

3-롤 압연 오스테나이트 결정립도 분포 예측 및 재결정 거동 분석

권혁철· 김수영*· 임용택***· 이영석****· 우종수****

Prediction of AGS Distribution and Analysis of Recrystallization Behavior in 3-roll Mill

H.C. Kwon, Y.T. Im, Y. Lee, and J.S. Woo

Abstract

Recently, the application of 3-roll mill is increasing, because of its flexibility in spread control and stand arrangements due to its compact size. But deformation characteristics and microstructural change in the process is not well known. In this study, austenite grain size (AGS) predictions were made by isothermal FE analyses and a microstructure model available in the literature. From this study, the effect of draught on the AGS characteristics was analyzed based on the divided zones of two major recrystallization behaviors.

Key Words : 3-roll Mill, Austenite Grain Size (AGS), MDRXN (Meta-dynamic recrystallization), SRXN (Static recrystallization), Draught

1. 서론

건물의 초대형화와 차량의 경량화에 따라 강재의 강도 향상의 필요성은 계속 증가하고 있으며 이에 따라 선재 분야에서 압연재의 기계적 강도를 향상시키려는 많은 연구가 진행되고 있다.

선재 분야에서는 최근 변형 제어가 용이하고 설비 소형화가 가능한 3-롤 공정 도입이 증가하고 있으나, 기존 2-롤 압연 공정에 비해 공정 특성이 그리 많이 밝혀지지 않았으므로 이에 관한 많은 연구가 필요하다. 이 분

야의 연구로는 일본의 경우 Yanagimoto 등⁽¹⁾에 의해 90년대 초반부터 연구가 수행되었으나 국내에서는 비교적 최근에야 연구 결과가 보고되고 있으며 Je 등⁽²⁾과 Lee 등⁽³⁾의 연구 결과를 꼽을 수 있다.

이러한 연구는 유한요소해석을 통해 소재 형상을 예측하고 이로부터 변형률과 압하력을 예측하는 모델을 개발하는 연구가 주를 이루고 있다. 이에 비해 소재 강도 향상을 위해 압연중의 미세조직 변화를 예측하고 이를 공정설계에 고려하여 기계적 성질을 개선하는 방향으로의 연구는 비교적 적은 실정이다.

* 한국과학기술원 기계공학과 대학원

** 한국과학기술원 기계기술연구소

*** 한국과학기술원 기계공학과

**** 포스코(주) 기술연구소 후판/선재 연구그룹

따라서 본 연구는 궁극적으로 미세조직 변화를 공정설계에 효과적으로 고려하여 생산되는 압연재의 기계적 강도를 증가시키는 것을 목적으로 설정하였다. 그러나 공정설계 기법 개발을 위해서는 우선 주요 인자들이 AGS 분포에 미치는 영향 분석이 필요하므로, 현 연구에서는 압연 인자 중 압하량을 선정하여 결정립도에 미치는 영향에 주안점을 두고 연구를 수행하였다.

압하량의 영향을 고찰하는 것이 본 연구의 목적이므로 현재로는 등온해석을 수행하였고, 결정립 분포 예측은 단 패스 공정으로 한정하여 연구를 진행하였다.

2. 미세조직 모델링

2.1 모델링 개요

본 연구에서 적용한 유한요소해석 기법은 강열점소성 유한요소해석법이며, 이를 형상 압연에 적용하기 위한 세부적인 접촉처리 기법과 공정해석 절차는 참고문헌⁽⁴⁾으로 대신한다. 본 연구의 해석 기법은 비정상 상태 해석 기법이므로 해석 도중 소재 단면적 변화를 검토하여 정상 상태의 시점을 찾는 과정이 필요하다.

Table 1에 해석 조건인 유한요소 모델, 유동응력식, 마찰 모델, 롤 속도를 나타내었으며, 공정 해석에 사용된 PC 시스템의 사양과 함께 공정별로 해석에 소요된 시간을 나타내었다.

