

Cu첨가 극저탄소 고강도강의 가공성에 미치는 Al과 B의 영향

김성일[#], 정경환¹, 홍문희²

Effect of Aluminium and Boron on Formability for Cu Bearing Extra Low Carbon Steel Sheets

S. I. Kim[#], K. H. Chung¹, M. H. Hong²

Abstract

This paper examines the effect of nitride formation on formability for Cu bearing high strength extra low carbon (ELC) steel sheets. For this purpose, we have investigated the effect of addition of aluminium (Al) and boron (B) on texture and precipitation behavior of the ELC steel during continuous annealing. Mechanical properties and microstructures of the ELC steel sheets were analyzed as well using uni-axial tensile test, electron back-scattered diffraction (EBSD) technique and transmission electron microscopy (TEM) following pilot rolling and continuous annealing.

It has been found that the addition of Al and B increases the precipitation of AlN and BN. What is more, the scavange of solute nitrogen is effective in increasing the formability of the ELC steels. In addition, the Al and B addition improves the aging property of the ELC steel.

Key Words : Extra Low Carbon Steel Sheet, Nitride, Aluminium, Boron, Formability, Aging Property

1. 서론

최근, 환경보호와 에너지 절감을 위해 자동차 부품의 경량화와 자동차용 철강소재의 고강도화가 급속도로 진행되고 있다. 특히, 자동차 강판의 고강도화는 가공성 및 고기능성을 동시에 요구하는 것이 주요 특징으로 자동차 도어(door), 루프(roof) 등의 부품으로 사용되고 있는 극저탄소강도 연질강(mild steel)이 주종을 이루었으나 최근 인장강도 340MPa이상의 고강도강(high strength steel)으로 대체되고 있다. 또한, 이와 같은 고강도강 중에서도 프레스 가공은 용이하지만 가공후 도장공정에서 소부경화(bake hardening) 특성을 나타내어 텐트 저항성(dent resistance)이 우수한 소부경화강(bake hardening steel)의 수요가 증가하고 있다[1-3].

BH강으로 불리우는 소부경화강은 도장후 열처리과정에서 항복강도 및 인장강도가 증가하는 시효현상을 이용한 강이다. BH강의 시효특성 및 가공성은 고용 탄소와 고용 질소의 함량에 크게 의존하므로 이들과 친화력이 좋은 니오븀(Nb)과 티타늄(Ti)을 첨가한 극저탄소강이 주로 사용되고 있으며 이에 대한 연구는 매우 깊이있게 진행되었다[1-3]. 하지만, Ti에 비해 질소와의 친화력이 작은 알루미늄(Al) 또는 보론(B)의 첨가에 따른 극저탄소강의 기계적 성질에 관한 연구는 주로 변태거동과 2차 가공취성에 관련된 연구가 대부분 이었다[3]. 하지만, 본 연구에서는 새롭게 개발된 Ti와 Nb가 첨가되지 않은 Cu함유 극저탄소 BH강의 가공성에 대한 Al과 B의 첨가 영향을 연구하였다. 또한, Al과 B첨가에 따른 연속소둔 후 BH강의 질화물 발생 및 집합조직의 변화 등을 조사하여 미세조직에 어떠한 변화가 발생하는지도 함께 검토하였다.

1. POSCO 기술연구원 자동차가공연구그룹

2. POSCO 광양제철소 MAFE/ACE 추진반

교신저자: POSCO 기술연구원 자동차소재연구그룹, ksimetal@posco.com

2. 실험 방법

표1에 본 연구에서 사용된 극저탄소 BH강의 합금성분을 나타내었다. 가공성에 대한 질화물 및 알루미늄(Al)과 보론(B)의 영향을 확인하기 위하여 Al과 B의 함량이 서로 다른 3종의 소재를 준비하였다. 강 1은 Al의 함량이 0.03wt.%인 Al킬드강(Al-killed steel)으로 Cu를 함유한 BH강이며 강 2는 강 1의 조성에 B를 추가로 첨가하여 BN(boron nitride)이 형성되었을 것으로 추정되는 강이며 강 3은 강 1의 조성에 Al을 더 많이 첨가하여 AlN(aluminium nitride)이 강 1에 비해 더 많이 형성되었을 것으로 추정되는 강이다.

