유한요소 해석에 의한 공정변수가 인발 선재의 잔류응력에 미치는 영향평가 및 완화에 관한 연구

이상곤*, 황원호(부산대 대학원 정밀기계공학과), 김병민(부산대 ERC for NSDM), 배철민, 이충열(POSCO)

A Study on the Influence of Process Parameters on Residual Stress and Reducing Residual Stress for Drawn Wire Using FE-Analysis

S. G. Lee, W. H. Hwang(Mecha. & Preci. Eng., PNU), B. M. Kim(ERC for NSDM, PNU), C. M. Bae, C. Y. Lee(POSCO)

ABSTRACT

This study presents a study on the influence of process parameters(semi-die angle, die reduction, friction condition, and bearing length) in drawn wire on residual stresses were investigated using FE-analysis. In this study, semi-die angle and die reduction have a significant effect on the residual stresses at the surface of drawn wire. In the previous study, in order to reduce the residual stresses, several methods were suggested: addition of axial tension, application of skin pass, straightening in multi-roll straightener etc. In this study, it can be known that the concurrent application of skin pass with low die reduction and low semi-die angle at the final stage of drawing operation reduces dramatically the both axial and hoop residual stresses after drawing

Key Words : Drawn Wire(인발선재), Process Parameters(공정변수), Residual Stress(잔류응력), Skin Pass(스킨패스), Low-Semi Die Angle(저 다이 반각)

1. 서론

인발공정시 다이를 통과한 소재는 표면부에 변형이 집중되어 중심부와 표면부 사이의 변형률 분포가 불균일하다. 이로인해 인발된 소재의 표면부에 잔류응력이 발생하게 된다. 특히, 표면부에서 발생하는 인장잔류응력의 경우 제품의 진직도저하, 응력부시균열 촉진 및 피로수명을 저하시켜 제품의 기계적 성질 및 제품수명을 현저히 단축시킨다[1-3]. 따라서, 인발공정시 선재의 잔류응력을 감소시키는 것이 상당히 중요하다. 본 연구에서는 탄소성 유한요소해석을 통하여 인발공정시 주요 공정변수인 다이 반각, 다이 감면율, 마찰계수, 그리고 다이 베어링 길이가 잔류응력에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 또한, 인발후 잔류응력 감소를 위해 스킨패스(skin pass) 공정에 대하여 감면율 및 다이 반각에 따른 잔류응력 감소효과를 평가하였다. 이를 통하여 감면율이 낮은 스킨패스와 작은 다이 반각을 동시에 적용할 경우 선재의 잔류응력을 현저히 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

2. 유한요소해석

2.1 Material Property

본 연구에서 적용한 선재는 타이어 보강재로 사용되는 고탄소강 AISI1075 로 초기 직경은 2.0mm 이다. 유한요소해석을 위해 단축인장시험을 통해 확보한 초기 선재의 물성치는 다음과 같다.

$$\bar{\sigma} = 2194.5\bar{\varepsilon}^{0.250}[MPa]$$

2.2 Process Parameters

공정변수가 인발선재의 잔류응력에 미치는 영향을 평가하기 위하여 본 연구에서는 대표적인 공정

변수인 다이 반각, 다이 감면율, 마찰계수, 그리고 다이 베어링 길이에 대한 영향을 평가하였다. 다이 반각(α)의 경우 3°~13°, 다이 감면율(R)의 경우 5%~30%, 마찰계수(μ)의 경우 0.04~0.10, 마지막 다이 베어링 길이(*l*)의 경우 초기 선재의 0.3~0.5 배의 길이에 대하여 그 영향을 평가하였다.

2.3 유한요소 해석

Fig. 1 에 유한요소해석 모델을 나타내었다. 해석은 상용유한요소해석 S/W DEFORM-2D[4]로 탄-소성해석을 이용하였다. 해석은 소재가 다이를 완전히 빠져나올 때 까지 수행하였다.

