

TP304계 고질소 스테인레스강의 단조특성과 냉간압연 모사

이명열[#], 이종욱¹, 김병구², 김영득³, 신종호⁴

Forged Product Characteristic and Cold Rolling Simulation for High-Nitrogen Stainless Steel (HNS)

M. R. Lee, J. W. Lee, B. K. Kim, Y.D.Kim, J.H.Shin

Abstract

Several high nitrogen stainless steel ingots(100kg) were fabricated with changing Ni and [N]₂ contents by Pressurized Vacuum Induction Melting(P_VIM). After free forging process, chemical compositions, microstructure and mechanical properties were estimated. Hardness was increased with the increase of [N]₂ content. Furthermore, microstructure including a lot of tempering twins was observed with optical microscope. Mechanical properties were estimated as function of solution treatment temperature and cooling method(air/water) under duration time of 1hr on sample that were fabricated with Ni content under the atmospheric [N]₂ pressure. At solution treatment range of 1050~1100°C, hardness was decreased with the increase of solution temperature and there were little discrepancy of microstructure and hardness with cooling method. Computer simulation was carried out in order to inspect pass schedule in cold rolling process. When the condition of simulation was roll speed of 2.5mpm, rolling rate 15~17% per pass, it was ascertained that the formation such as deformation by sticking and lamellar sliver etc. was restricted from a simulation.

Key Words : High Nitrogen Steels , Eco-friendly, Microstructures, Cold Rolling Simulation, P_VIM, TP304

1. 서 론

Cr 과 Ni 을 주 합금원소로 제조되는 오스테나이트계 스테인레스강 (AISI 304, 316 등)과 동등의 기계적 특성을 나타내도록 Ni 를 질소 (N)원소로 대체하여 제조되는 합금소재인 고질소 스테인레스강(이하; HNS 강)의 출현이다. HNS 강은 최근 산업분야 외 건축, 자동차 산업, 항공우주, 치/의료용 도구 등에 수요가 급격히 증대되고 있는 오스테나이트계 스테인레스강을 대체 생산 함으로써 제조 시 원가절감, 환경 친화형 소재 및 인체에 대한 알려지 반응을 줄이는 강종으로 개발되었다.

본 연구에서는 다양한 합금설계로부터 상압

및 고압조건에서 용강 중의 질소를 용해시켜 고용도 증가 및 강괴 응고 시 질소 Blow hole 제어가 가능한 새로운 합금조성을 확보를 위해 Pilot 가압 VIM 을 이용 오스테나이트계 HNS 강의 합금원소를 변화시키고, 또한 δ-ferrite 의 생성 없는 가압조건의 설정을 통해 제조한 HNS 9 강종에 대한 물성특성평가를 완료 후 최종 후보강종 4 강종(HNS C1, C2, C3, C4)을 선택하여 강괴(100kg) 및 단조재를 제작 후 특성평가를 하였다. 이후 실용적 제조를 위해 대기압에 가까운 상압(1bar)에서 제조한 HNS C1, C3 강종에 대해 온도 및 냉각조건을 변경 용체화 처리하여 기계적 물성 확보를 위한 특성평가결과와 냉간압연시 적정한 pass

1,2,-4 두산중공업 연구)소재기술개발팀

두산중공업 연구)소재기술개발팀,

E-mail: Myungrey.l. Lee@doosan.com

schedule 의 재구성을 위한 모사실험 결과 등을 기술하였다.

2. 실험 방법

강과, 단조재 제작 및 냉연모사

가압형 VIM(P_VIM)으로 질소가압조건과 Ni 합금원소의 첨가유무 등을 달리하여 4 종류의 HNS 잉곳트를 제조한 후 열간가공에 의한 자유단조를 실시하였다. 표 1 에 각 잉곳트의 질소가압조건 및 화학성분을 나타내었다. 단조재의 질소분석 결과 3500~6500ppm 범위로 오스테나이트계 STS 특성을 보이는 결과 값을 보였다. 가압의 증가로 질소원소가 용강내의 고용도가 증가함을 보였다.

단조온도 범위 1250℃ ~ 900℃, 1pass 압하율 15%이하였으며, 재가열은 3~4 회 수행하였다. 전강종 공히 open die 를 이용한 단조재의 표면 터짐 및 균열발생은 없었다.

