

붕소함유 냉간단조용 비조질강의 경화능 및 기계적 특성평가

박현균* · 김남규 · 최희진**

Characterization of Hardenability and Mechanical Properties of B-Bearing Microalloyed Steels for Cold Forging

H. G. Park, N. G. Nam and H. G. Choi

Abstract

Four microalloyed steels containing B were investigated in terms of hardenability, mechanical properties and microstructure depending upon the cooling rates in order to develop the steel grade for the cold forged fasteners. The alloy with the largest DI value among 4 alloys, which contains 0.12 % C, 1.54 % Mn, 0.65 % Cr, 0.11 % V, 0.040 % Ti and 0.0033 % B, showed the largest shift to the right hand side in the TTT diagram, implying the wide allowable cooling rate range subsequent to hot rolling in long bar processing. Mechanical tests indicated that yield strength are dependent upon the DI value in water quenched specimens but other properties showed almost the same values. In the same grade of steel, the increase in cooling rates causes the decrease in elongation but the increase in strength, reduction of area and Charpy impact values. Microstructural examination in steel grade with the largest DI values revealed martensitic structure in the water quenched state, a mixture of martensite and bainite in the oil quenched, and ferrite + pearlite in the air cooled and the forced air cooled but the latter showed finer microstructure

Key Words : Microalloyed Steels, Hardenability, Bainite, TTT Diagram, Cold Forging, Boron Steels, Jominy End Quenching

1. 서론

자동차부품용 특수강 소재로서 비조질강은 후속 Q/T 열처리의 생략에 의한 부품제조원가의 절감 뿐만 아니라 Q/T 열처리과정중의 휨발생물량을 원천적으로 방지할 수 있기때문에 자동차부품제조업계의 지속적인 관심을 끌어왔다.[1-4] 최근 이러한 열처리생략형소재에 대한 관심은 패스너업계에도 확산되어 볼트, 너트등을 냉간 성

형한 후 후속 Q/T 열처리 없이 사용하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 냉간성형용 비조질강으로 8-9T 급 이상의 패스너를 생산하게 되면 압연봉재로부터 신선공정을 거쳐 선재제조 후 볼트, 너트로 성형하는데까지 인발전의 구상화열처리공정, 인발과정중의 연화소둔, 제품성형후 Q/T 열처리공정의 생략에 의한 많은 제조원가의 절감을 이룰 수 있다. 그러나 압연봉재로부터 최종 볼트, 너트 제품에 이르기까지 소재의 기계적 성질의 변화를 보면 공정이 진행됨에 따라 연화공정이 없이

* 한국 산업기술대학교 신소재공학과

** 세아베스틸 금속기술연구소

지속적으로 가공경화에 의한 강도의 상승과 아울러 인성, 전성등은 감소해 가고 또한 고강도상태의 소재를 냉간 성형하기 때문에 냉간 해당시 급형의 심한 마모를 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 동일수준의 강도값에서 전성이 높은 소재를 얻기 위해서는 탄소함량이 낮아야하고 또한 낮은 탄소함량에서 강도가 높기 위해서는 페라이트+펄라이트의 미세조직보다는 베이나이트조직이 바람직하다.[5-7] 이와 같이 고강도 고전성인 베이나이트 미세조직을 갖는 압연봉재를 일반 양산라인에서 용이하게 제조하기 위해서는 소재의 경화능이 커야하고 또한 TTT 곡선에서 펄라이트의 노우즈(nose)가 베이나이트 노우즈보다 상대적으로 뒤로 밀려 있는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 볼스터드용소재로서 이러한 미세조직을 갖는 소재를 개발하기 위해서 저 탄소 강강재에 보론을 첨가하고 아울러 여러가지 다른 합금원소를 첨가한 4 가지 소재를 제조하고 이들에 대한 소재의 경화능과, 미세조직 및 기계적 성질을 평가하였고 그 분석한 결과를 제시하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 4 종류의 냉간단조용 비조질강은 진공유도로를 사용하여 50 Kg 의 잉고트로 제조 하였다. 각 합금의 성분조성은 Table1 에서 보여주고 있다.

Table 1 Chemical composition of 4 microalloyed steels (wt %)

합금	C	Mn	Cr	Al	V	Ti	B	Dl(mm)
1	0.11	1.5 3	0.3 5	0.02 1	0.11	0.03 4	0.003 2	23.3
2	0.1 2	1.8 5	0.3 5	0.02 3	0.11	0.03 8	0.003 3	31.7
3	0.1 2	1.5 4	0.6 5	0.02 3	0.11	0.04 0	0.003 3	35.1
4	0.1 2	1.5 6	0.3 5	0.02 1	0.1 5	0.03 9	0.003 5	27.6

4 종류의 잉고트는 각각 Fig.1 의 제조공정도에서 보여주는 바와 같이 1150 °C로 가열후 직경 30 mm 봉재로 단조하였다. 이렇게 단조된 시편의 조직 균질화를 위하여 910 °C에서 1 시간 노말라이