Table 1 Chemical compositions of extra low carbon steels used (Wt.%).

Steel	C	Mn	P	S	Al	Cu	B	N	Al/N	B/N
1	0.002	-	-	-	0.03	0.1	0	0.002	15	0
2	0.002	-	-	-	0.03	0.1	0.0005	0.002	15	0.25
3	0.002	-	-	-	0.08	0.1	0	0.002	40	0

연구 대상재는 모두 진공유도용해법으로 제조된 두께 60mm, 폭 180mm, 길이 250mm의 슬라브 시편을 압연하여 사용하였다. 슬라브 시편은 1200℃로 가열한 후 두께 3.3mm의 판재로 열간압연되었으며 이때 압연 종료온도는 920℃이었으며 650℃에서 1시간 유지한 후 로내에서 냉각하여 권취공정을 모사하였다. 열간압연된 시편은 산세처리한 후 80%의 압하율로 냉간압연하였다. 냉간압연된 소재는 780℃에서 소둔열처리하여 연속소둔 공정을 모사하였다. 열처리가 완료된 시편은 1.4%의 압하량으로 Skin Pass 압연한후 인장시험(Zwick, 10ton)하였으며 항복강도, 인장강도, 연신율 등의 인장 특성들은 일본공업규격(JIS)에 따라 압연방향의 수직방향에 대해 평가하였다. 또한, 소성이방성 지수인 r 값과 Δr 값은 미국표준시험규격인 ASTM A370 규격의 인장시편을 이용하여 압연방향의 0°, 45°, 90°의 인장시험으로부터 구하였다. 페라이트 결정립의 형상, 크기, 집합조직 분석은 광학현미경과 EBSD분석기법(JEOL 6500F-TSL)으로 하였으며 석출물 분석은 FE-TEM(JEOL-2100F)을 사용하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 기계적 특성 변화

그림 1에 강 1, 2, 3의 인장변형후 얻은 물성의 변화를 나타내었다. 그림 1(a)에는 응력-변형률 곡선을 나타내었는데 강 1의 응력-변형률 곡선에는 약 0.8%정도의 항복점 연신율이 발생한 것을 확인 할 수 있었다. 항복점 연신율의 발생은 가동이 용이한 고용원자가 잔존하여 인장변형시 전위를 고착시켜 국부적인 변형이 심화되었음을 의미하는 것이다. 따라서, 이는 강 1이 강 2와 강 3에 비해 다량의 가동이 가능한 용결원자를 포함하고 있다는 간접적인 증거이다. 그림 1(b)와(c)에는 각각 강도와 연신율의 변화를 나타내었다. 항복강도와 인장강도는 모두 B과 Al을 추가로 첨가하였을 때 감소하였으며 연신율에는 큰 변화를 나타내지 않았다. 강 1의 높은 항복강도는 앞서 언급한 것처럼 항복점 현상에 기인한 것으로 B과 Al첨가에 따른 고용 질소 함량이나 질화물의 변화와 관련이 있을 것으로 판단되었다. 인장특성 중 가장 큰 물성 변화는 가공성을 대표하는 지표 중 하나인 소성이방성 지수(Lankford value, r -value)가 B과 Al을 추가로 첨가했을 때 크게 개선되었다는 것이다. 그림 1(d)에 나타난 것처럼 B과 Al을 추가로 첨가한 강 2와 강 3의 평균 소성이방성 지수($r_m = (r^{0^\circ} + 2r^{45^\circ} + r^{90^\circ})/4$)는 강 1에 비해 약 0.3 정도 큰 값을 나타내었다. 하지만, 면내 이방성 지수인 Δr 값에는 큰 변화가 없었다. 이와 같은 가공 특성의 변화는 미세조직의 변화에 기인한 것으로 B과 Al의 첨가가 가공성에 영향을 미치는 미세조직을 개선한 것으로 추정된다. 이와 같은 가공성 개선효과는 Ti가 첨가된 극저탄소강에서도 나타나는 결과이기도 하다[2,3].