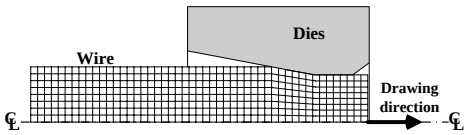


Fig. 1 2D-FE model for wire drawing

3. 유한요소해석 결과

Fig. 2 과 Fig. 3 는 다이 반각에 따른 축방향 및 원주방향 잔류응력 분포를 나타낸것이다. 다이 반각이 작을수록 축방향 및 원주방향 잔류응력이 감소하는 것을 알 수 있다.

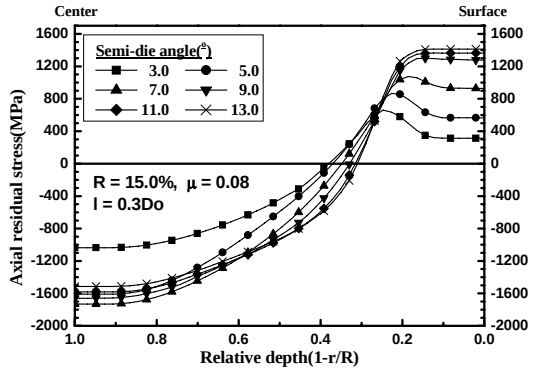


Fig. 2 Axial residual stress for different semi-die angle(α)

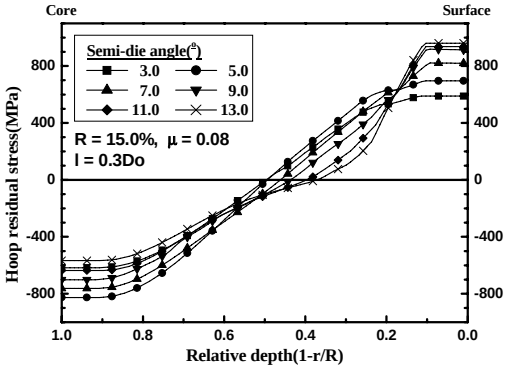


Fig. 3 Hoop residual stress for different semi-die angle(α)

Fig. 4 와 Fig. 5 는 감면율에 따른 축방향 및 원주방향 잔류응력분포를 나타낸 것이다. 축방향 잔류응력의 경우 감면율이 25%까지 증가할수록 감소하지만, 원주방향의 경우 감면율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내고 있다.

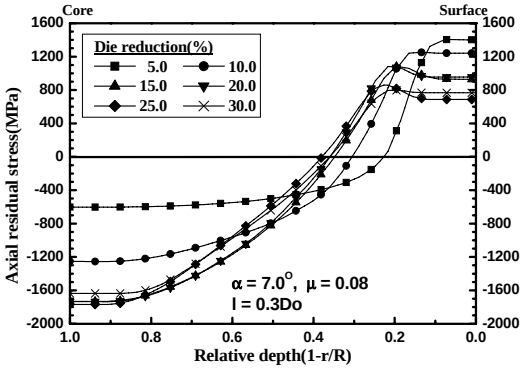


Fig. 4 Axial residual stress for different die reduction(R)

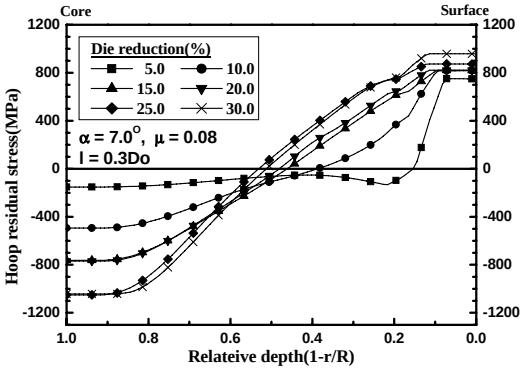


Fig. 5 Axial residual stress for different die reduction(R)

Fig. 6 과 Fig. 7 은 마찰계수 변화에 따른 축방향 및 원주방향 잔류응력 분포를 나타낸 것이다. 해석결과 마찰계수의 경우 다이 반각 및 다이 감면율에 비해 상대적으로 잔류응력 변화에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

