

고질소강의 열간압연시 변형거동 및 압연효과

김영득[#], 김동권¹, 이종욱¹, 배원병²

Deformation Behavior & Rolling Effect on the Hot Rolling of High Nitrogen Stainless Steel

Y. D. Kim, D. K Kim, J. W. Lee, W. B. Bae

Abstract

Nowadays, It is required human body-friendly, good mechanical properties, and economical efficiency material, simultaneously. The material to meet above requirement condition rear up high nitrogen stainless steel(HNS). However, HNS have a lot of problem such as poor workability, hot crack sensitivity. So, It is needed the condition of plastic working to overcome above many problem. In this study, VIM ingot with 100kg was made by pressurized vacuum induction melting. And then, The slab perform for hot rolling was prepared by open-die forging. Hot rolling process was performed by computer simulation according to change of height reduction, rolling temperature, heating numbers, rolling pass and so forth. The results of analysis were investigated between analysis and lab-scale rolling product.

Key Words : HNS(High Nitrogen Stainless Steel), VIM(Vacuum Induction Melting), Hot Rolling, Rolling Effect, Edge crack, Rolling process.

1. 서론

1930년대 Stain Less Steel의 출현은 산업용 구조재 및 각종 기계 부품 등에 주요 소재로 사용되어 왔다. 그러나, 21세기는 환경 친화형 소재 조건을 요구하고 있으며, 더 나아가 기계적, 물리적 제반 특성을 만족하며 동시에 경제성 있는 신 소재를 주문하고 있다. 이에 부응하여 관심을 끄는 것으로는 기존 스테인레스강의 Ni 대신 다량의 질소를 함유시킨 고질소강(HNS, High Nitrogen Stainless Steel) 소재가 대두되고 있다[1],[2]. 고질소강에 대한 본격적인 연구는 1988년 프랑스 Lille에서 개최된 제 1회 고질소강 국제학술대회로 볼 수 있는데, 해외 주요 연구 그룹으로는 질소 가압용 ESR 및 고정식 몰드 성형로를 보유하고 있는 오스트레일리아의 Bohler社와 미국의 Carpenter社, 독일의 FAG社 및 일본의 Diado社가 있다. 국내 연구 그룹으로는 포스코 기술 연구소에서 자동차 부재용에 질소를 첨가한 오스테나이트계 스테인

레스강 개발 연구를 수행한 바 있고, KIMM, KERI에서도 연구 개발 추진 중이다. 해외 선진 업체는 이미 발전소의 Retaining Ring 제품에 대한 상용화 연구가 이루어져 사용되고 있다[3],[4]. 고질소강이란 평형 고용 한도보다 더 많은 질소가 투입된 강으로서, 제조 중 SO_2 가스 발생 및 재 활용성이 어려운 슬래그 발생을 상당히 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한, 고강도, 고인성, 고내식성과 같은 기계적 성질이 매우 우수하여, 미래형 소재로 떠오르고 있다. 그러나, 본 소재는 가공성 및 열간 균열에 민감하여 열간 압연 및 단조시 이를 극복 할 수 있는 소성가공 조건 설정이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 가압진공 용해방식에 의해 VIM(Vacuum Induction Melting, 이하 VIM) 잉곳을 제작 후 사각바아로 자유 단조 하여 HNS 열간 압연용 판재를 준비하였다. 이를 가지고, 열간 압연시 소재 전, 후단과 측면 및 표면 중심부의 변형 특성과 압연 효과 등을 수치해석을 통해 살펴 보았다. 이어서 준비된 350톤 압연 설비에서 열간 압연 공정 조건과 특성을 분석하였다.

두산중공업 소재기술 개발팀, youngdeuk.kim@doosan.com

1. 두산중공업 소재기술 개발팀
2. 부산대학교 정밀기계공학과 교수

2. 고질소강 소재 제작 및 물성 시험

2.1 고질소강 압연용 판재 제작

가압 진공 용해 방식(Pressurized Vacuum Melting)에 의해 100kg VIM 잉곳을 제조 하였다.

