한국소성가공학회 2007년도 춘계학술대회 논문집 pp. 250~253

SUS304 와이어 직선화처리 공정 중 잔류응력 예측

김태원[1]· 함승호[2]· 문형일[1]· 김헌영[#]

Prediction of Residual Stress in Straightening Process of SUS304 Wire

T. W. Kim, S. H. Ham, H. I. Moon, H. Y. Kim[#]

Abstract

It is known that fine straightness of micro-wire can be obtained by removing residual stress induced during the manufacturing processes. Generally, residual stress is removed or minimized through several drawing processes with heat treatment. In this study, the residual stress at each straightening process is calculated and monitored by finite element analyses and the main reason of stress change is investigated.

Key Words : Straight line Treatment(직선화 처리), Drawing(인발), Residual Stress(잔류응력)

1. 서 론

직선화 처리된 미세 직경의 SUS304 와이어(wire)는 내식성 및 내열성이 우수하고 기존 와이어에 비해 고 부가가치를 창출하여 반도체 및 마이크로니들, 소형 샤프트등에 폭 넓게 사용되고 있다. 따라서 현재 이에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

직선처리 공정의 주된 목적은 진직성과 진원도 및 표면정밀도 등을 원자재의 손실없이 유지하는 것이다. 와이어 재료가 코일의 형태로 구입되기 때문에 일반적으로 잔류응력이 존재하게 된다. 이때 와이어의 한쪽 측면은 인장응력에 의해서 인장되며 반대쪽 측면은 압축 응력이 존재하게 된다. 이런 이유 때문에 와이어는 진직성을 잃게 된다[2,3].

이러한 직선화 처리 공정은 일반적으로 인발(drawing) 공정과 풀림(annealing) 공정 등을 통하여 이루어 진다[4,5]. 그 중 인발 공정 후 제품의 표면에 분포하게 되는 인장 잔류응력은 와이어의 진직성과 내구성에 악영향을 미쳐 제품의 품질을 저하 시키는 원인이 된다. 인발 후 와이어의 표면에 분포하는 압축 잔류응력은 제품의 균열 발생과 표면의 마모 손상을 억제할 수도 있지만, 축방향 및 원주 방향에 분포하는 인장 응력은 와이어의 표면에 균열을 생성하고 전파시킴으로 피로강도 및 파손을 유발하는 원인이 된다[6].

이에 본 논문에서는 SUS304 재질의 미세 직경 와이어의 인발 공정 후 와이어에 분포하는 잔류응력을 유한요소 해석을 통하여 예측 및 평가하였으며, 이때 초기 잔류응력의 영향성을 평가하여 보았다.

2. 유한요소 모델링

유한요소 모델링에서는 임의의 초기 잔류응력을 생성하기 위해 Fig. 1과 같이 1.9°휘어진 와이어를 모델링 하였다. 이때 대상으로 선정한 모델은 현재 생산되고 있는 직경 0.324mm의 와이어를 선택하였다. 유한요소 모델링 시 해석 시간을 단축

1. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부
2. ㈜광인와이어
교신저자: 강원대학교, E-mail: khy@kangwon.ac.kr

하기 위하여 전체 길이 10㎜, 길이 방향 단면에 대칭 조건을 부여한 1/2 모델을 구성하였다. SUS304 와이어의 화학적 조성과 기계적 물성은 각각 Table 1과 Table 2에 나타나있다.

잔류응력 분포 평가를 위한 유한요소 해석의 순서 및 경계 조건은 Fig. 2와 같다. 첫 단계로 굽혀진 와이어를 펴주는 역굽힘 공정(reverse bending; step1)을 통해 초기 잔류응력을 생성하고 두번째 단계로 역 굽힘 공정을 마친 와이어에 인발 방향과 반대 방향으로 인장응력을 부여하는 인장응력 부여 과정(back tensioning; step2)을 거쳐, 최종적으로 인발공정(drawing; step3) 후 잔류응력의 분포를 평가하였다. 이 때 경계조건으로는 인발 다이는 강체이며 인발 공정 중 발생하는 인발 다이와 와이어의 마찰은 충분한 윤활이 있음을 가정하여 무마찰 조건을 부여하였다. 또한 단면 감소율(reduction percentage; R.P.)은 4.32%, 다이 반각은 7°
로 설정 하였다. 역굽힘 공정에서는 모델링 된 와이어에 각각 1번 방향 -0.165mm, 2번 방향 0.005mm, 2번 회전 방향은 0.03rad의 변위 부여하고 다이 쪽 단면을 고정하였다. 이를 통하여 휘어진 와이어를 일 직선상에 위치시킨다. 인장응력 부여 과정에서는다이와 반대쪽 와이어 단면에 압력을 부여하여 인장응력을 와이어에 부여한다. 인발 공정에서는 다이 쪽 단면에 3번 방향으로 -14mm의 변위를 부여하여 와이어를 인발 다이에 통과시키는 해석을 수행하였다.

