

오스테나이트계 고질소 스테인레스 강의 열간 및 냉간 압연특성

이명열[#], 이종욱¹, 김동수², 김병구³, 김동권⁴, 김영득⁵, 차도진⁶

Hot and Cold Rolling Characteristic with High-Nitrogen Steel of Austenitic Stainless(HNS)

J. W. Lee, D. S. Kim, B. K. Kim, D.K. Kim, Y.D.Kim, D.J.Cha. M. R. Lee

Abstract

At 21st century, material development concepts were changed to fulfill the environmental friendly demands. This study is to study the effect of pressurized nitrogen gas and manganese in high nitrogen austenitic stainless steel(HNS) in which N and Mn elements substitute the nickel element. 100kg HNS ingots were made by Pressurized Vacuum Induction Melting(P-VIM) and were forged according to free forging process. As forged HNS were hot and cold rolled by pilot scale rolling machine. Depending on the rolling condition, the mechanical properties of HNS were changed. The roll thrust and sheet folding showed asymmetry condition between work and drive side during cold and hot rolling. The purpose of this study are to improve workability the hot and cold rolling machine and to set the conditions for establishing the rolling process.

Key Words : High Nitrogen Steels , Eco-friendly, Strain rate, Hot / Cold Rolling, austenitic stainless steels, P_VIM, Workability, Mechanical properties

1. 서 론

21 세기는 환경의 시대라고 부를 정도로 환경을 고려한 새로운 개념의 기술개발로의 변화가 요구되고 있다. 이러한 맥락에서 제기된 환경 친화형 재료(ECO-friendly material)의 개발은 자원 재생율(recycleability)을 극대화하고 물리적, 기계적 특성, 내식성 등 제반 특성 향상에 주안점을 두었던 기존의 재료개발과 함께 재료비 저감화 및 신공정 개념이 부가된 것이다.

본 연구에서는 가압형 VIM(P_VIM) 오스테나이트계 고질소 스테인레스강(이하 ; HNS)의 잉곳트(100kg)를 제조 하였다. 잉곳트의 균질화 처리 후 열간 자유단조를 수행하였다. 단조재를 압연하기 위한 초기판재 두께로 절단하였고, Pilot 압연기

를 이용하여 열연 및 냉연을 수행하였다. 압연 중에는 Zenner -Hollomon의 변형 저항식인

$$Z = \dot{\epsilon} \exp(Q/RT)$$

($\dot{\epsilon}$: strain rate, Q : activation energy, R : universal gas constant, T: temperature(°C))

을 적용하였다. 열연시 유동응력은 Bland와 Ford가 제창한 이론식 $\sigma = k(\dot{\epsilon})^m$

(k: 상수, $\dot{\epsilon}$: strain rate, m : 변형민감지수)을 적용하였고, 냉연은 Stone의 압연식

$$P_{avg.} = \sigma (h_{avg.}/\mu L)(e^{(\mu L/h_{avg.})}-1)$$

(μ :마찰계수, L:롤 접촉호 투영길이, $h_{avg.}$:평균 draft량)을 적용 하였다. HNS의 열/냉연계 특성은 오스테나이트계 TP304/316과 상호 비교 평가 하였다.

1,2,~6 두산중공업 연구소재기술개발팀

두산중공업 연구소재기술개발팀,

E-mail: Myungreyl.Lee@doosan.com

2. 시험 방법

가압형 VIM 으로 질소가압조건과 Mn 함량이 서로 다른 3 종류의 잉곳트(HNS A B, C, 각 100kg)를 제조한 후 열간에서 자유단조 하였다. 표 1 은 각 잉곳트의 질소가압조건 및 화학성분을 나타낸다. 단조재의 질소분석 결과 4000~ 5300ppm 으로 이는 오스테나이트계 스테인레스강 특성을 보이는 결과 값이다.

Table 1 Chemical composition and $[N]_2$ pressurized condition of HNS Steels

Mat'l	$[N]_2$ (bar)	Chemical Composition (wt%)								
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N(ppm)
HNS A	1.00	0.04	0.49	15.2	0.006	0.007	0.47	18.06	0.28	4028
HNS B	2.70	0.04	0.42	9.43	0.004	0.007	0.45	18.34	0.27	5247
HNS C	1.20	0.04	0.53	18.45	0.005	0.008	0.42	17.58	0.55	4318

단조재의 열연 조건은 초기 판재두께 14.5 mm, pass 수 8 회, 누적 압연율 70% 이상, 압연 중 heat 수 3 회, 평균변형속도 10 ~15/s 로 설정한 후 최종판재두께인 2.4mm 로 제작하였다. HNS A, B 의 경우 냉간 압연 조건은 12pass 이상, 누적 압연율 70% 이상으로 실시하였다. 여기서 HNS A 는 단조판재 초기두께 7.18mm 로부터 열연을 통하여 2.4 mm 의 열연판재로 한 후 냉연을 하여 최종 0.5mm 두께의 박판을 제조 하였고, HNS B 는 열연공정을 거치지 않고, 단조판재 초기 두께로부터 냉연을 하여 최종두께 2.0mm 로 하였다. 이들 열연 및 냉연판재를 이용하여 압연재에 대한 특성평가를 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열연 heat 수 및 roll pass 따른 압연력 변화