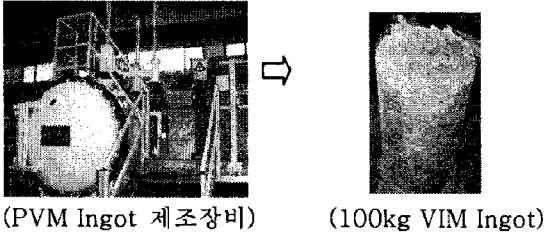
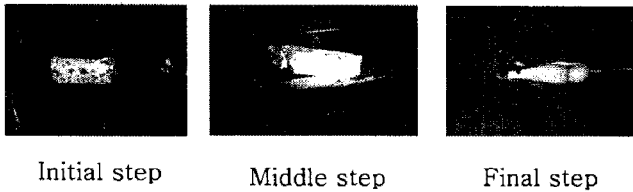
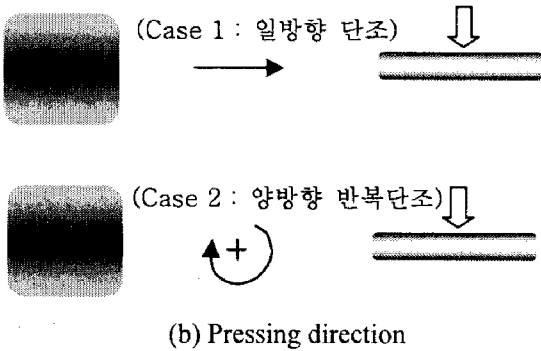


Fig. 1 Photograph of manufacturing for HNS VIM Ingot.

Fig. 1은 가압진공 용해 장비와 이에 의해 제조된 100kg VIM 잉곳 사진을 보여 주고 있다. 제조된 잉곳의 사이즈는 $\varnothing 180\text{mm} \times L460\text{mm}$ 이다.



(a) Photograph of open die forging



(b) Pressing direction

Fig. 2 Photograph of open die forging and concept diagram of die pressing direction.

Fig. 2는 준비된 VIM 잉곳을 가지고 자유 단조를 통해 Slab 단조품을 제조하기 위한 단조 사진과 다이 압하 방법에 대한 개략적인 개념도를 보여 주고 있다. Case 2는 소재 내부에 단련 효과를 증대 시키기 위해 양방향으로 바꾸어 가면서 다이 압하 한 경우이다.

2.1 재료 특성 분석

고질소강 재질은 질소 함유량에 따라 다음의 Table 1과 같이 2가지로 제조 되었다.

Table 1 Chemical composition of manufactured HNS.

강종 \ 성분	C	Si	Mn	Cr	Ni	V	N ₂ (%)
HNS-1	0.04	0.3	19	17	0.4	0.1	0.57
HNS-2	0.05	0.2	19	17	0.4	0.1	0.61

질소 함량은 5,700ppm과 6,100ppm으로서 각각 HNS-1과 HNS-2로 명명하였다. 통상, 고가의 Ni 함량이 10%대인 SS304 소재와 비교 할 때, 매우 경제성이 있음을 알 수 있다.

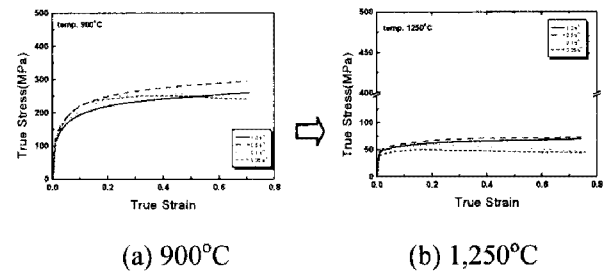


Fig. 3 Flow stress curve according to temperature and strain rate.