Table 1 Chemical composition and [N]₂ pressurized condition of HNS Steels

Elem.	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	V	N	P[N ₂]
HNS C1	0.02	0.30	9.80	0.002	0.001	0.2-0.3	17.0	0.02	0.006	0.30	1.0bar-N
HNS C2	0.02	0.30	9.80	0.002	0.001	0.2-0.3	17.0	0.02	0.006	0.30	1.0bar-N
HNS C3	0.02	0.30	10.2	0.01	0.001	2.00	18.0	0.007	0.007	0.30	1.0bar-N
HNS C4	0.02	0.30	10.2	0.01	0.001	0.2-0.3	18.0	0.007	0.007	0.60	4.0bar-N

단조재의 초기 냉간압연 모사조건은 초기 판재(sheet)두께 3.0mm, pass 수 8~10 회, 누적 압연을 80% 이상, 평균변형속도 7~10/s 로 설정한 후 최종두께인 0.5mm 로 하였다. 기존 9 강종에서 HNS 강의 실제 냉간압연은 12~14 pass, 누적 압연을 70% 이상으로 실시하였다. 본 연구에서는 실용적인 측면으로 냉연 압연을 증가시켜 pass 회수를 줄이는데 있으므로, roll 속도, pass 당 압연 압하율을 증가시키고 냉연작업 과정에서 발생될 수 있는 고착현상, lamella 성 sliver, 주름(wrinkle) 및 edge 균열발생 등 결함 방지를 위해 최적의 냉간압연 조건을 설정하여 적절한 pass schedule 를 구성하는 모사실험 수행의 목적을 두었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 단조재 미세조직 관찰

그림 1 은 단조재에 대한 강종별 미세조직

을 관찰한 것이다. 전반적으로 HNS 4 강종 공히 결정립계를 따라 탄질화물의 석출이 관찰되며, 질소함량 및 가압의 증가에 따라 열간가공 변형에 의해 재결정 발생에 의한 소둔쌍정(annealing twin) 생성이 많은 미세한 조직을 보였다. Ni 을 첨가한 HNS C3 의 경우 fcc 구조를 지닌 오스테나이트 조직이 Ni 를 첨가하지 않은 강종에 비해 석출물이 침상 형태를 보였다. 또한 길게 연신된 섬유상 조직의 증가로 인성향상이 기대되리라 생각된다. 단조에 의한 기계적 쌍정의 분포는 결정입내에서 관찰되었다.

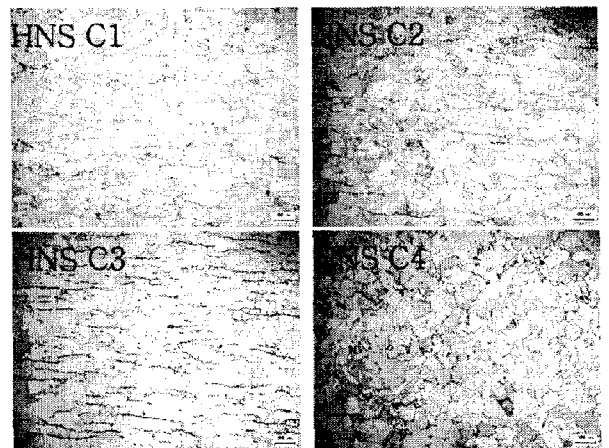


Fig. 1 Optical microstructures of various HNS

3.2 단조재 경도 및 결정립크기 변화

상온에서 4 강종에 대해 5 회 측정 후 산술 평균된 경도시험 결과를 그림 2 에 나타내었다. 질소함량이 높고, 가압을 4bar 로 제조된 HNS C4 강종이 약간 높은 값을 보이나, 전 강종에서 경도의 편차는 없으며, HRC 20~25 값을 보였다.

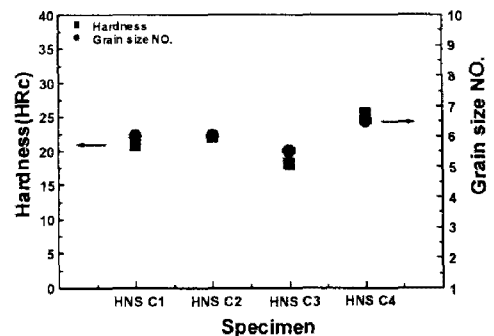


Fig. 2 The change of hardness(HRC) various HNS

3.2 단조재 인장시험

그림 3 은 HNS C1, C3 단조재(Ni 유무)에 대한 상온 인장시험 결과를 나타낸 것이다. Ni 첨가 HNS C3가 Ni 미첨가 HNS C1 보다 인장 및 항복강도가 낮으며, 질소함량 분석 결과 함량이 높은 HNS C1 강종의 강도가 증가하였고, 연성적인 측면으로는 Ni 첨가한 HNS C3가 C1보다 높았다. 한편 인장 또는 항복강도와 연신율과의 조합(TS or YS x EI)은 소재 가공성을 평가하는 하나의 지표로서 값이 높을 경우 가공특성이 양호한 것으로, 그림 3의 (C)의 강도 - 연성 조합에서 HNS C3이 우수하며, 특히 열간 및 냉간 가공성 측면으로 HNS C1에 비해 유리하다고 판단된다.

