

# 냉간 비조질강의 바우싱거 효과에 미치는 변형량의 영향

하재근· 권용남· 김상우· 이영선· 이정환

## Pre-strain Effect on the Bauschinger Phenomenon of Non-Heat Treatable Cold Forging Steel

J. G. Ha, Y.-N. Kwon, S. W. Kim, Y. S. Lee and J. H. Lee

### Abstract

Since the required strength of forged part is achieved by work hardening with the accumulation of plastic strain during the cold working, severe load can be exerted on die system. So, dies are liable to the early fracture for the non-heat treated steel forging in comparison with the conventional mild steels. Therefore, it is necessary to lower the flow stress of steels as much as possible during forging steps. Bauschinger effect can be utilized to lower flow stress during forging steps by giving the tensile prestrain on the forging billet during wire drawing step. In the present study, the prestrain effect on Bauschinger phenomenon is studied to avoid difficulties with application of non-heat treated cold forging steels in practice.

**Key Words** : Bauschinger effect, non heat-treated forging steel, cold forging

### 1. 서 론

비조질강은 단조 후 담금질(quenching) 및 뜨임(tempering) 처리를 생략함으로써 단조품 생산에 필요한 에너지를 혁신적으로 절감할 수 있다. 특히 장축 제품들에 비조질강을 적용할 경우 담금질시 발생하는 열처리 변형을 효과적으로 방지할 수 있기 때문에 비조질강의 적용이 크게 기대되고 있다. 1970년대 독일에서 시작된 비조질강의 개발에 일본의 철강사들이 참여하여 다양한 비조질강들이 개발되고 있으며 최근에는 새로운 압연/냉각 설비를 이용한 제어압연/제어냉각 기술 및 새로운 합금 설계를 이용하여 기존 소재에 비해 고강도, 고인성화를 달성하고자 하는 시도가 계속되고 있다.

기존 냉간 단조품 제조에 사용되어 온 중·저 탄

소강과는 달리 비조질강의 강화기구는 V, Ti, Nb 등과 같은 합금원소를 첨가하여 페라이트상내에 석출된 미세한 입자를 이용하고 있다. 추가적인 강화 방법으로 압연, 신선, 냉간 단조를 거치는 과정 중의 축적되는 가공경화를 이용하는 것이다

가공경화량이 큰 비조질강을 단조에 적용할 때 문제점은 기존 조질강에 비해 금형에 높은 하중을 가하여 금형 수명이 크게 낮아지는 점이다. 따라서 비조질강의 적용이 폭넓게 이루어지기 위해서는 금형 수명을 높이는 기술이 필수적으로 해결되어야 한다. 열간압연을 실시한 비조질강의 냉간단조 전 대부분의 경우 냉간 신선을 실시한다. 비조질강과 같이 이상 입자를 포함하고 있는 소재의 경우 바우싱거효과가 크게 나타날 수 있기 때문에 냉간 신선량을 조절하면 단조시 유동응력을 낮춰 금형수명을 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 예비변형량이 비조질강의 바우싱거 효과에 미치는 영향을 조사하여 냉간 단조 시 유동응력을 낮출 수 있는 가능성을 고찰하고자 하였다.

## 2. 실험방법

표 1 은 본 실험에 사용한 2 종의 비조질강(A, B)와 1 종의 조질강의 합금성분이며 그림 1 에 미세조직을 나타내었다. 비조질강 A, B 는 모두 페라이트와 펄라이트의 복합조직을 가지고 있으나 A 의 경우 밴드구조가 더 두들어짐을 알 수 있었다. 조질강 C 의 경우 구상화처리를 실시한 후 시험에 사용하였다.

Table 1 The chemical compositions of steels used in the present study.(wt.%)

	C	Si	Mn	Cu	Cr	Al	V
A	0.15	0.15	1.57	0.15	0.35	0.02	0.15
B	0.22	0.24	0.89	-	-	0.03	-
C	0.48	0.35	0.90	0.15	0.12	-	-

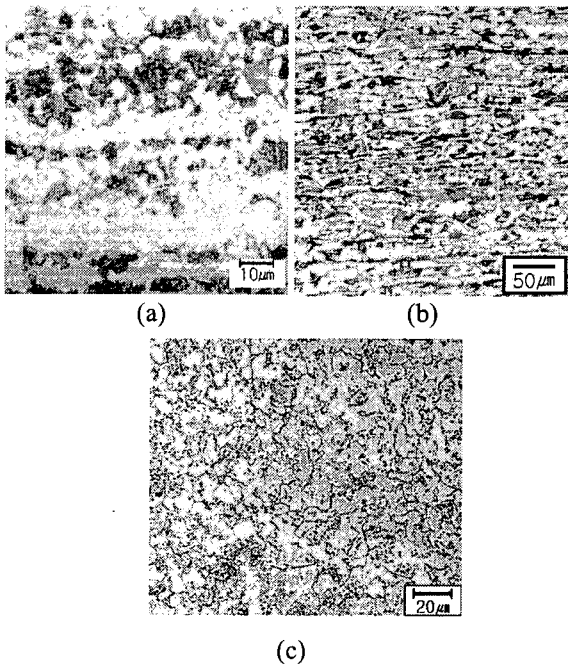


Fig 1. Microstructures of steels used for the present study, (a) NHT A, (b) NHT B and (c) Spheroidized steel C

## 3. 실험결과

그림 2 는 각 강종의 인장시험 결과로 비조질강 A 의 경우 항복점 연신을 나타내는 반면 B 강종의 경우 가공연화가 관찰되었다. 조질강 C 의 경우 일반적인 일반강의 인장 거동을 나타내고 있음을 확인하였다.