Fig. 3은 온도 및 Strain rate에 따른 영향을 고온 압축 시험을 통해 얻은 유동응력 선도이다. Strain rate의 영향보다는 온도의 영향이 더 지배적임을 알 수 있다.

3. 열간 압연 해석

3.1 해석 조건

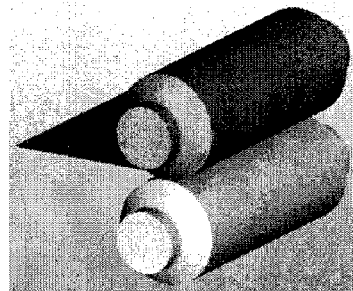


Fig. 4 Model for hot rolling.

Fig. 4는 열간 압연용 Roll 모델로서 전형적인 2-롤 구동 방식이다. 해석 대상 소재는 질소 함량 0.57%인 고질소강이 사용 되었다.

Table 1 Condition of roll and sheet.

초기 Roll		초기 Sheet		최종 목표 Size(mm)
Size(mm)	Temp (°C)	Size(mm)	Temp (°C)	
∅320×L250	250	$t_0, 14.5 \times w_0, 134 \times L_0, 217$	1,250	$t_f, 3.0 \times w_f, 134 \times L_f$

Table 1은 해석을 위한 열간 롤과 사용된 소재의 프리폼 Sheet의 초기 사이즈와 목표치수 및 온도 조건이다. 해석은 롤과 소재간의 열전달을 고려하여 Non-isothermal 해석을 수행하였다. 롤속도(Roll speed)는 평균 105 mm/sec에 마찰 계수 0.7이 사용되었다.

3.2 해석 결과 및 검토

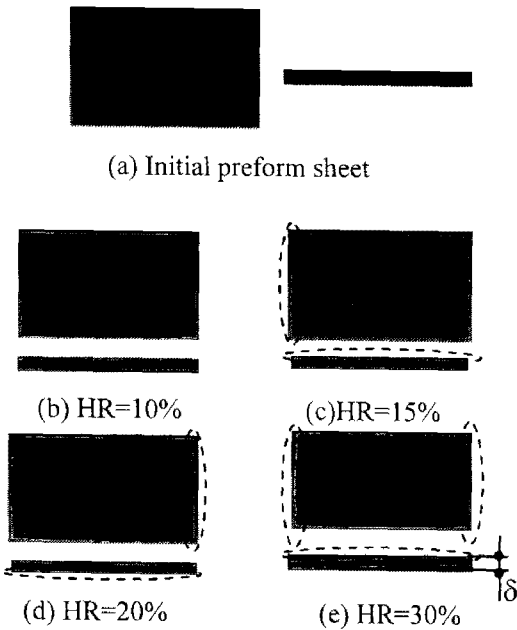


Fig. 5 State of deformation according to height reduction per 1-pass rolling.

Fig. 5는 초기 Preform sheet($t_0=14.5\text{mm}$)를 가지고 1회 압하량 변화시 판재의 변형 형상을 살펴 보았다. HR=10%는 양호한 변형 거동을 보이며, HR=30%는 판재의 선단과 Edge에서 불균일 변형과 두께 방향으로 δ 량 만큼 휘어지는 현상이 뚜렷이 발생하고 있다. HR=20%에서는 끝단과 Edge에 약간의 이상 변형이 나타나지만 미소하며 두께 방향으로의 휘어지는 현상은 나타나지 않고 있다. 따라서, HR=10%와 20% 사이인 15%로 압연 하였을 때 적절한 변형 거동 현상을 보이고 있다. 그러나, 작업성 및 생산성 등을 고려한다면 약18% 정도가 가장 적절함을 알 수 있다.

