

고질소강 오스테나이트계 스테인레스강의 압축변형특성

이종욱¹. 김동수². 김병구³. 이명열[#]

Deformation Characteristic by Compression in High-Nitrogen Austenitic Stainless Steel

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

Abstract

Compression tests were carried out to investigate morphologies of compressed specimen, deformation microstructure and stress-strain relation in high-nitrogen austenite stainless steel. Tests were performed under a wide range of temperature and, with true strain rates up to $\dot{\epsilon} = 0.05, 0.1, 0.5$ and $1.0s^{-1}$. The activation energy of loading force was equal to plastic deformation energy within the temperature range of $900^{\circ}C$ to $1250^{\circ}C$. Dynamically recrystallized grain size decreased with an increasing strain rate and temperature. Flow stresses and deformation microstructures, were used to quantify the critical strain rate and recrystallized grain size. The grain size versus strain rate-temperature map obtained in the study was in good agreement with the deformation microstructures of compressed specimens.

Key Words : High Nitrogen Steel , Compression, Morphology, Deformation structure, Strain rate, Dynamic recrystallization, Stress-strain curves

1. 서 론

잉곳트의 단조 및 단조 반제품의 압연은 동적(dynamic)인 상태와 정적(static)인 상태가 반복되는 변형 공정이다. 이와 같은 재료변형은 온도, 변형률(strain rate; 1/s) 및 변형량 등의 변수에 의존하며, 다음과 같은 식(1)로 나타낸다. 이러한 변형공정변수에 의한 재료의 압축변형특성은 단조 및 압연 변형 과정에서 동적 재결정이 일어나는 시점 및 속도를 예측하여 결정된다.

$$\sigma = \sigma(\epsilon, T, \dot{\epsilon}) \quad (1)$$

(ϵ : 소성변형속도, T : 변형온도, $\dot{\epsilon}$: 진변형률)

변형된 재료의 유동응력거동은 주어진 온도 및

변형속도에 의해 결정되며, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\epsilon} = Af(\sigma)g(T) \quad (2)$$

(A: 구조의존함수, $f(\sigma)$: 응력함수, $g(T)$: 온도항으로 exponential 함수)

본 연구에서는 가압형 VIM을 이용하여 오스테나이트계 고질소 스테인레스강(이하 고질소강)의 잉곳트를 제조한 후 균질화처리를 하였다. 이 잉곳트로부터 채취한 압축시편을 열간재현시험기(이하 HDS)를 이용하여 온도, 압하량 및 변형속도에 따른 변형거동과 미세조직 변화를 분석하였다. 이들 변형변수에 따른 단조가능온도범위는 압축 S-S곡선, 실체현미경 사진, 변형 미세조직 및 변형률 등을 고려하여 결정하였다.

1,2,3 두산중공업 연구소재개발팀

두산중공업 연구소재개발팀,

E-mail: Myungreyl.Lee@doosan.com

2. 시험 방법

80kg 고질소강 잉곳트를 1.68bar 질소가압하에서 VIM 을 이용하여 제조하고 균질화처리를 하였다. 그림 1 은 고질소강 잉곳트로부터 길이방향으로 채취한 시험편형상을 나타낸다. 이들 압축시험편은 고온압축시험에서 상/하부 die 와의 마찰을 줄이기 위해 표면연마(3 μm 이상)를 실시하였다.

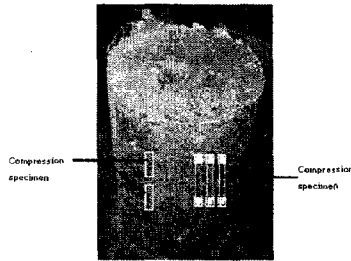


Fig. 1 Photography of HNS ingot(80kg) and configuration of specimen

압축시험조건은 압하량 50%로 고정하고, 시험온도 800 $^{\circ}\text{C}$ ~1250 $^{\circ}\text{C}$ 온도범위에서 1.0S $^{-1}$, 0.5S $^{-1}$, 0.1 S $^{-1}$, 0.05 S $^{-1}$ 로 변형율을 변화시켰다. 압축시험편의 재균질화를 위하여 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 의 승온속도로 1200 $^{\circ}\text{C}$ 까지 승온시킨 후 15min. 유지하였다. 그 후 각 시험온도로 냉각하여 10min.유지하고 압축시험을 하였다. 또한 단조가능 최저온도를 구하기 950 $^{\circ}\text{C}$ ~980 $^{\circ}\text{C}$ 온도범위에서 10 $^{\circ}\text{C}$ 간격으로 압축을 하였다. 이때의 변형율은 1.0S $^{-1}$ 고정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 유동곡선