Table 1 Conditions for FE modeling

FE model	75 elements in section	
	20 sections in length direction	
Flow stress	C = 0.1 Wt%	Shida's formula
	T = 1000 °C	
Friction	$m_f = 0.6$	constant friction model
Roll speed	34 rpm	
Computation time	case (1)	201 minutes
	case (2)	253 minutes
	case (3)	281 minutes
PC	CPU	AMD Athlon™900MHz
	RAM	256 MB

압하량을 2.9 mm (case (1)), 4.3 mm (case (2)), 5.3 mm (case (3))의 세 가지로 변화시키면서 해석을 수행하였으며, 이때 계산 효율성을 고려하여 전체 모델의 1/6 에 해당하는 60° 구간만을 모델링하였다.

본 연구에서 적용한 미세조직 모델은 Hodgson 등이 제안한 모델로 세부 내용은 참고문헌⁽⁵⁾으로 대신하며 이 모델을 유한요소해석과 통합하는 방법을 Fig. 1에 간략히 나타내었다. 유한요소해석으로 구한 변형률, 변형률 속도, 온도 데이터와 공정설계안의 패스간 이동시간과 초기결정립도 (100 μm로 균일하다고 가정)를 입력으로 결정립도가 계산된다. 부분재결정이 일어난 경우에는 재결정분률로 잔류 변형률과 결정립도가 계산되어 다음 패스의 미세조직 모델에 적용된다.

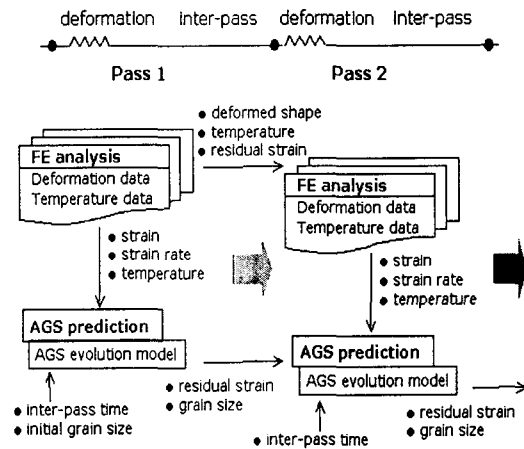


Fig. 1 Integrated AGS prediction model

2.2 대상 공정

본 연구에서 대상으로 하는 3-롤 공정은 Fig. 2에 표시한 바와 같이 롤 반경이 160.0 mm이고, 롤 공형 반경은 60.5 mm이며, 직경이 60.0 mm인 소재를 압연하는 공정이다.

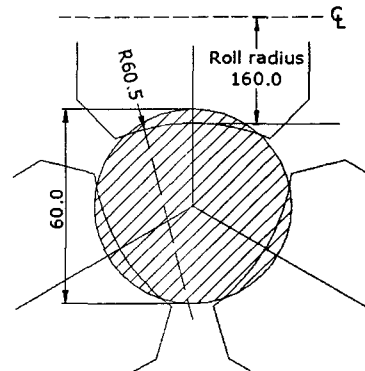


Fig. 2 Configuration of 3-roll mill (unit: mm)

3. 결과 및 고찰

3.1 예측 결과

Fig. 3에 Case (3)에 대해 예측된 변형 형상을 전체 모델로 나타내었으며 Fig. 4에는 Case (1), (2), (3)에서의 결정립도 분포를 μm 단위로 표시하였다.

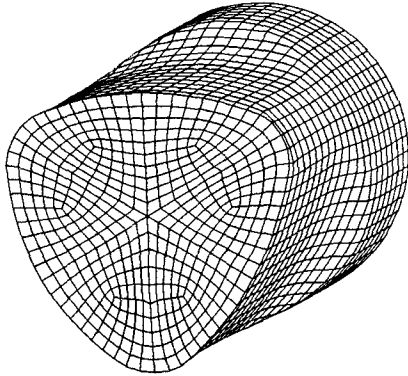


Fig. 3 Deformed geometry of case (3)

Case (1)의 경우, 결정립도는 $58\sim 89\ \mu\text{m}$ 로 전체적으로 크게 예측되었고 Case (2)에서는 $39\sim 69\ \mu\text{m}$ 로 예측되었으며 Case (3)의 경우 $38\sim 62\ \mu\text{m}$ 범위인 것으로 예측되었다. Case (1)의 경우 결정립 미세화가 더디게 진행되었으며, Case (2)와 Case (3)를 비교할 때 Case (3)에서는 결정립도가 $40\ \mu\text{m}$ 이하인 미세화 구간이 거의 절반을 차지하여 압하량이 클수록 결정립 미세화가 증가함을 알 수 있다.