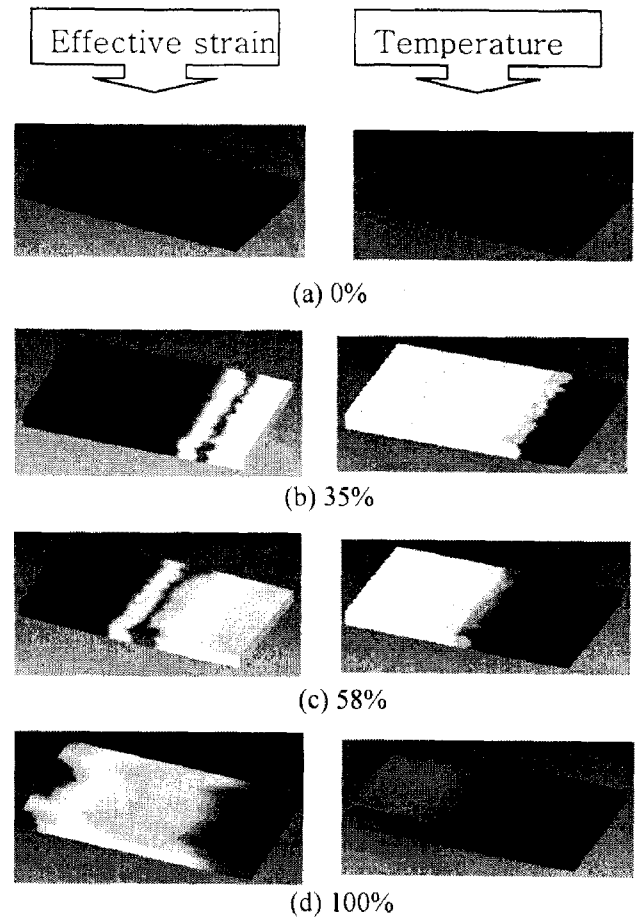
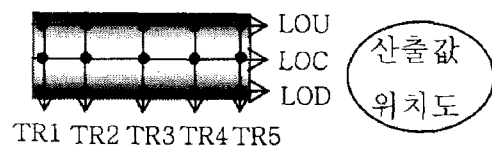


Fig. 6 Distribution of effective strain and temperature according to rolling progress, HR=15%

Fig. 6은 HR=15%에 압연 진행에 따른 유효 변형율과 온도 분포이다. 초기 진입구는 그다지 큰 변형율은 없으며 압연이 진행 되면서 점차 커지고 최종 단계인 후측 끝단부에서는 스트레인이 집중되는데, 이는 끝단부의 이상변형에 영향을 미칠 수 있다. 공정이 진행 됨에 따라 온도 분포는, 진입구가 가장 많이 냉각되고 사이드측에 냉각이 상대적으로 큰데, 이러한 현상 역시 후속 공정이 많아짐에 따라 사이드 측과 끝단부에서의 균일 변형에 불리 하다.



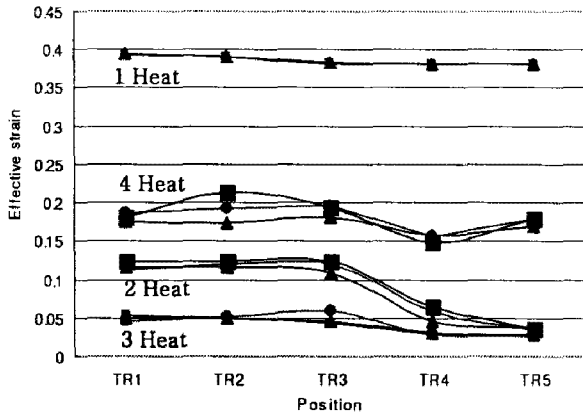
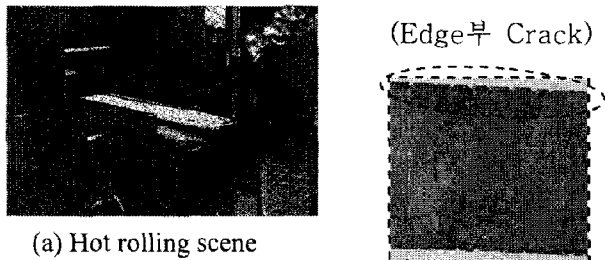
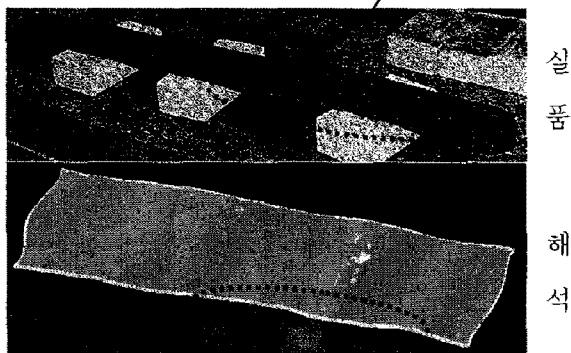