그림 3 은 바우싱거 효과를 측정하기 위하여 일축인장시험기에서 인장-압축시험을 실시한 결과를 나타내고 있다. 인장 방향으로 예비변형을 실시한 후 압축 변형을 하여 유동 응력의 감소를 측정하였다. 본 연구에서는 바우싱거효과는 인장방향으로 유동응력( $\sigma_f$ )에 대해 압축방향의 유동응력( $\sigma_c$ )의 비로 측정하였다. 응력방향의 전환에 따라 항복응력의 값을 정확하게 측정하기 곤란한 관계로 변형량이 0.005, 0.01, 0.015 의 값에서 측정을 실시하였다.

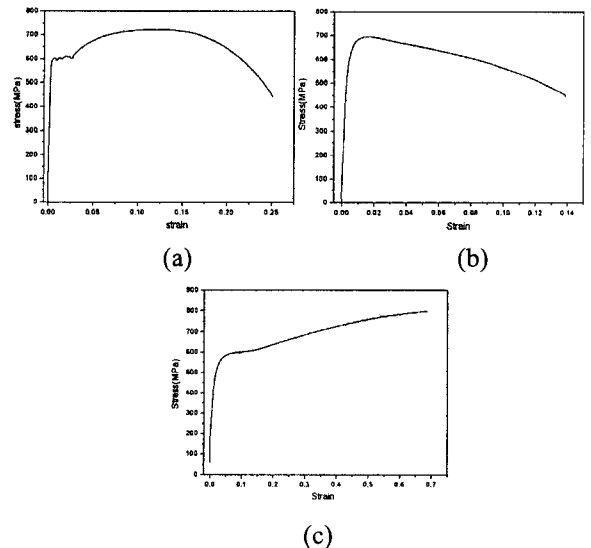


Fig 2. Tensile curves of (a) NHT A, (b) NHT B and (c) Spheroidized steel C

그림 4 는 비조질강 A 에 대한 바우싱거효과지수( $B = \sigma_c / \sigma_f$ )를 나타낸 그림이다. 그림 4 에는 열간 압연재 뿐만 아니라 각각 16, 27% 냉간 신선을 실시한 시편에 대해서도 바우싱거효과를 측정하여 나타내었다. 열간압연 시편의 경우 예비변형량의 증가에 따라 바우싱거효과지수 B 가 감소하는 경

향을 보이고 있는 반면 냉간신선을 실시한 시편에 대해서는 B가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 냉간 신선시 소재에는 인장변형이 가해지기 때문에 신선량을 인장방향의 예비변형량으로 가정하여 그림 5와 같이 도시하였다. 그림 5에서 알 수 있듯이 전체적으로 예비변형량이 증가함에 따라 바우싱거효과지수가 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다. 그림 6은 비조질강 B에 대해 동일한 실험을 실시한 결과를 나타낸 결과를 보여주고 있다. 비조질강 A에서와 동일하게 예비변형량이 증가할수록 바우싱거효과지수가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 그림 7은 조질강 C에 대한 시험결과로 예비변형량의 증가에 동일한 수준의 바우싱거효과를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 하지만, 비조질강에 비해 변형 방향의 역전에 따른 강도의 감소가 상대적으로 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

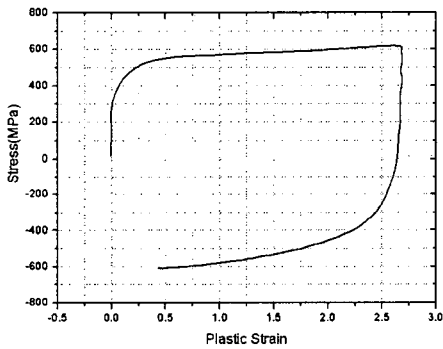


Fig 3. Reverse loading test showing Bauschinger effect which means the decreased flow stress when loading direction is reversed.