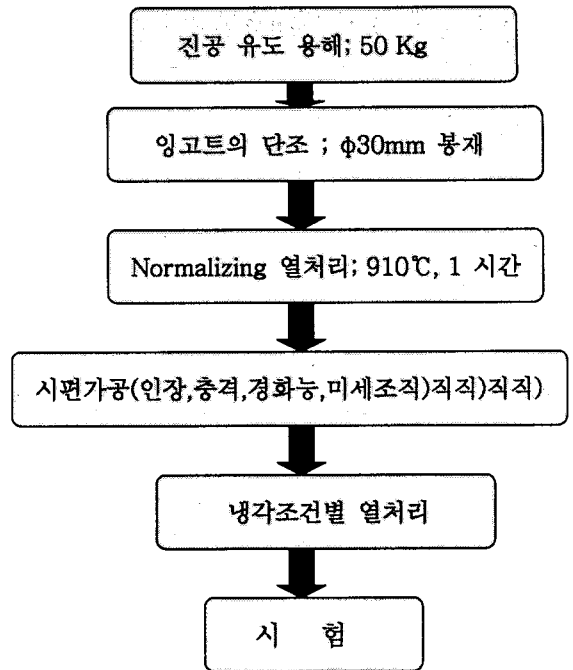


Fig. 1 Manufacturing process of microalloyed steels for cold forging

징 한 후 직경 14mm 봉재인장시편, KS 4 호 V 노치 충격시편, Jominy End Quenching 시험편 및 미세조직시편으로 가공 하였다. 이렇게 균질화처리된 시편에 대하여 냉각속도에 따른 기계적 성질의 변화를 연구하기 위하여 910 °C에서 1 시간 유지후 공냉, 강냉, 유냉 및 수냉을 행하였다. 여기서 강냉은 전기로에서 시편을 꺼낸 후 선풍기로 송풍하여 급히 냉각시키는 것을 말한다. 이러한 방식으로 제조된 시편에 대해서 3 mm/min 의 cross head speed 로 인장시험과 샤피충격시험을 행하였다. 각 합금에 대하여 냉각속도별 미세조직의 변화를 알아보기 위하여 910°C에서 용체화처리 후 4 가지 다른 속도로 냉각하였으며 광학현미경 관찰을 위하여 마운팅한 후 SiC 연마지로 연마하고 1 마이크론 크기의 Al₂O₃ 용액을 이용하여 polishing 한 후 5 % Nital 용액에서 에칭하였다.

각 합금의 경화능을 평가하기 위하여 jominy End Quenching 시험후 급냉끝단으로부터 거리에 따른 경도측정을 행하였다. 그리고 AC 3 란 응용소프트웨어를 사용하여 각 강종에 대한 TTT diagram 을 모사하였다. 그런데 사용된 프로그램은 보론효과를 구현하는데 있어서 한계를 가지고

필요하나 B의 펄라이트 노즈를 우측으로 미는 효과가 고려되지 않은 결과이므로 실제 필요로 하는 냉각속도는 위의 값보다 낮은속도일 것으로 추정된다

Table 2에서는 각 강종별 냉각속도에 따른 기계적성질을 요약하고 있다. 수냉한 경우의 물성을 비교해보면 인장강도, 연신율은 거의 유사하나 항복강도값의 크기는 DI 값이 클수록 커짐을 알 수 있으며 냉각속도가 충분할 때에는 경화능이 가장 큰 합금 3의 항복비가 가장 높음을 보여준다. 공냉의 경우에도 강도는 경화능이 클수록 큰값을

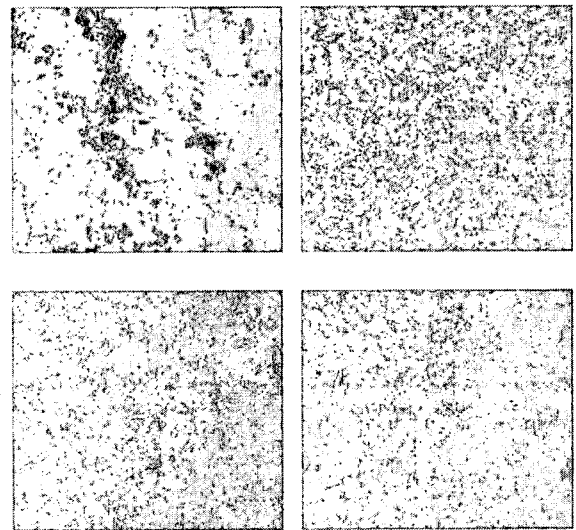
직사진을 보여주고 있다. 수냉의 경우 마르텐사이트조직을 보여주고 있으나 유냉의 경우 마르텐사이트와 베이나이트가 혼재된 조직으로 이루어져 있다. 한편 공냉의 경우는 페라이트에 일부 펄라이트가 혼합된 미세조직을 보이고 있으나 강냉의 경우는 펄라이트가 보다 분산되어 있고 펄라이트의 분율도 높으며 페라이트의 결정립크기가 더 미세함을 알 수 있다. 이상의 미세조직으로 추정해 볼 때 합금 3에서 베이나이트만의 미세조직을 얻기 위해서는 유냉과 강냉사이의 냉각속도가 필요할 것으로 생각되어진다.