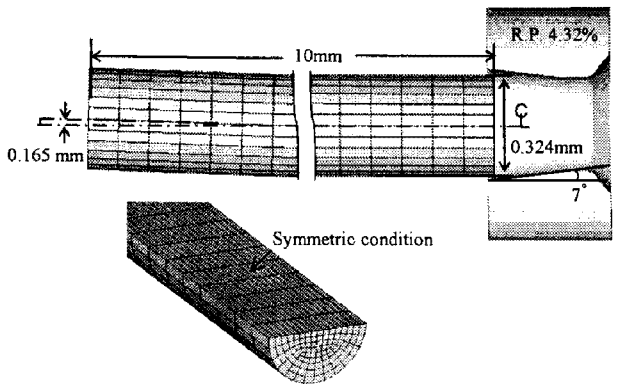


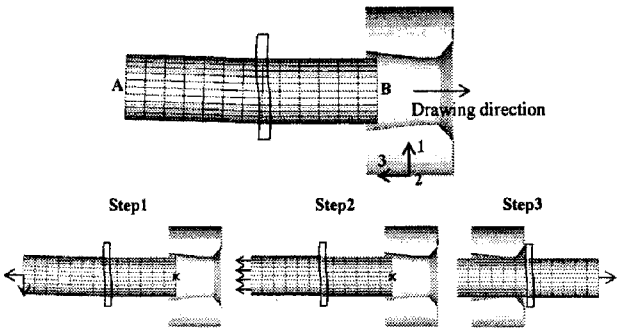
Fig. 1 F.E. model of wire

Table 1 Chemical composition of SUS304 (%)

N	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.03	0.08	1	2	0.045	0.03	10.5	18.13

Table 2 Material properties of SUS304

Modulus of elasticity	197GPa
Yield stress	415MPa
Ultimate strength	725MPa
Poisson's ratio	0.29
Elongation at break	50%



Step1 (reverse bending)	Step2 (back tensioning)	Step3 (drawing)
Point A move U1:-0.0165mm U2:0.005mm U3:-0.03rad Point B all direction fix	Point A U2: remove constraint and give back tension Point B all direction fix	Point B U2: remove constraint and move -14mm

Fig. 2 Analysis procedure

3. 단계 별 잔류응력 평가

3.1 역굽힘 공정

역굽힘 공정에서는 휘어진 와이어를 펴줌으로 인하여 초기 잔류응력을 생성하였다. 이때 발생한 초기 잔류응력은 Fig. 3과 같이 표면 A와 표면 B에 각각 -32MPa, 186MPa로 압축응력과 인장응력이 발생하였다. 해석결과 압축응력에 비해 인장응력이 크게 발생됨을 확인할 수 있다.

3.2 인장응력 부여 과정

인장응력 부여과정에서는 인발 방향과 반대되는 방향의 면압이 작용하게 된다. 이 때 작용하는 면압의 크기를 임의로 50~120MPa까지 변화시키며 해석을 수행하였다. 그 결과 Fig. 4와 같이 와이어 표면에 분포하는 압축 및 인장응력을 확인 할 수 있다. 해석 결과 Fig. 4에서 보면 인장응력이 80MPa 이하에서는 오히려 공정 후 응력이 저하되는 현상을 확인할 수 있다. 80MPa이하에서 응력이 감소되는 현상은 초기조건에 비하여 인장응력 조건이 완화되어 발생하는 일종의 스프링백(spring

back) 현상으로 예측 할 수 있다.