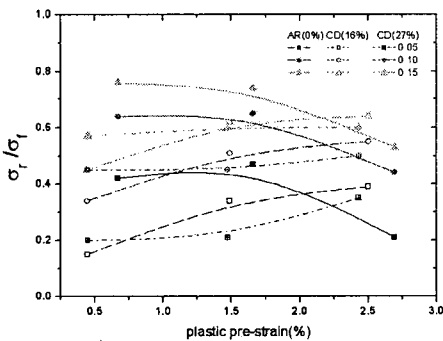


Fig 4. Effect of pre-strain on Bauschinger effect of NHT A

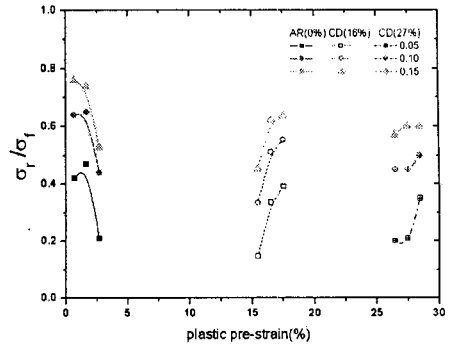


Fig. 5. Effect of pre-strain on Bauschinger effect of NHT A

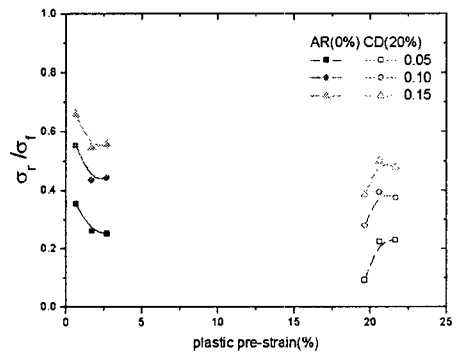


Fig. 6. Effect of pre-strain on Bauschinger effect of NHT B

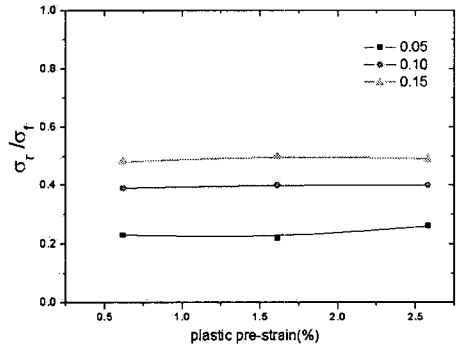


Fig. 7. Effect of pre-strain on Bauschinger effect of C steel

이상의 결과를 통해 비조질강의 냉간 신선공정시 신선량을 조절함으로써 냉간 단조에 사용되는 소재의 유동응력을 최소화시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만, 본 연구에서 사용한 인장-압축 시험에서는 가할 수 있는 예비변형량은 약 1.5% 정도로 한계가 있기 때문에 보다 정확한 값을 측정하기 위해서는 비틀림시험을 실시할 필요가 있

다.

그림 8 은 비조질강 A 에 대해 열간압연, 16% 냉간신선, 27% 냉간신선 상태에서 압축시험을 실시한 결과로 열간압연재에 비해 낮은 유동응력을 가짐을 확인할 수 있었다.

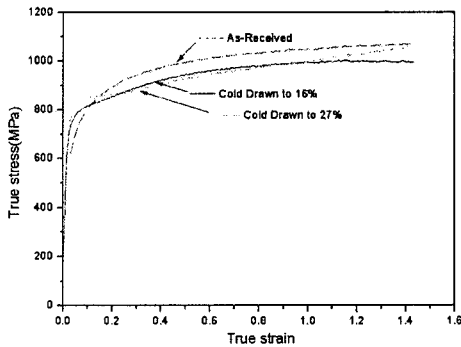


Fig. 8. Compressive curve of NHT A showing flow stress decrease after cold drawing

#### 4. 결론

본 연구에서는 냉간단조용 비조질강의 특성과 바우싱거 효과에 대한 기초적인 시험을 실시하였다. 비조질강 단조품의 재질 편차는 냉간 단조공정설계 뿐만 아니라 압연 후 냉간 신선량에 결정을 받는다. 따라서, 보다 균일한 물성을 가지는 단조품 생산 및 단조 공정의 금형수명 향상을 위해서는 바우싱거 효과를 비롯한 소성변형특성이 합금설계에 효과적으로 반영되어야 한다.

#### 후 기

본 연구는 지식기반기계 부품소재 연구개발 클러스터사업단의 지원에 의한 것입니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Sowerby et al., 1979, A review of certain aspect of the Bauschinger effect in metals, Mater. Sci. & Eng., Vol. 41, pp. 43~58.
- [2] A. Abel and H. Muir, 1972, The Bauschinger effect and discontinuous yielding, Phil. Mag., Vol. 26, pp. 489~504.
- [3] K. Terada et al., 2004, Numerical re-examination of the micro-scale mechanism of the Bauschinger effect in carbon steels, Comp. Mater. Sci., Vol. 31, pp. 67~83.
- [4] G. Vincze et al., A comparison of the mechanical behavior of an AA1050 and a low carbon steel deformed upon strain reversal, Acta Mater., Vol. 53, pp.1005~1013.
- [5] D. Uko et al., 1980, Bauschinger in structural steels and role in fabrication of line pipe, Metal Tech., pp. 359~367.
- [6] S. P. Gupta and S. P. Kodali, 1976, The effect of pre-strain on the Bauschinger effect, Scripta Metal., Vol. 10, pp. 111~114.