그림 2 는 압축온도 및 변형율에 따라 고온압축 시험한 시험편의 실제현미경 사진이다. 모든 조건에서 미미한 좌굴현상이 나타나고 있는데, 이러한 좌굴현상은 소재의 불균질화에 기인할 가능성이 크므로, 균질화에 대한 검토가 필요하다.

그림 3 은 900 $^{\circ}\text{C}$ 와 1250 $^{\circ}\text{C}$ 의 압축온도에서 변형율에 따른 진변형과 진응력의 관계를 나타낸 것이다. 유동곡선을 살펴보면, 초기에 변형이 진행됨에 따라 응력의 상승이 급격히 발생하다가 피크 응력에 도달한다. 고온압축영역에서는 가공연화가 발생하고, 저온압축영역에서는 가공경화가 발생하는 형태를 관찰할 수 있었다. 즉 변형온도

가 낮고(900 $^{\circ}\text{C}$ 이하), 변형율(0.1S $^{-1}$ 이상)이 증가할수록 가공경화가 발생함을 알 수 있었다. 따라서 압축가능 최저온도 범위는 900 $^{\circ}\text{C}$ ~1,000 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도구간에서 낮은 변형율조건이 재료의 동적재결정을 야기함을 알 수 있었다. 압하력은 동일한 온도 조건에서는 변형율이 낮을수록 저하하며, 변형온도가 증가할수록 고온에서의 가공연화가 쉽게 발생됨을 알 수 있었다.

Temp. (°C) / Strain rate (S ⁻¹)	800	900	1000	1100	1200	1250
1						
0.5						
0.1						
0.05						

Fig.2 The shape of specimen after compression test with various temperature and strain rate

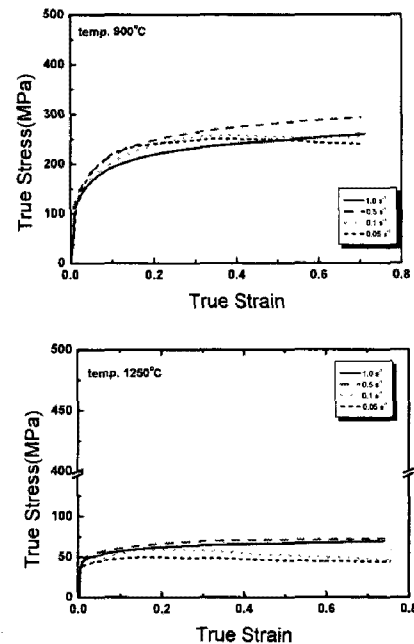


Fig.3 Results of strain-stress curve with various temperature a) 900 $^{\circ}\text{C}$, b)1250 $^{\circ}\text{C}$

3.2 변형속도에 따른 유동곡선

변형율에 따른 진변형율과 진응력의 관계곡선을 그림 4 에 나타내었다. 저온압축영역에서는 전반적으로 변형율이 증가할수록 가공경화가 일어나고 있으며, 변형율 0.1S $^{-1}$ 이하, 900 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 변형온도에서 재료의 동적재결정에 의한 가공연화가 발생하고 있다. 즉 변형율이 낮고, 변형온도가 증가할수록 가공연화가 일어남을 알 수 있

다. $1.0S^{-1}$ 의 변형율과 $950^{\circ}C$ 이상의 변형온도에서 가공경화가 발생하므로, 단조종료온도는 $950^{\circ}C$ 부근에서 결정할 수 있다. $950^{\circ}C$ 부근에서 정확한 단조종료온도를 결정하기 위해 압하율과 변형율을 각각 50%, $1.0S^{-1}$ 로 고정하고, $950^{\circ}C \sim 980^{\circ}C$ 의 변형온도 범위에서 $10^{\circ}C$ 간격으로 압축시험을 수행하였다. 그 결과는 그림 4에서와 같이 진응력-진변형율곡선으로 나타내었다. 동적재결정에 의한 가공연화가 $950^{\circ}C$ 이상의 변형온도에서 일어나고 있으므로, 최적 단조종료온도는 $950^{\circ}C$ 로 선정하는 것이 바람직하다.