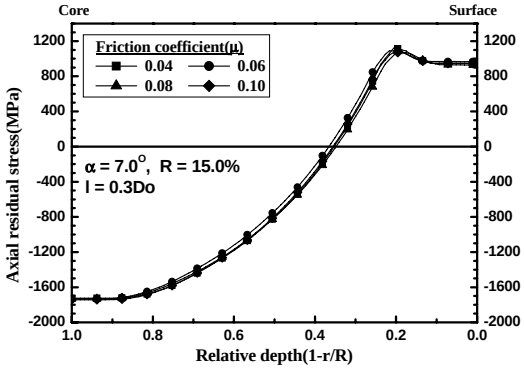


Fig. 6 Axial residual stress for different friction Coeff.(μ)

Fig. 8 과 Fig. 9 는 다이 베어링 길이 변화에 따른 잔류응력 변화를 나타낸 것이다. 베어링 길이

길어질수록 축방향 및 원주방향 잔류응력이 다소 감소함을 알 수 있다.

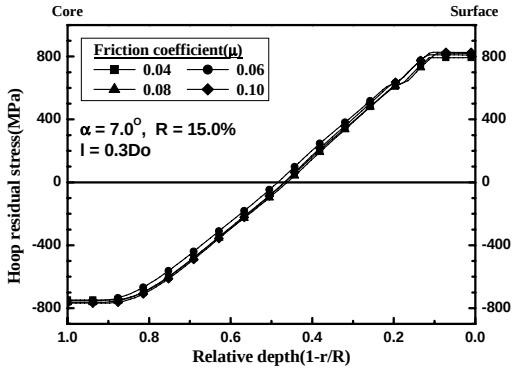


Fig. 7 Hoop residual stress for different friction Coeff.(μ)

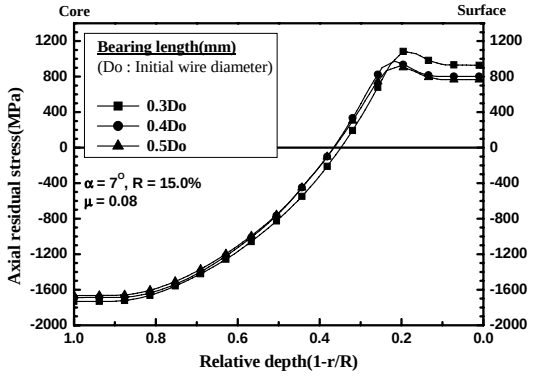


Fig. 8 Axial residual stress for different bearing length(l)

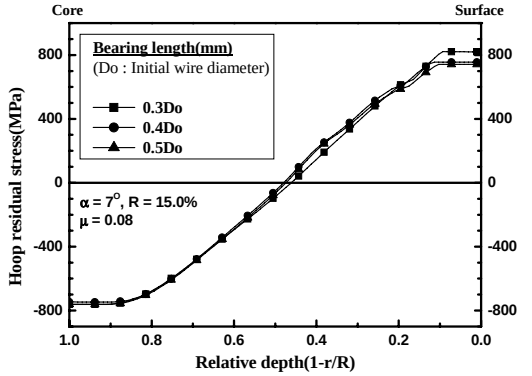


Fig. 9 Hoop residual stress for different bearing length(l)

4. 잔류응력 감소

본 연구에서는 인발 후 선재의 잔류응력 감소를 위하여 스킨패스, 저 다이 반각, 그리고 두 가지 방법을 동시에 적용한 경우 대하여 잔류응력 감소효과를 평가하였다.

스킨패스 영향을 평가하기 위하여 직경 2.0mm 의 초기 선재를 감면율 15.0%로 1 차 인발을 수행한 후 2 차 스킨패스 감면율을 1%~5%로 변화시켜 그 영향을 평가해 보았다. Fig. 10 과 Fig. 11 에서 감면율이 작을수록 축방향 잔류응력은 오히려 증가하였다.

