

유성압연공정에 의한 무계목관 성형의 유한요소해석

FEA of Seamless Tube Forming by the Planetary Rolling Process

*#조혜용¹, 이경길², 박진용³, 강우규³

*#H. Y. Cho(hycho@cbnu.ac.kr)¹, J. K. Lee², J. Y. Park³, W. G. Kang³

¹충북대학교 기계공학부, ²한국기술교육대학교 기계정보공학부, ³충북대학원 정밀기계공학과

Key words : Planetary rolling mill, Finite element analysis

1. 서론

무계목관은 집합관에 비해 고압, 고온, 저온 등의 사용 환경에 보다 적합한 고품질, 고부가가치 자재로서 배관 및 구조용 등으로 활용범위가 매우 넓다. 일반적인 무계목관의 제조는 연속주조에 의한 빌렛가공, 빌렛절단, 압출, 다단 인발, 치수절단 등의 공정 순으로 이루어진다. 중간 성형체 가공을 위한 기존의 압출제조는 성형품 길이제한 및 설비 공간 확보 등의 문제점을 가지고 있다. 이를 신공법인 유성압연으로 대체 시에는 제조 공정의 단축과 제조원가 절감의 효과가 있어 동관제조에만 일부 활용되고 있다. 유성압연공정은 3개의 원추형 롤 사이에 연속주조 된 빌렛이 투입되어 모관을 제조하는 만네스만공법의 압연을 말한다. 공정변수로는 롤 형상, 기울임각, 비틀림각, 자전속도, 공전속도 등의 매우 다양하며 복합적인 상호작용의 특성을 갖고 있다. 유성압연의 공정변수 파악 및 영향분석 등을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다.¹⁻⁴ 그러나 다양한 재질에 대하여 유성압연공정에 의한 무계목관 성형에 관한 연구는 미진하여 공정개선을 위한 관련연구가 요구되는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 동관 유성압연의 선행연구⁵를 토대로 해석적 방법을 통해 AISI 304 무계목관 제조에 대한 유성압연공정 적용 가능성 및 생산성 검토를 하였고, 공정변수들이 성형성에 미치는 영향 파악과 상호관계를 규명하고자 하였다.

2. 유한요소해석

강소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM-3D를 이용하여 유성압연기에 의한 스테인리스강관 압연을 시뮬레이션 하였다. Fig.1은 시스템 형상 모델링으로 사면체로 요소분할 된 빌렛을 제외한 롤, 맨드릴, 왜건은 강체로 해석에 적용된다.

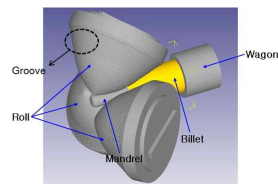
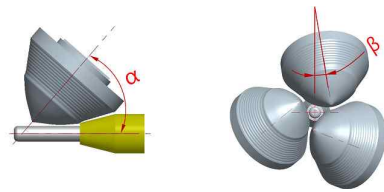


Fig. 1 Analysis model for planetary rolling

유성압연의 중요 공정변수는 롤의 형상, 자전 및 공전 속도, 왜건 속도, 압연 후 단면감소율, 초기 소재온도 등이다. Fig. 2는 유성압연기에서 롤의 기울임각과 비틀림각을 나타낸 것으로 무계목관의 성형성 및 가공속도에 영향이 큰 공정변수들이다. 공정변수의 해석범위는 선행연구⁴를 참고로 Table 1과 같은 조건이다.



(a) tilting angle(α) (b) twist angle(β)
Fig. 2 Tilting angle and twist angle of roll

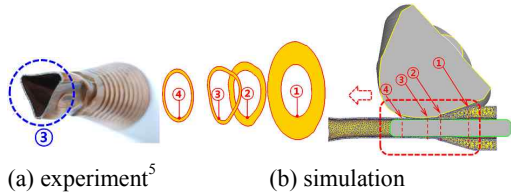
Table 1 Analysis conditions of planetary rolling for AISI 304

Rotation speed, ω_r (rpm)	130
Wagon speed, V_p (mm/s)	8
Tilting angle(α)	45° ~ 50°
Twist angle(β)	12°
Forming thickness, t (mm)	2.5 ~ 7.5
Area reduction ratio, Ar (%)	81.0 ~ 94.3
Pre-heating temperature(°C)	850

3. 유한요소해석 결과

Fig. 3(a)은 유성압연기에 의한 무계목관 성형과정에 대해 선행연구⁴의 실험결과이고, Fig. 3(b)은

AISI 304의 압연 해석결과이다. 빌렛은 롤의 표면 형상 궤적을 따라 외경이 감소하고, 원형소재는 3개 롤에 의해 큰 단면감소율로 성형되며 삼각형의 단면변형 후 원형의 성형체로 제조됨을 알 수 있다.