Fig. 7 Behavior of effective strain according to position at each heating step.

Fig. 7은 가열 후 최종 압연품 표면에서 Longitudinal 방향과 Transverse 방향에 따른 스트레인 값을 살펴본 선도이다. 총 4번의 재가열을 하였으며, 각 Heating시 평균 압하율은 1-Heating 15%, 2-Heating 11%, 3-Heating 8%, 4-Heating 14.1%의 압하율을 주었다. 압하율이 크면 스트레인값은 증가한다. 길이 방향으로서는 롤 진입구보다 후측부가 다소 큰 경향을 보이고, Transverse 방향으로서는 비교적 고른 압연 효과를 보인다. 그러나 마지막 4-Heat에서 TR2 방향으로 편차를 보이는데 이는 이상 변형을 일으킬 수 있는 원인이 된다.



(a) Hot rolling scene



(b) Rolling product

Fig. 8 Rolling scene and product by actual rolling and analysis.

Fig. 8은 압연기에서 수행하는 압연 장면과 생산된 압연품 및 시뮬레이션 결과를 보여 주고 있다. 최종 단계 압하율은 14.1%로 수행하였다. 해석 결과의 원형 점선에서 보면 Edge부에 불균일 변형이 나타나는데 이는 실품 생산시 Edge 균열을 초래할 가능성이 큼을 시사한다. 이러한 사실은 실 압연품을 통해서 확인 하였는데, 부분 확대도에서 보여 주고 있다. 또한, 전후측 끝단 역시 불균일 변형이 발생하는 것을 해석 및 실험에서 확인 할 수 있었다. 이는 최종 압하율 14%가 과대하며 최종 압연 단계에서는 좀 더 작은 압연 공정 선정이 필요하다.

4. 결론

고질소강(HNS)재에 대해 열간 압연 공정을 해석과 압연작업 수행을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초기 압연공정에서의 적정 압하율은 15%~20%이다.
- (2) 압연 효과는 롤 진입구보다 후미측에 스트레인값이 크며, Transverse 방향으로서는 고른 압연 효과를 보인다.
- (3) 압연 판재의 사이드측 부위와 끝단 부위는 불균일 변형이 발생하며, 이를 실험적으로 검증 하였다.
- (4) 적정 압연공정은 초반 약18%, 중반 약12%, 후반 약10% 미만이 균일 변형을 얻는데 유리하다.

참고 문헌

- [1] M. O Speidel : High nitrogen steel HNS88, J. Foct & A.Hendry(Eds.), The Institute of Metal, London, 1989, 92
- [2] K. Frisk : Z. Metallkd, 82, 1991, 59, 108.
- [3] Gerald Stein, Irina Hucklenbroich, 1997, Hot and Cold Forming of HNS, The 13th IFM pusan korea, pp. 229~244.
- [4] Gerald Stein, Joachim Menzel, 1994, Manufacturing and Operation of Retaining Rings made out of Stress Corrosion Resistant Steels, The 12th IFM, Chicago, pp. 1~10.