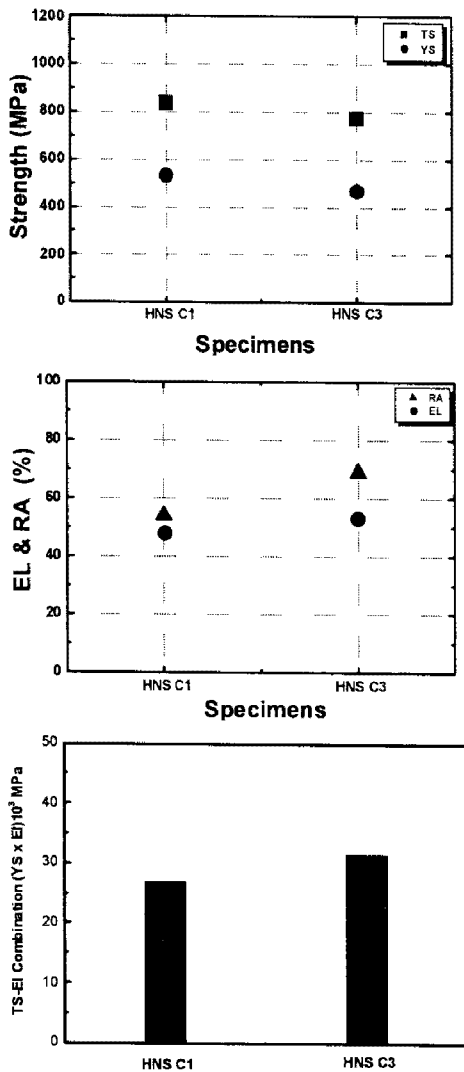


Fig. 3 Strength and TS-EI Comb. with HNS C1,3

3.3 용체화 처리재 경도변화(Hv)

용체화처리 후 경도변화를 나타낸 그림4

에서 전반적으로 용체화 처리 온도가 증가할수록 경도가 감소하고 있다. HNS C1이 C3보다 약간 상위하는 경도 값을 보이는데, 이는 질소함량이 높음에 따라 인장 및 항복강도의 증가와 잘 일치하고 있다. 전반적으로 냉각조건(수/공냉)의 차이에서 오는 경도 편차는 거의 없었다.

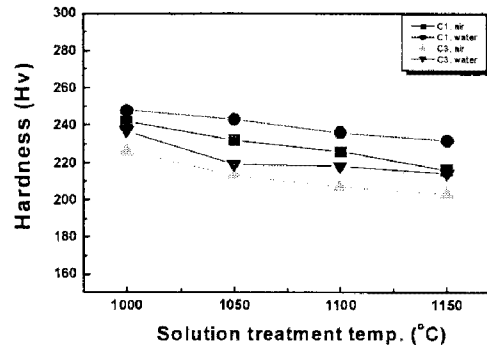


Fig. 4 Hardness as for solution treatment temperature with HNS C1,3

3.4 용체화 처리재 미세조직 관찰

그림5에 수냉과 공랭 냉각조건 변경에 따른 대표적 온도 1100°C에서 용체화 처리한 미세조직 변화를 나타내었다. Ni 미첨가 강인 HNS C1의 경우가 Ni 첨가강인 HNS C3보다 미세하며, 냉각방법에 따른 미세조직의 차이는 거의 없으며, 전반적으로 조직의 미세함과 결정립의 균질화 및 etch pit 발생의 유무 등으로 보아 적절한 용체화 처리 온도범위는 1050°C~1100°C이다.

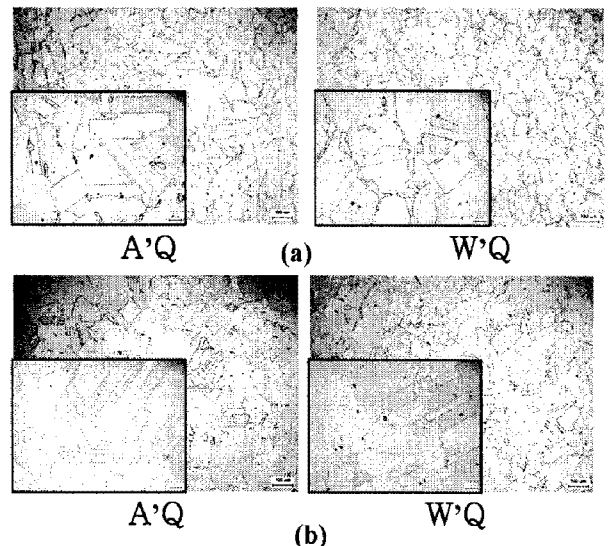


Fig.5 Optical microstructures after solution treatment
a) HNS C1, b) HNS C3

3.5 냉간압연 모사실험

그림6은 냉간압연을 실시하기 전 압연pass schedule 검증에 위한 모사실험 결과이다.