그림 1 은 HNS A 와 C 에 대한 Heat 수와 pass 증가율에 따른 roll 의 압연력(separate force)변화를 나타낸 것이다. 동일한 pass 수로 압연하는 과정에서 압연력이 증가하는데, 이는 압연재가 얇아질수록 roll 과의 접촉압력(p)의 상승하고, 압연판재의 온도저하와 함께 변형량 증가에 따른 전위밀도 및 변형에너지가 증가하기 때문이다. 그림 2 는 HNS A 와 C 의 압연온도 변화에 따른 압연재의 모서리 균열발생 유

무를 나타내었다. HNS A 의 경우 소재 압연 온도가 850°C이하로 저하함에 따라 균열이 발생되었으나, HNS C 의 경우에는 열연시 소재 온도가 850°C 이상 유지함에 따라 모서리 균열 발생을 피할 수 있었다. 열연시 압연재 온도는 850°C이상을 유지하고, 열연온도가 저하하면 압연량을 감소시켜, 모서리 균열 민감성을 낮추는 것이 바람직하다.

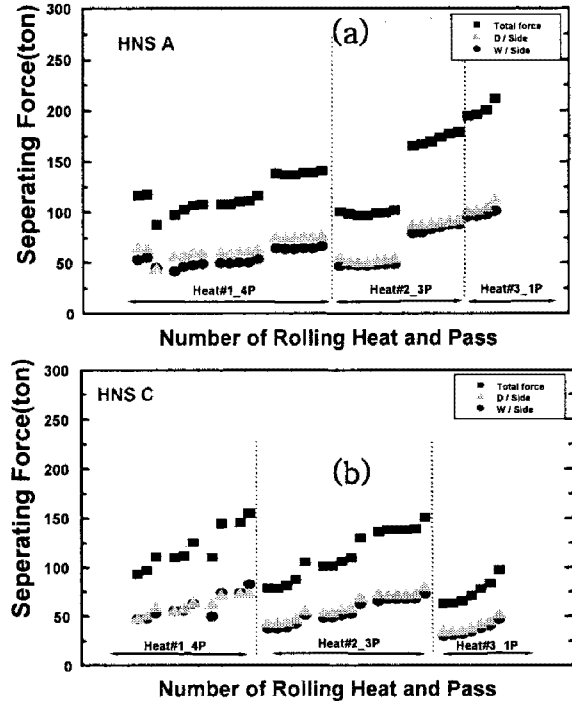


Fig.1 The change of separate force during hot rolling a) HNS A, b) HNS C

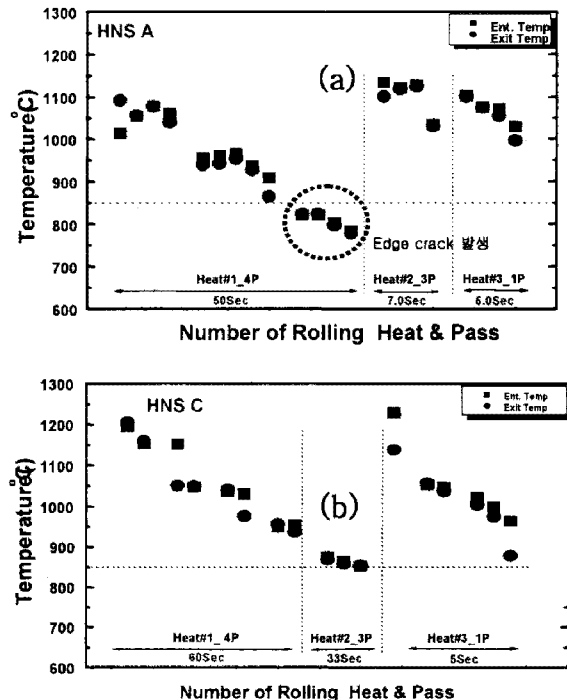


Fig.2 Crack generation with respect to hot rolling temperature a) HNS A, b) HNS C

3.2 열연재의 신장비 및 폭 퍼짐

열연재에 대한 신장과 폭퍼짐에 대한 결과를 그림 3에 나타내었다. 각 소재 모두 3.0 이상의 신장비를 나타내며, 폭 퍼짐율은 HNS C가 HNS A, B에 비해 증가하는 반면, 신장비는 감소함을 보여준다.