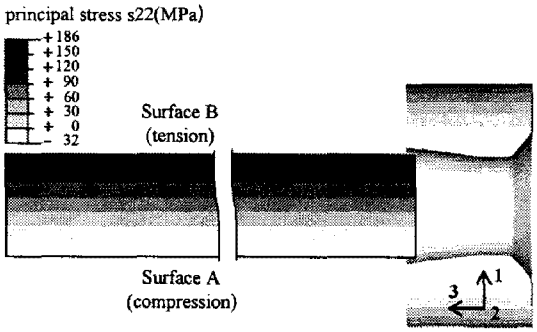


Fig. 3 Axial residual stress after reverse bending step

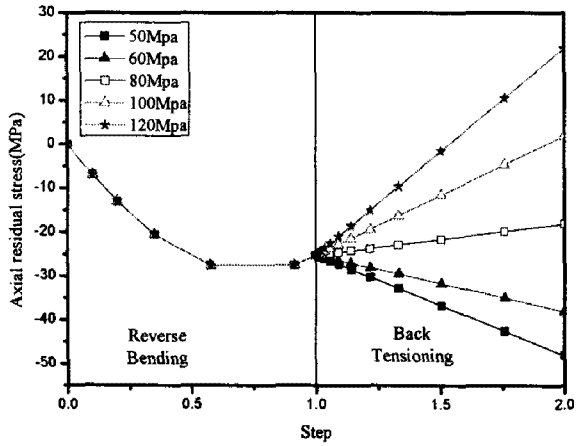


Fig. 4 Variation of residual stress at the surface A

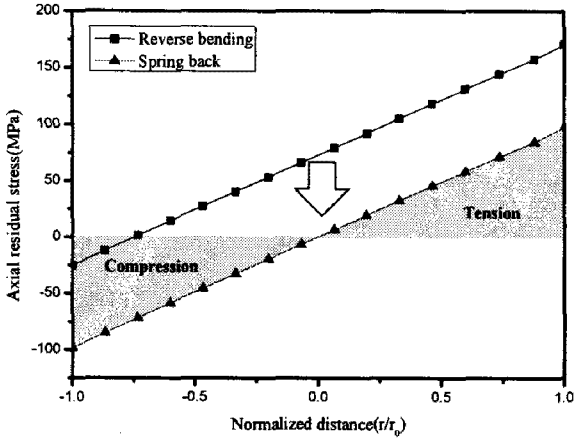


Fig. 5 Variation of axial residual stress at reverse bending and spring back analysis

이를 규명하기 위해 역굽힘 공정 후 스프링백 해석을 수행 하였다. 스프링백 해석 조건은 2번 방향의 구속만을 풀어주어 이 때 변화되는 축방향의 응력분포 변화를 확인하였다. Fig. 5는 앞서 수행한 역굽힘 공정 후의 응력 분포와 스프링백 해석 후 잔류응력의 변화를 나타내는 선도이다. 이를 통해 와이어에 스프링백은 압축응력과 인장응력이 평형을 이루는 경향을 나타냄을 확인할 수 있다. 따라서 Fig. 4에서의 응력의 저하현상(80MPa 이하)은 스프링백의 영향으로 발생 하는 것으로 판단된다.

3.3 인발공정

Fig. 6은 인장응력이 150MPa일 때 각 단계별 와이어 표면의 축방향 잔류응력의 변화를 나타내는 선도이다. 인발 공정 중 발생하는 표면 잔류응력은 A점을 기준으로 양 표면의 응력차가 역전된다. 인발과정 중에는 직경의 감소로 인하여 응력의 재분배가 발생하게 된다. 다이를 통과하기 전 응력의 분포 형태 즉, 표면 B의 상대적으로 높은 인장응력과 표면 A의 낮은 인장응력이 C점을 지나면서 양 표면 모두 압축응력 형태로 변화한다. 이 때 내부에는 인장응력 형태로 재분포하게 된다. 그 후 다이를 통과(D)하면서 동일한 변형(변형률)이 발생함에 따라 초기의 응력과 반대되는 분포를 나타내게 된다. 이와 같은 결과는 Fig. 7의 인발 공정 중 와이어의 응력분포를 나타내는 그림에서 확인할 수 있다.

Fig. 8은 인장응력이 150MPa 일때 굽혀진 와이어모델과 직선 와이어 모델의 축방향 잔류응력을 비교한 선도를 나타낸다. 직선 와이어 모델의 축방향 잔류응력의 분포는 양 표면을 기준으로 대칭성을 갖는다. 하지만 굽혀진 와이어 모델의 경우 와이어의 중심부를 기준으로 응력 분포가 한쪽으로 치우쳐 있는 것을 알 수 있다. 이를 통해 초기 잔류응력의 영향이 인발 공정 후 잔류응력 예측에 있어 중요한 변수로 작용함을 확인할 수 있다.