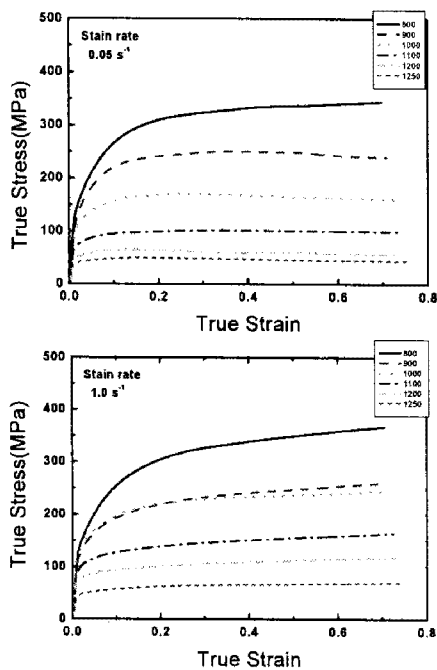


Fig.4 Results of strain-Stress curve with various strain rate a) $0.05S^{-1}$, b) $1.0S^{-1}$

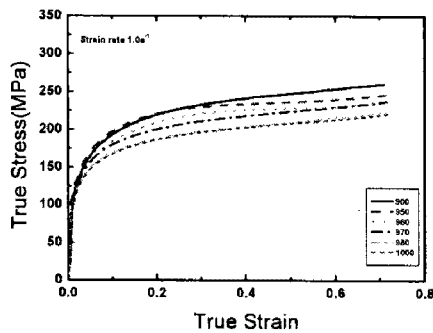


Fig.5 Results of strain-stress curve with various temperature at the strain rate $1.0S^{-1}$

3.3 압축변형 미세조직(Microstructure)

소재의 동적재결정 거동 및 결정립 성장에 대한 조사는 최적의 단조공정 조건을 설정하는데 매우 중요하다. 압하율 50%, 변형율 $1.0S^{-1}$ 로 고정하고 단조가능온도를 구하기 위해 $900^{\circ}C \sim 1250^{\circ}C$ 의 온도 범위에서 압축시험한 시편을 절단하여 중심과 표면부의 조직변화를 관찰하였다. 그 결과를 그림 6에 나타내었다.

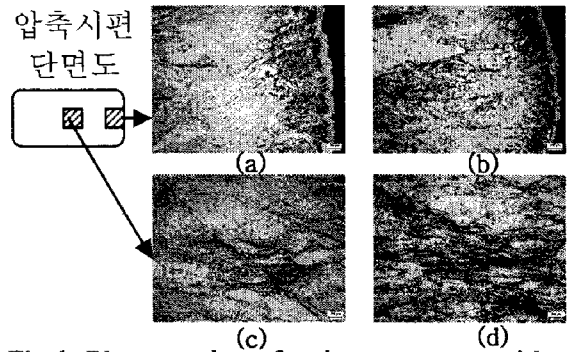


Fig.6 Photography of microstructure with surface after compression tests a),c) $900^{\circ}C$ b), d) $950^{\circ}C$

그림 6의 (a), (c)는 압축변형온도가 $900^{\circ}C$ 인 경우로 중심부는 결정립이 단조에 의해 연신은 일어나지만, 압축에 의한 동적 재결정은 발생하지 않았다. 표면부는 주조조직에 가까운 상태를 보여준다. (b), (d)는 압축변형 온도가 $950^{\circ}C$ 인 경우로 동적 재결정이 일어나고 있으며, 본래의 결정입계들은 동적 재결정에 의해 거의 소멸 됨을 알 수 있다.

4. 결론

고질소강(HNS)소재에 대한 고온압축시험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 변형율이 낮을수록 단조성이 양호하며, 단조초기온도는 $1250^{\circ}C \sim 1270^{\circ}C$, 단조마감온도는 $950^{\circ}C$ 로써 최적의 단조 온도구간은 $950^{\circ}C \sim 1250^{\circ}C$ 임을 알았다.

5. 참고문헌

- [1] M.O Speidel : High Nitrogen Steels, HNS88, J.Foct & A. Hendry(Eds.) The Institute of Metals, London(1989) 92.
- [2] K.Frisk : Z. Metallkd., 82(1991) 59, 108