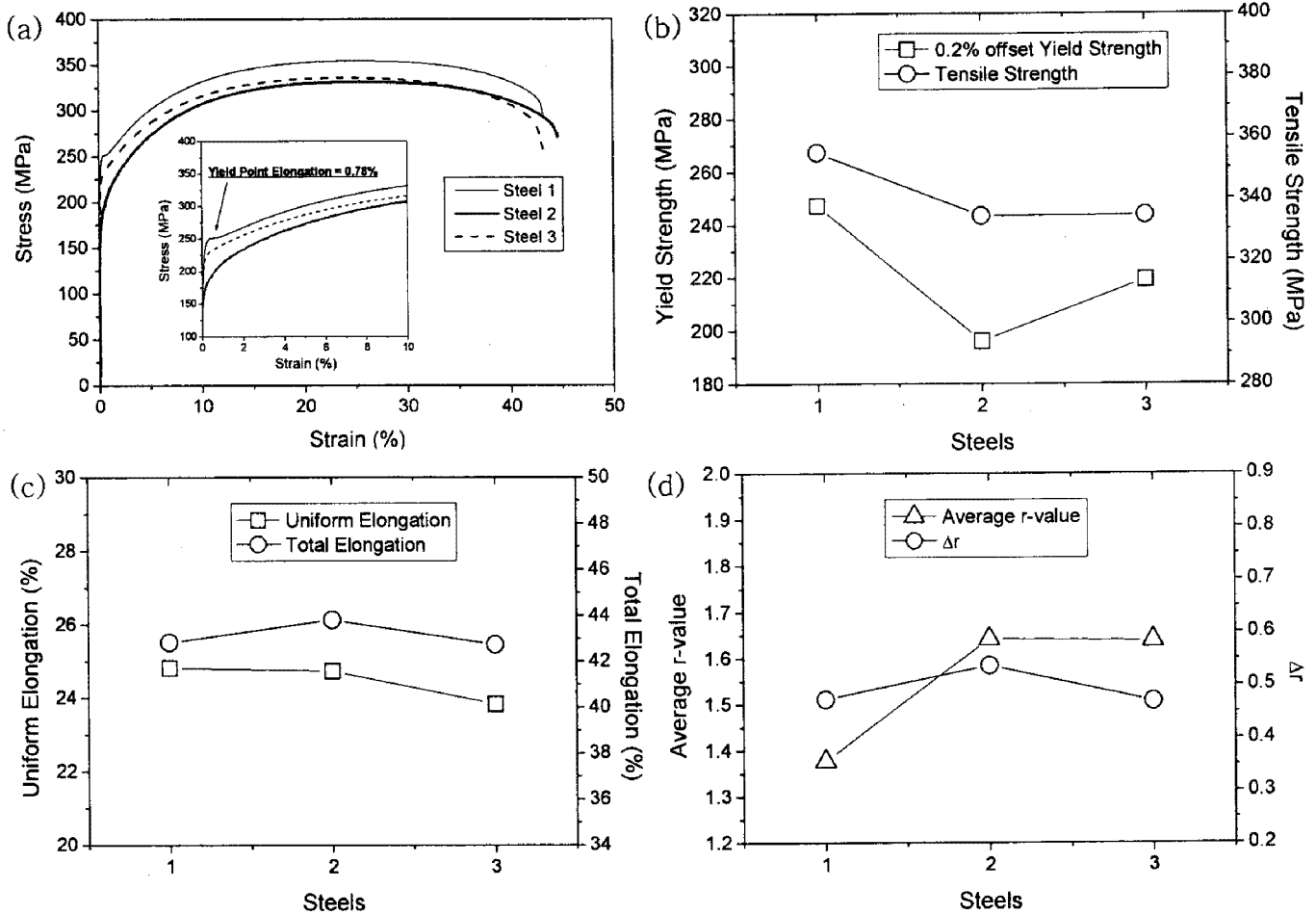


Fig. 1 Influence of Boron and Aluminium addition on (a) stress – strain curve, (b) yield and tensile strength, (c) uniform and total elongation and (d) Lankford values for Cu bearing extra low carbon steel sheets.