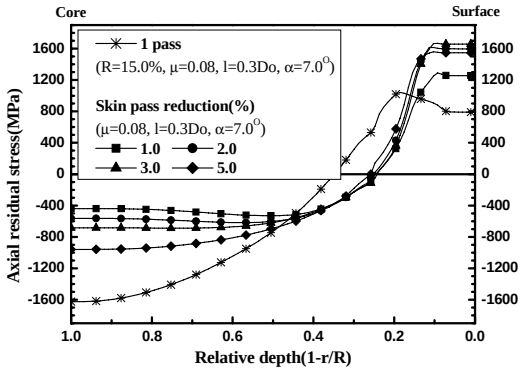


Fig. 10 Axial residual stress for different skin pass Reduc.

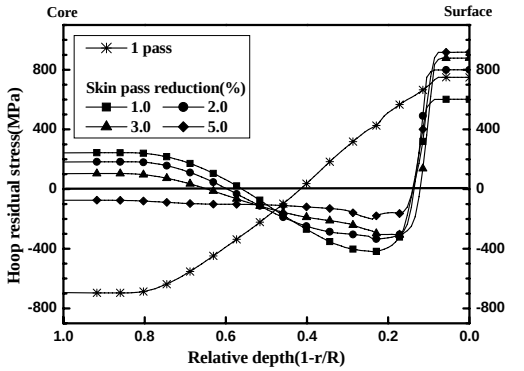


Fig. 11 Hoop residual stress for different skin pass Reduc.

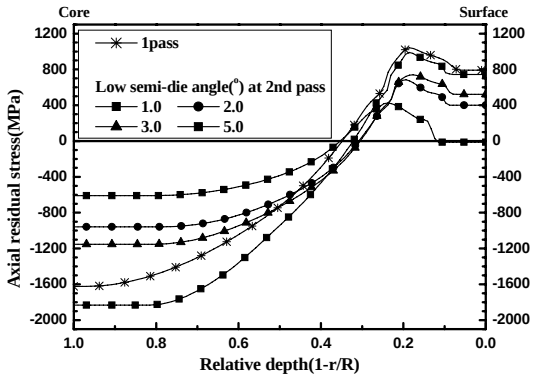


Fig. 12 Axial residual stress for different low die angle

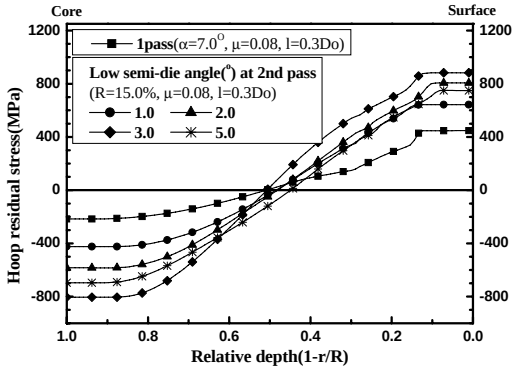


Fig. 13 Hoop residual stress for different low die angle

Fig. 12 과 Fig. 13 의 저 다이 반각을 적용한 경우 다이 반각이 감소할수록 잔류응력이 감소함을 알 수 있다. 특히, 다이 반각이 1°인 경우 표면부의 축방향 잔류응력이 거의 Zero 인 것을 알 수 있다.

Fig. 14 와 Fig. 15 는 스킨패스와 저 다이 반각을 동시에 적용한 경우에 대한 잔류응력 분포를 나타낸 것이다. 초기 직경 2.0mm 선재에 대하여 15.0% 와 14.1%로 각각 1, 2 차 인발 후 마지막 3 번째 패스에서 감면율 1%, 다이 반각 1°로 스킨패스를 적용한 후 잔류응력 분포이다. 결과에서 알 수 있듯이 축방향 및 반경방향 모두 거의 zero 까지 감소함을 알 수 있다.

