STS 모재 원형관과 비교했을 때 비교적 작은 약 150kgf까지 상승한다.

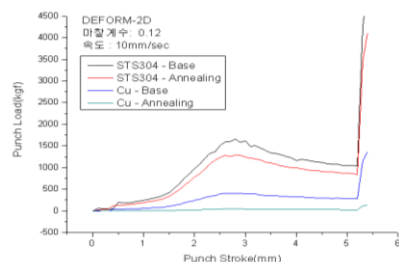


Fig. 5 The relation between punch load-stroke curve of four materials by DEFORM-2D

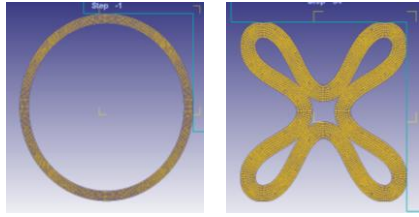


Fig. 6 Circular pipe deformed shapes by DEFORM-2D

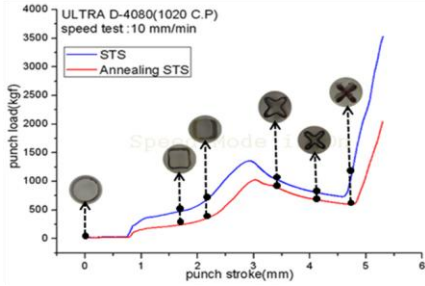


Fig. 7 The relation between punch load-stroke curve and STS304 circular pipe deformed shapes

Fig. 8의 압축속도 변화에 따른 변형특성을 보면 압축속도가 10~200mm/min 미만에서, STS304 모재와 폴림재 원형관 모두 하중일정 구간과 하중상승 구간이 구분되어 잘 나타나지만, 300mm/min 이상에서는 변형 초기단계부터 구간특성이 나타나지 않고, 하중이 일정하게 상승하고 있다. 또한 압축속도가 증가할수록 최대하중 점은 감소하고 전체 스트로크가 짧아지는 경향이 나타난다. 이 결과는 질량(M)이 일정하고 가공속도가 증가하면 소성저항이 커져 시편이 받는 힘이 증가하여 압축량이 증가하는 것으로 생각된다.

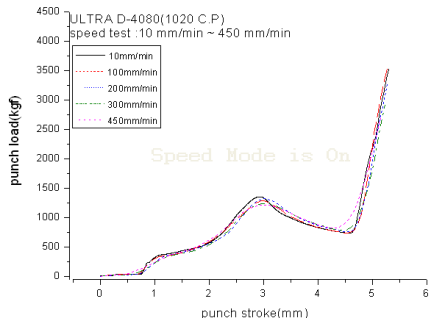


Fig. 8 (a) The relation between punch load-stroke curve under various of compress speed in STS304 base material

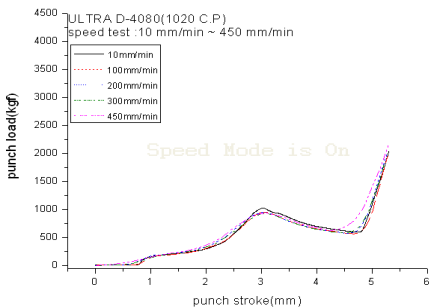
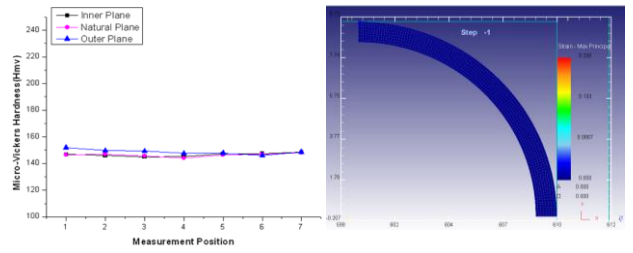


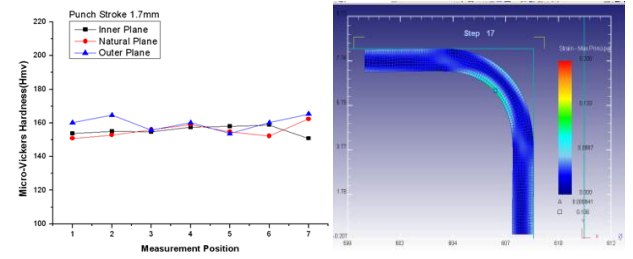
Fig. 8(b) The relation between punch load-stroke curve under various of compress speed in STS304 annealed material

Fig. 9는 STS304 폴림재 원형관의 변형과정 단계에서 마이크로 비커스 경도계로 내측, 중립축, 외측에서 측정된 경도값과 DEFORM-2D의 변형해석에 의한 Strain - Max Principal 과 비교한 것이다. 이 결과 변형 초기에는 내측, 중심축, 외측의 경도값의 변화가 거의 없는 반면, 2축 압축 변형이 진행 될수록 시편은 인장과 압축을 받는 외측과, 내측부분이 중심축 부분보다 변형량이 크게 증가하여

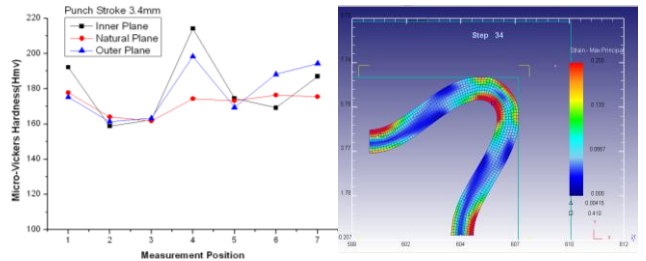
경도값이 커지는 것을 볼 수 있다.



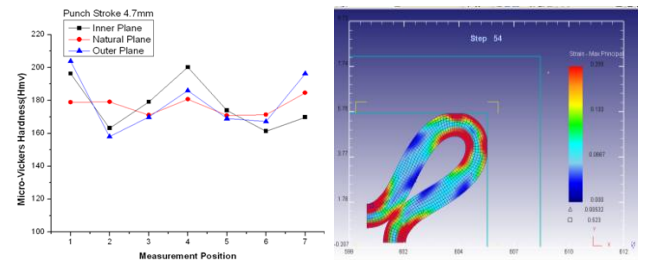
(Punch stroke 0.0mm/Annealed STS304)



(Punch stroke 1.7mm/Annealed STS304)



(Punch stroke 3.4mm/Annealed STS304)



(Punch stroke 4.7mm/Annealed STS304)

Fig. 9 The result of micro Vickers hardness value at deformed stage and the result of deformation analysis by DEFORM-2D

4. 결론

횡 2축 압축을 받는 STS304 모재 및 폴림재 원형관의 단면 형상변화 특성과 함께, 압축속도의 크기에 따른 펀치 하중과 변형거동특성 곡선을 비교하였다. 또한 변형과정에서 발생하는 경도값의 변화와 DEFORM-2D의 변형해석에 의한 변형량 결과와도 경향이 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 원시대, M-Gotoh, 유종근, 한국정밀공학회 2008년도 춘계학술대회 논문집
2. 원시대외, 한국정밀공학회 2009년도춘계학술대회논문집
3. 後藤 学, 兪鍾根, 金内祥大, 山下実, 平成9年度塑性加工春季講演論文集, (1997.5),281.