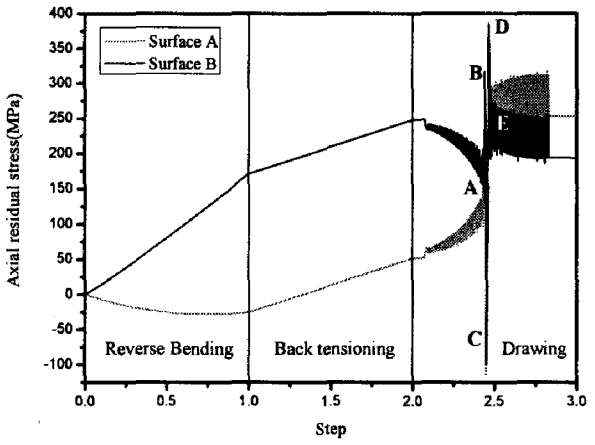


Fig. 6 Variation of axial surface residual stress during

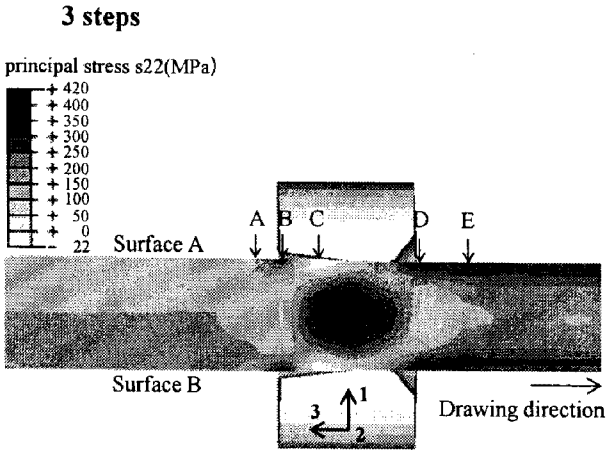


Fig. 7 Distribution of residual stress in drawing Process

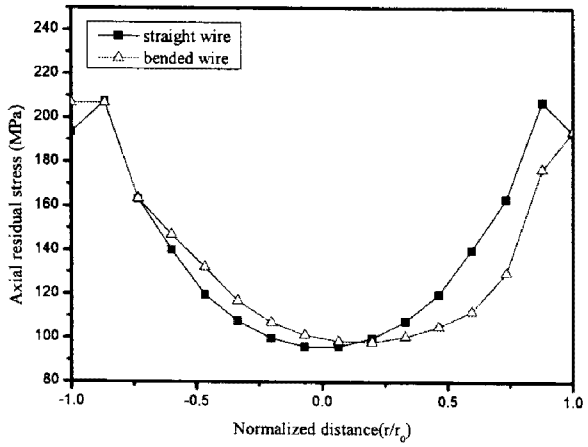


Fig. 8 Axial residual stress distribution of straight and bended wire with back tension 150MPa

4. 결 론

본 논문에서는 직선화 처리 공정 중 와이어에 분포하는 잔류응력을 유한요소 해석을 통해 예측하여 보았다. 이 때 인발 다이를 통과하기 전의 와이어에 초기 잔류응력을 적용하여 보았다.

(1) 해석 결과 인장응력 부여 후 80MPa 이하의 인장응력에서는 압축응력이 증가하는 현상이 나타났다. 이는 역굽힘 조건에 비해 인장응력 부여 조건이 이완화되어 생기는 일종의 스프링백 현상으로 판단할 수 있다.

(2) 인발 공정 중 응력의 재 분포가 발생하며 인발 공정 이후 양 표면의 축방향 잔류응력의 크기는 역전되는 것으로 나타났다.

(3) 인발 공정의 해석 시 초기 잔류응력의 영향이 유의함을 확인할 수 있었다. 따라서 해석을 통한잔류응력 예측 시 초기 잔류응력에 대한 영향을 고려하여야 한다.

참 고 문 헌

[1] Tsutomu YAMASHITA, Kazunari YOSHIDA, 2005, Tensile straightening of superfine wire and residual stress measurement using focused ion beam, JSME International Journal, Series A, Vol.48, No.4,pp.322~328.

[2] W. K. Kim, H. G. Shin, B. H. Kim, H. Y. Kim, 2007, Straightening of micro wires using the direct wire heating and pulling method, International Journal of Machine Tools & Manufacture 47, 1046~1052.

[3] B. H. Kim, W. K. Kim, H. Y. Kim, S. M. Yoon and K. H. Na, 2005, A study on the straightening process of micro wires, 5th Japan-Korea Joint Symposium on Micro-Fabrication, pp. 66-70.

[4] S. Norasethasopon, K. Yoshida, 2006, Finite-element simulation of inclusion size effects on copper shaped-wire drawing, Materials science and Engineering, A422, pp.252~258.

[5] 김웅겸, 홍남표, 김병희, 김헌영, 2006, 마이크로 와이어의 직선화 처리에 관한 연구, 대한기계학회 논문집 A권, 제30권, 제 9호, PP. 1148~1153.

[6] 고대철, 황원호, 이상곤, 김병민, 2006, 신선 시 선재의 잔류응력 완화 방법에 관한 연구 및 나노 압입 시험을 이용한 잔류응력 평가, 한국정밀공학회지, 제23권, 제5호, pp. 162~169.