Table 2 Mechanical properties of 4 microalloyed steels for a variety of cooling rates

합금 번호	물성	T S	Y S	EL	ROA	충격 값
	단위	kg/mm ²	kg/mm ²	%	%	J
1	공냉	57	35	35	57	
	강냉	67	36	28	61	43
	유냉	119	86	16	65	125
	수냉	128	91	18	63	108
2	공냉	78	38	19	31	
	강냉	86	55	21	57	45
	유냉	122	88	16	59	106
	수냉	130	101	17	60	96
3	공냉	67	40	26	42	
	강냉	76	56	24	60	52
	유냉	123	86	18	64	112
	수냉	130	108	16	65	115
4	공냉	59	35	37	65	
	강냉	81	50	22	60	40
	유냉	122	87	17	64	116
	수냉	129	97	17	66	121

보여주고 있다. 한편 냉각속도가 수냉으로부터 유냉, 강냉, 공냉순으로 감소함에 따라 전반적으로 항복강도, 인장강도는 감소하는 반면 연신율은 증가하며 강도의 감소정도는 경화능에 반비례함을 알 수 있다. 그러나 단면수축율 및 충격값은 동일 합금에서 냉각속도가 큰 유냉이나 수냉의 경우가 보다 큰 값을 보여주고 있다

Fig. 4는 합금 3에 대하여 냉각속도별 미세조



(a) air cooled (b) forced air cooled
(c) oil quenched (d) water quenched

Fig. 4 Microstructures of alloy 3 under various cooling rate after austenitizing at 910 °C (X500)

4. 결론

패스너용 냉간단조용 비조질강을 개발하기 위한 연구로서 B를 함유한 4가지 다른 합금에서 경화능과 TTT Diagram 모사, 기계적성질 및 미세조직을 연구한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 합금 3이 DI 값 35.1 mm로서 4합금중 가장 큰 값을 가졌으며 TTT Diagram을 모사한 결과 펄라이트 노우즈가 가장 오른쪽으로 밀려 있게 나타났다. 이러한 결과는 동일 강도 수준에서 전성이 높은 베이나이트조직을 압연 후 냉각과정에서 얻는데 있어서 한계최고 냉각속도가 가장 낮

을 뿐 아니라 허용냉각속도의 범위를 넓혀준다.

2. 4 종류 합금에 대한 냉각속도별 기계적 성질을 분석한 결과 수냉과 같이 냉각속도가 빠른 경우에는 항복강도값의 크기가 경화능크기와 일치 하였으며 인장강도, 연신율은 거의 유사 하였다. 그리고 동일 강종에서 냉각속도가 감소함에 따라 연신율, 강도는 감소하였으나 단면수축율 및 충격값은 유냉 및 수냉과 같이 냉각속도가 큰 경우에 크게 나타났다.

3. 합금 3 에 대하여 냉각속도별 미세조직을 분석한 결과 수냉의 경우 마르텐사이트조직, 유냉의 경우 마르텐사이트와 베이나이트가 혼재된 조직으로 이루어져 있다. 공냉과 강냉의 경우는 페라이트에 일부 펄라이트가 혼합된 미세조직을 보이고 강냉의 경우는 보다 많은 분율의 펄라이트가 보다 균일하게 분산되었으며 페라이트 입자도 미세화 되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 청정기술개발사업인 “차세대 환경친화형 냉간단조 비조질강 제품개발” 과제의 일환으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) G. Krauss, S. K. Banerji;(eds.) Fundamentals of Microalloying Forging Steels, TMS, Warrendale, PA, 1987
- (2) F. A. Khalid, 2002, “ Precipitation and compositional changes in the structural phases of microalloyed automotive steel” Materials Science and Eng. A., Vol. 325, pp 281~285
- (3) D. K .Matlock, G. Krauss and J. G. Speer, 2001, “Microstructures and properties of direct cooled microalloy forging steels”, J. of Materials Processing Technology, Vol. 117, pp 324~328
- (4) M. Jahazi and B. Eghbali, 2001, “The influence of hot forging conditions on the microstructure and mechanical properties of two microalloyed steels”, J. of Materials Processing Technology, Vol. 113, pp 594~598
- (5) L.L Teoh, 1995, “Thermo- mechanical processing and microstructure of microalloys steel bar and wire rod products” J. of Materials Processing Technology, Vol. 48, pp 475~481
- (6) M. Grujicic, I. J. Wang and W. S. Owen, 1988, “ On the formation of duplex precipitation phases in a ultra-low carbon microalloyed steel” Calphad, Vol.12, pp 261~ 271J
- E.V. Pereloma and J. P. Boyd, 1996, “On the nature of “raised ferrite” in a low carbon microalloyed steel” Scripta Materialia, Vol. 35., pp 703 ~ 706.