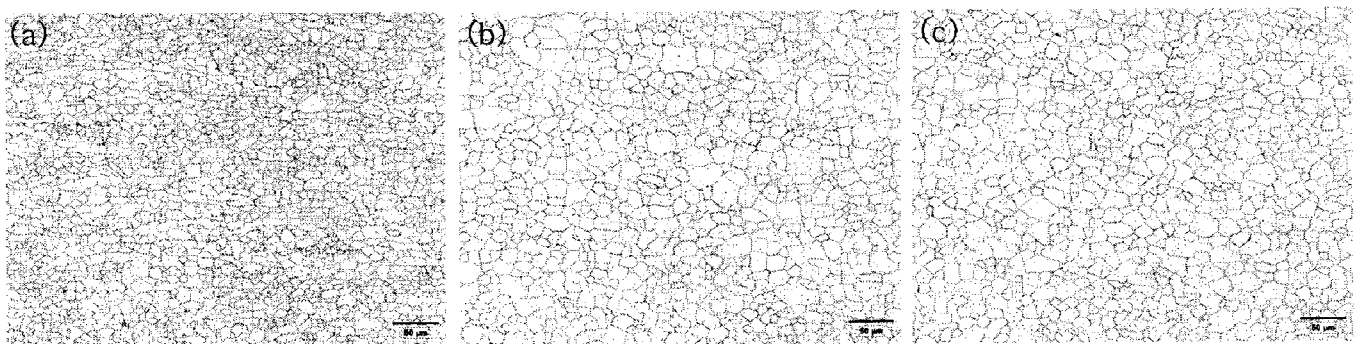


Fig. 2 Optical micrographs of (a) steel 1, (b) steel 2 and (c) steel 3 sheets after continuous annealing at 780 °C.

3.2 미세조직학적 변화

그림 2는 B과 Al이 서로 다른 강 1, 강 2, 강 3을 780°C에서 소둔열처리하여 광학현미경으로 단면을 관찰한 결과이다. B과 Al이 추가로 첨가된 강 2와 강 3의 결정립의 크기가 상당히 조대하게 성장한 것을 확인할 수 있었다. 이는 강 2와 강 3은 소둔열처리 중에 재결정 현상에 의한 결정립 성장이 원활하게 잘 진행되었음을 의미한다. 그림 1(a)에 나타난 강 2와 강 3의 항복강도와 인장강도의 감소는 조대한 결정립 크기가 주요 원인 중 하나인 것으로 판단된다.