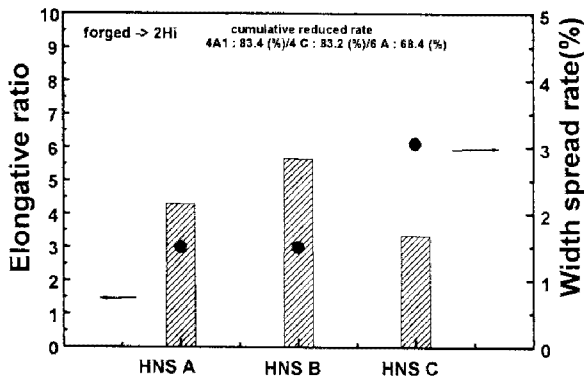


Fig.3 Relation of elongative ratio and width spread rate about various HNSteels

3.3 냉연시 roll pass 수에 따른 압연력 변화

그림 4에 냉연시 HNS A, B에 대한 pass의 증가에 따른 압연력 변화를 보여주고 있다. 압연 pass 수 증가에 따라 압연력이 크게 증가하는 것은 냉연재의 전위밀도 증가가 변형경화에 의한 가공경화에 기인한다. 또한 HNS A가 B에 비해 압연력 증가가 높은 것은 열연공정을 거친 HNS A의 초기두께(2.4mm)가 B(7.18mm)에 비해 얇아서, roll과 소재간의 압연압력(p), 접촉력 등이 높기 때문이며, 8pass 이후에는 일정한 값을 보인다.

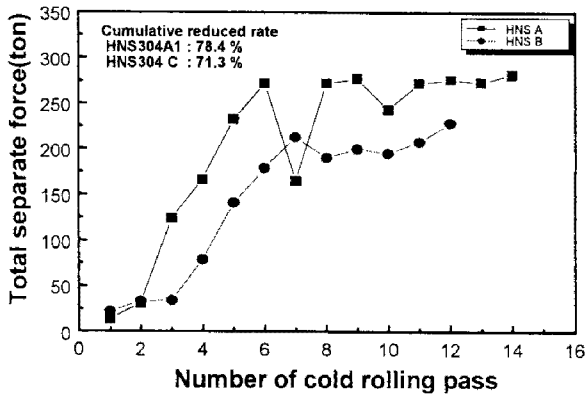


Fig.4 The change of separate force during cold rolling

3.4 냉연재의 방향에 따른 인장강도

냉연재의 압연방향에 따른 인장강도 결과를 그림 5에 나타내었다. HNS A, B 모두 TP304, 316 Spec. TS ≥ 520 MPa, YS ≥ 203 MPa 보다 3.5 배 이상 값을 나타내며, 압연방향성에 따른 차이는 없었다. 또한 누적 압연율은 B가 A보다 낮으나, B의 인장강도 값이 높은 것은 고용강화에 기여하는 질소가 많이 함유되어 가공 경화율이 증가 되었기 때문이 사료된다. 또한 B는 단조재에서 열연공정 없이 바로 냉연공정을 함으로서 초기 전위밀도나 변형에너지가 높았기 때문이라고 판단된다.

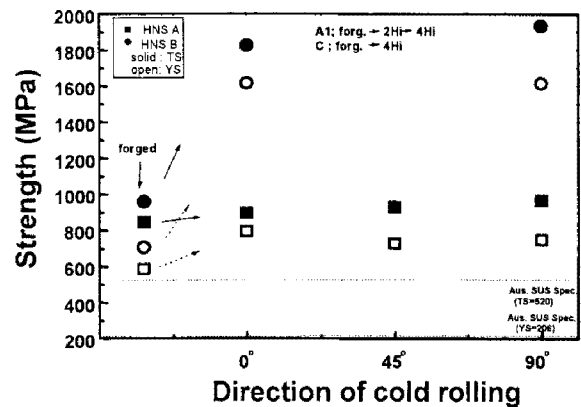


Fig.5 Results of strength with respect to cold rolling direction

4. 결론

오스테나이트 고질소 스테인레스강(HNS)에 대한 열연 및 냉연특성은 기존의 TP304, 316 소재에 비하여, 열연소재는 1.5~2.5 배의 인장강도를 보여주고, 냉연재는 3.5 배 이상의 인장강도를 나타낸다. 또한 열연특성은 온도제어와 변형량 제어를 통하여 성공적인 압연이 가능하고, 냉연재의 경우는 변형량 제어로서 충분한 박판제작이 가능함을 보여 주었다.

5. 참고문헌

- [1] M.O Speidel : High Nitrogen Steels, HNS88, J.Foct & A. Hendry(Eds.) The Institute of Metals, London(1989) 9
- [2] 김성준, 이태호, 오창석, 이창길 : 기계와 재료, 제 14 권, 2 호(2002) 80p.
- [3] High-quality steel hot/cold rolling, MARCEL, INC (1993)