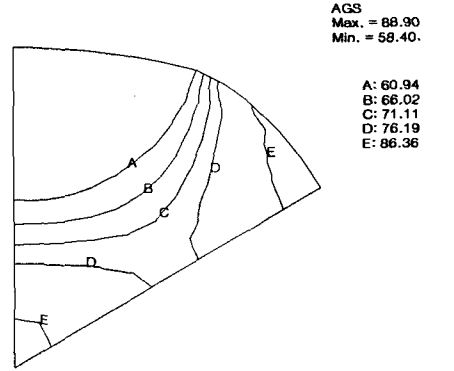
재결정 과정을 검토하기 위해 Table 1에 Case (2)의 A, B, C에서의 변형률 (SRN), 변형률 속도 (SRNT), 임계변형률 (CRTS), 정적/준동적재결정 (S/MD), 재결정분률 (X), AGS 값을 나타내었다.

Table 1 AGS predictions and the relevant parameters at three points of section

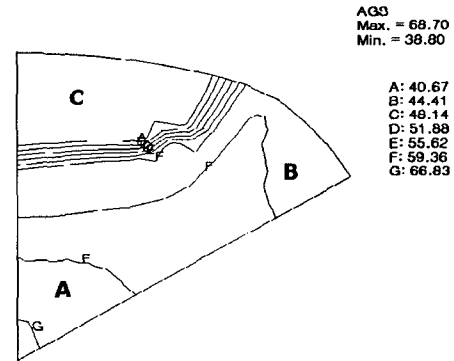
Point	SRN	SRNT	CRTS	S/MD	X	AGS (μm)
A	0.17	1.75	0.254	SRX	0.52	59
B	0.14	1.51	0.247	SRX	0.40	64
C	0.30	3.11	0.280	MDRX	1.00	39

A, B 지점은 각각 소재 중앙부와 자유 표면 (Free Surface) 구간으로 변형률이 작아 임계변형률을 초과하

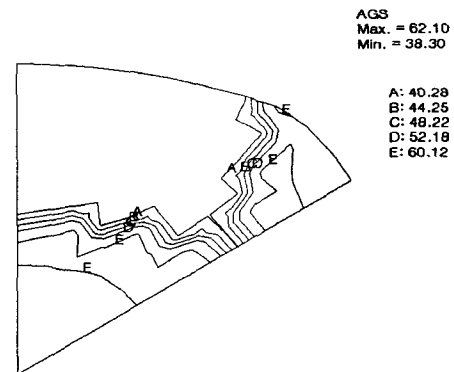
지 못해 정적재결정 (SRX)이 주도적으로 나타났으나, 변형률이 큰 C 지점에서는 준동적재결정 (MDRX)이 발생했고 $39\ \mu\text{m}$ 의 결정립도가 예측되었다. A, B 지점은 부분재결정 ($X=0.52, 0.40$)이 발생하였으나 C 지점은 완전재결정 ($X=1.00$)이 발생하였다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Predicted AGS distribution in 3 cases: (a) case (1), (b) case (2), and (c) case (3)

3.2 결과 고찰

압하량에 따른 최종 결정립도 변화를 고찰하고자 Fig. 5에 정적재결정과 준동적재결정이 발생한 구간을 분리하여 표시하였다. 그림에서 나타낸 바와 같이 결정립 미세화가 더디게 진행된 구간은 준동적재결정이 발생한 구간이며, 압하량의 증가에 따른 결정립 미세화 영역의 확장은 준동적재결정 영역의 확대로 이해될 수 있다.