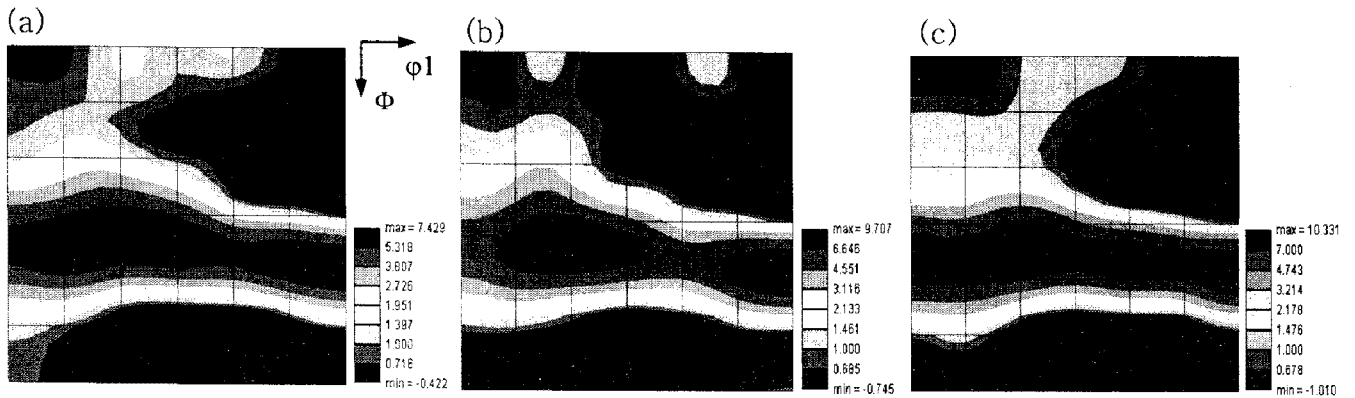


Fig. 3 Contour maps of $\phi_2=45^\circ$ orientation distribution function obtained from EBSD analysis for (a) steel 1, (b) steel 2 and (c) steel 3 sheets after continuous annealing at 780°C .

그림 3은 EBSD기법을 사용하여 강 1, 강 2, 강 3의 집합조직 특성을 분석한 결과로 $\phi_2 = 45^\circ$ 면의 방위 분포함수(ODF) 등고선도이다. 전체적으로 모든 강의 γ -fiber 집합조직($\{111\}/\text{ND}$)이 잘 발달하였지만 특히, 강 2와 강 3의 γ -fiber 집합조직이 높은 상대강도를 나타내며 더욱 잘 발달한 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 1(d)에 나타낸 가공특성 결과와도 일치하는 것이다. 강 2와 강 3의 또 다른 미세조직학적 특징은 조대한 석출물들이 더 많이 존재한다는 것이며 이는 carbon-replica법으로 준비한 시료에 대해 FE-TEM으로 석출물의 크기와 분포를 관찰하여 확인하였다. 또한 고용 질소가 B와 Al의 첨가로 안정화된 강 2와 강 3은 강 1에 비해 보다 우수한 시효특성을 나타내었다. 가속시효열처리(100°C , 1시간 유지)후 평가한 항복거동에 있어서 강 1은 약 1.2%의 항복점 연신율을 나타내었지만 강 2와 강 3은 항복점 현상이 나타나지 않았다.

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄(Al)과 보론(B)이 극저탄소 소부경화형 강의 가공성에 미치는 영향을 연속소둔열처리된 소둔강판에 대하여 평가하였다. B와 Al을 추가로 첨가하여 B/N과 Al/N 비를 2배 이상으로 높인 강은 고용 질소가 안정화되어 항복점 현상이 발생하지 않았으며 평균 소성이방성이 약 20% 정도 증가되었다. B와 Al의 첨가는 γ -fiber 집합조직($\{111\}/\text{ND}$)을 발달시켜 가공성 개선에 크게 기여하였지만 결정립 크기를 증가시켜 강도가 다소 감소하는 문제점이 있음을 확인하였다. 또한, B와 Al첨가는 가공성 뿐만 아니라 시효특성을 개선시키는 효과가 있어 실제 제품개발에 적용할 경우 안정된 성능의 자동차용 내외판용 제품을 제조할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] L.J. Baker, S.R. Daniel and J.D. Parker, 2002, Metallurgy and processing of ultralow carbon bake hardening steels: Material Science and Technology, Vol. 18, No. 4, pp. 355~368.
- [2] 김성일, 한상호, 윤정봉, 2006, 자동차 외판용 극저탄소강의 기계적 성질에 미치는 Carbon 및 석출물의 영향, POSCO Technical Report, Vol. 11, No. 2, pp. 82~86.
- [3] N. Tsuji, Y. Matsubara, T. Sakai and Y. Saito, 1997, Effect of boron addition on the microstructure of hot-deformed Ti-added interstitial free steel, ISIJ International, Vol. 37, pp. 797~806.