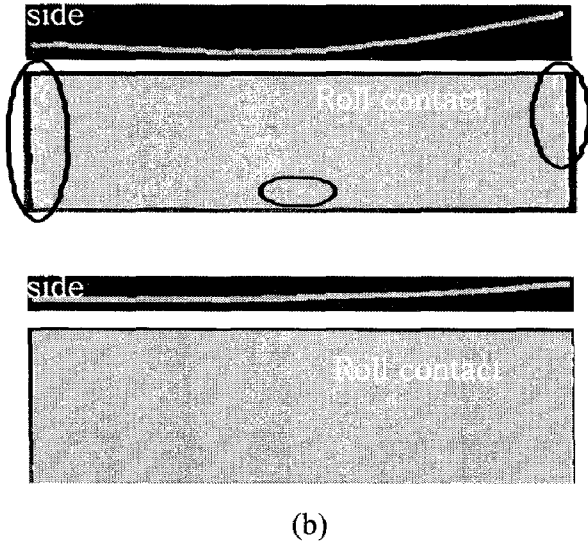


Fig.6 Results of simulation as for pass schedule
a) Vr 3.9mpm / Hr 20%, b) Vr 1.9mpm / Hr 15%

초기 roll 속도(Vr)를 3.9mpm, 압연율(HR) 25%의 경우 roll과 피압연재간의 고착(sticking)현상 발생으로 변형발생이 예측되며, 피압연재의 직진성이 나빠짐을 알 수 있다. 또한 roll 입측과 출측에서 판꼬임, 주름(wrinkle) 유발할 수 있다. 소재표면에서는 ridging 또는 lamella성 sliver발생이 우려 된다. roll 속도와 압연율을 저감한 결과 냉연 시 발생할 수 있는 고착현상, 변형(bending-up) 및 결함 발생이 감소로 인해 피압연재의 직진성이 양호하다. 따라서 실용적인 측면에서 냉연작업의 적정조건은 roll속도 2~2.5mpm, 압연율 15~17%가 적정범위이다.

4. 요약

오스테나이트계 고질소 스테인레스강 4가지 후보강종인 HNS C1, C2, C3, C4에 대해 질

소함량, 가압조건 따른 단조재와 온도 및 동일한 가압조건에서 Ni 합금원소 첨가유무에 따른 용체화 처리재(HNS C1, C3)의 물성평가와 실제 냉연 공정의 pass schedule 검증을 위한 모사실험을 통해 다음과 같이 요약 하였다.

- 1) 가압증가에 따른 질소함량의 증가로 강도 및 경도가 동시 상승하며, 결정립의 미세화 및 기계적 쌍정 발생이 많았다. 동일한 가압조건에서 Ni 첨가된 HNS C3가 Ni 미첨가한 HNS C1보다 강도-연성 조합 평가에서 열/냉간 가공성 등의 특성이 우수하였다.
- 2) 고질소강 스테인레스강의 적정한 용체화 처리온도 범위는 상용화된 AISI304와 유사한 1050℃~1100℃이며, 용체화처리 후 냉각방법의 변경(수냉과 공냉)에 따른 경도의 편차는 없었다.
- 3) 냉연 pass schedule 검증을 위한 모사실험에서 초기 압연의 최적조건은 roll속도 5mpm, pass당 압연율 15~17%였다.

5. 참고문헌

- [1] T. Masahara Tokizane : Scripta Met., 22(1988) 697
- [2] 김성준, 이태호, 오창석, 이창길 : 기계와 재료, 제 14 권, 2 호(2002) 80p.
- [3] R.P Reed & N.J .Simon, HNSteels 88 , Lille, France, May 1988,, The Institute of Metals(1989) p.180
- [4] 하대진, 김용진, 이성학 : Vol.46, No.9, pp. 593~603(2008)
- [5] High-quality steel hot/cold rolling, MARCEL, INC (1993)
- [6] M.O Speidel : High Nitrogen Steels, HNS88, J.Foct & A. Hendry(Eds.) The Institute of Metals, London(1989) 9