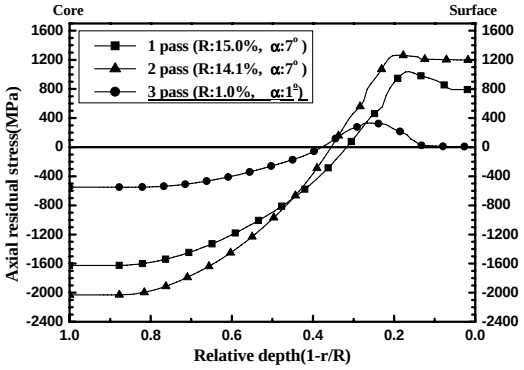


Fig. 14 Axial residual stress for skin pass with low semi-die angle

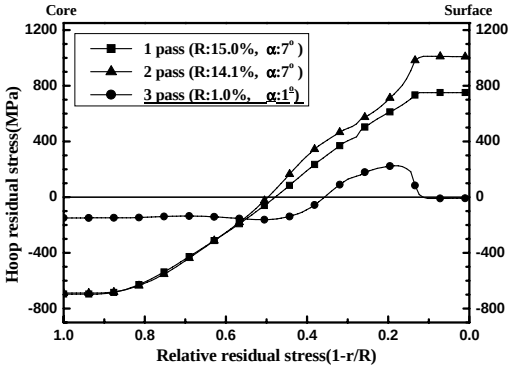
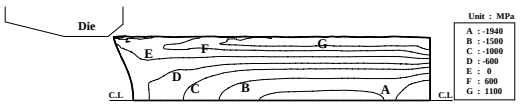
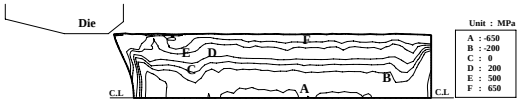


Fig. 15 Hoop residual stress for skin pass with low semi-die angle

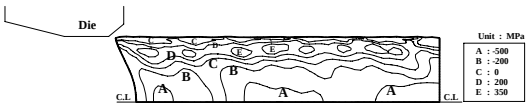


(a) Axial residual stress after two pass

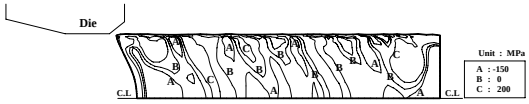


(b) Hoop residual stress after two pass

Fig. 16 Residual stress after two pass



(a) Axial residual stress after skin pass with low semi-die angle



(b) Hoop residual stress after skin pass with low semi-die angle

Fig. 17 Residual stress after skin pass with low semi-die angle

Fig. 16 과 Fig. 17 은 저 다이 반각 스킨패스를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우의 잔류응력 분포를 나타낸 것이다. Fig. 17 의 경우가 잔류응력이 확연히 낮음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 스킨패스와 저 다이 반각을 각각 적용하는 것 보다 두 방법을 동시에 적용할 경우 축방향 및 원주방향 잔류응력을 현저히 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결론

이상의 연구로부터 인발공정 시 마찰계수와 다이 베어링 길이에 비해 다이 반각과 다이 감면율이 인발 후 선재의 잔류응력 크기 및 분포에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

특히, 감면율 1%, 다이 반각 1°인 저 다이 반각 스킨패스를 마지막 공정에 동시에 적용한 경우 스킨패스와 저 다이 반각을 각각 적용한 경우보다도 잔류응력 완화 효과가 월등히 우수하였다.

참고문헌

1. Renz. P, Steuff. W., and Kopp. R., "Possibilities of influencing residual stress in drawn wires and bars," Wire J. Int., pp. 64 - 69, January 1996.
2. Vijayakar. S. S., "Optimization of die geometry and drawing parameters in high-strength cord production," Wire J. Int., pp. 79 - 85, November 1995.
3. Arnoudt. E., "Materials response to wiredrawing," Wire J. Int., pp. 79 – 85, March 1989.
4. SFTC, DEFORM^{TM}-2D, 1995.