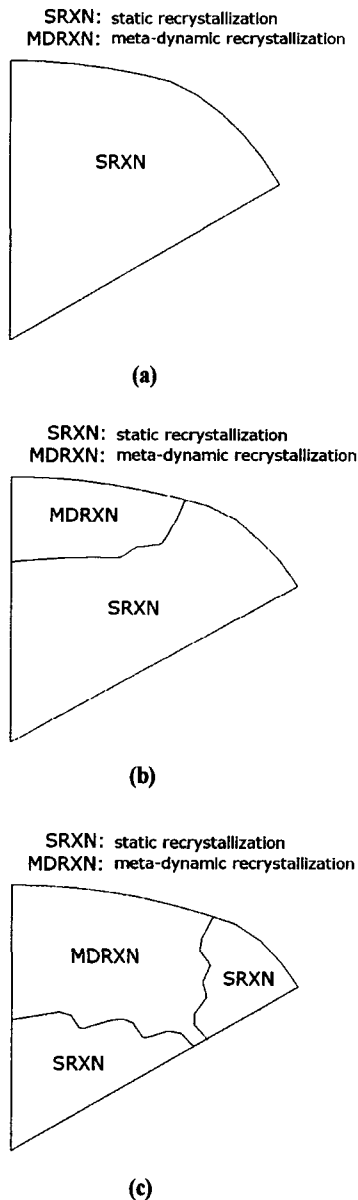


Fig. 5 Division of affected zone by recrystallization behaviors in three cases

압하량을 증가시킬 경우 결정립 미세화가 소재의 전 영역으로 확대될 것이다. 그런데 일반적인 다단패스 공정에서는 단패스 공정과는 또 다른 결정립 분포 특성을 보일 것이다. 후속 패스에서는 롤 배치를 60° 회전시켜 압연하므로 Fig. 5(c)의 경우, 정적재결정이 발생한 자유 표면 구간은 롤 접촉에 의한 변형률 증가로 준동적재결정과 이에 따른 결정립 미세화가 나타날 것이다.

이에 반해 소재 중앙부의 썩기 모양의 구간은 후속 패스에서도 변형을 적게 받으므로 결정립 미세화가 더디게 진행될 것으로 판단된다. 따라서 다단패스에서 소재의 중앙부는 비교적 큰 결정립도가 예측될 것으로 예상된다. 그러나 다단 패스의 재결정 과정에는 부분재결정과 잔류 변형률 등의 효과가 복합적으로 영향을 미치므로 다단패스에 대한 연계 해석과 AGS 예측이 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 유한요소해석과 미세조직 모델을 통합하여 3-롤 압연의 오스테나이트 결정립도 분포를 예측하는 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 현 연구의 대상으로 삼은 3-롤 압연 조건에서 롤과 접촉하는 구간을 중심으로 결정립 미세화가 시작되어 압하량 증가에 따라 미세화가 전체 구간으로 확장되는데 이는 변형률의 증가에 따른 준동적재결정 거동 영역의 확장에 따른 것으로 판단된다.

(2) 현 연구에서는 단패스 공정을 대상으로 결정립도를 검토하였으나 실제 공정은 다단패스 공정이므로 연속 압연에서의 결정립 분포 특성을 파악하는 연구가 따라야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- (1) Yanagimoto, J., Ito, T., and Liu, J., 2000, ISIJ International, Vol. 40, No. 1, pp. 65~75.
- (2) 제상현, 황상무, 2001, 한국소성가공학회 2001추계학술대회 논문집, pp. 162~165.
- (3) 이용신, 2001, 한국소성가공학회지, 제10권, 제7호, pp. 162~165.
- (4) Kim, S. Y. and Im, Y. T., 2000, Int. Journal of Forming Processes, Vol. 3, No. 3-4, pp. 253~278.
- (5) Hodgson, P. D. and Gibbs, R. K., 1992, ISIJ International, Vol. 32, No. 12, pp. 1329~1338.