(a) experiment⁵ (b) simulation
Fig. 4 Deformation process of planetary rolling

Fig. 5는 가공 전 빌렛 초기온도가 20℃일 때, 성형두께에 따른 종단면 온도분포의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)의 성형두께 2.5mm를 제외 한 5mm, 7.5mm의 경우는 롤과 빌렛사이에 슬립이 발생되었다. 이는 AISI 304의 경우 열간가공에 적합한 재료로 유도가열장치에 의한 빌렛을 예열하는 공정이 필요할 것으로 판단된다.

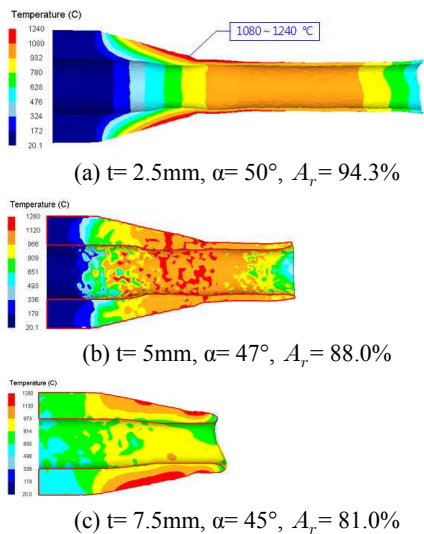


Fig. 5 Temperature distributions according to tube forming thickness for 20℃ initial temperature ($\mu_c = 0.9, \beta = 12^\circ, \omega_r = 130\text{rpm}, V_p = 8\text{mm/s}$)

Fig. 6은 가공 전 예열을 통한 빌렛 초기온도가 850℃일 때 성형두께에 따른 해석에서 종단면 온도 분포 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5의 빌렛 초기온도가 상온으로 압연 시 발생하는 슬립현상을 방지할 수 있었다. 이는 가공 전 빌렛을 열간가공 온도의 약 70%로 예열함으로써 압연 중 내외부의 온도차를 줄였기 때문에 균질한 변형이 된 것이다.

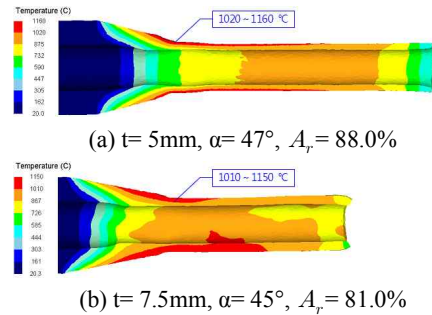


Fig. 6 Temperature distributions according to tube forming thickness for 850℃ initial temperature ($\mu_c = 0.9, \beta = 12^\circ, \omega_r = 130\text{rpm}, V_p = 8\text{mm/s}$)

AISI 304의 열간가공 온도범위는 1150~1250℃이며, Fig. 6의 성형온도는 1000~1200℃로서 열간가공의 범위를 만족함을 확인할 수 있다. 따라서 유도가열온도 850℃는 초기온도가 적합함을 알 수 있다. 또한, 스테인리스강관 제조의 압출공정을 유성압연공정으로 대체 시 성형성 및 생산성 향상 통한 제조원가 절감의 효과가 기대된다.

4. 결론

빌렛소재의 예열을 통해 두께 7.5mm까지 81% 이상의 단면감소율로 AISI 304 스테인리스 강관의 압연가공이 가능함을 해석적으로 검토할 수 있었고, 스테인리스강과 같이 변형속도민감도지수가 높은 재료의 압연 시에는 유도가열장치에 의해 초기성형온도를 높임으로서 성형성을 크게 향상시킬 수 있으며, AISI 304 스테인리스 강 경우 적정 예열온도는 약 850℃일 것이다.

참고문헌

1. Y. M. Hwang, H. H. Hsu and G. Y. Tzou, "A Study of PSW Rolling Process Using Stream Functions", Journal of Materials Processing Technology, 80-81, 341-344, 1998.
2. S. J. Wu, Y. M. Hwang and M. H. Chang, "A Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Three-Roll Planetary Mill", Journal of Materials Processing Technology, 123, 336-345, 2002.
3. C. Hung and C. K. Shih, "Experimental and Numerical Analyses on Three-Roll Planetary Rolling Process", Journal of Materials Processing Technology, 142, 702-709, 2003.
4. J. K. Lee, K. B. Han, K. W. Kim, J. W. Choi, J. H. Kim and H. Y. Cho, "FEA of Copper Tube Rolling Process Using the Planetary Rolling Mill", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 34, 303-309, 2010.