

Cu를 함유한 HSLA강의 기계적 성질 및 미세 조직에 미치는
시효처리의 영향

(A Study of the Ageing Treatment on the mechanical properties and
microstructure of Cu-bearing HSLA steels)

박태원*,심인옥*,김영우* ,강정윤**

* 국방 과학 연구소,대전

** 부산 대학교,부산

ABSTRACTS The effects of ageing treatment on the mechanical properties of two Cu-bearing HSLA(High Strength Low Alloy) steels, HSLA-A and HSLA-B ,were studied by means of SEM, TEM, tensile, charpy impact and hardness tests. These steels showed excellent combination in strength and toughness at an ageing of 650°C by the precipitation of ϵ -Cu and low carbon alloying. The peak strength was achieved at an ageing of 500°C in both steels, while the impact energy was very low in this peak strength. With ageing temperature above this temperature, strength was decreased whereas impact energy increased. A marked increase in hardness above 675°C was associated with the formation of "M-A constituents" which forms during cooling from austenite-ferrite two phase region. The impact transition temperature of HSLA-A and HSLA-B steels were -125°C and -145°C, respectively.

1. 서 론

HSLA(High Strength Low Alloy)강은 강도, 인성, 연성, 성형성 그리고 용접성이 뛰어난 조합을 이루며 첨가 원소의 함유량이 적어 경제적이므로 구조물 재료로서 널리 사용되고 있다. HSLA강의 특성은 보통 조성과 미세 구조의 제어에 의해 결정된다. 본 연구에서 채택한 HSLA-A강 및 HSLA-B강은 HSLA-80강과 HSLA-100강에 상응하는 합금으로서 기존의 HY-80 및 100강의 대체재로 개발되었으며 Nb이 0.037wt% 첨가되어 결정립 미세화에 기여하며 탄소량을 0.055wt% 수준으로 감소시킴으로써 용접성이 향상된 합금이다. 이 탄

소량의 감소에 의한 강도 감소를 보상하기 위해 Cu를 1.2wt% (HSLA-A), 1.5wt% (HSLA-B) 첨가하여 석출에 의한 강도 향상을 이루며, 또한 Cr, Mn, Ni, Mo를 첨가하여 냉각 중 석출물의 생성을 지연시키며 경화능을 향상시키도록 디자인되었으며, Ni은 또 고온에서의 Cu에 의한 고온 취성을 방지하며 저온 충격 인성을 향상시키기도 한다.⁴⁾

그리하여 본 연구에서는 Cu를 함유한 합금의 시효 열처리에 대한 시효 열처리에 대한 기계적 성질과 미세 조직에 미치는 영향과 성분 관계에 대해서 조사하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용한 재료는 25kg 잉고트를 용해 주조하여 단조 (1200℃) 및 열간 압연 (1100℃)를 걸쳐 13mm 두께로 만들었으며, 마무리 압연 온도는 800℃가 되도록 하였다. 이렇게 제작된 시료의 화학 조성은 표 1과 같다. 오스테나이트처리는 수직로를 사용하여 900℃에서 1시간 동안 유지하였으며, 유지 후 수냉하였다. 수냉 후 300 ~ 750℃ 온도 범위에서 시효 처리를 행하였으며, 시효한 후 각 조건에 따라 경도 측정, 전자현미경 관찰, 인장 및 충격 인성을 측정하였다. 또 결정립계나 입내에 존재하는 개재물의 성분 조사를 하기 위해 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer)분석을 행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

HSLA-A강과 HSLA-B강을 L 방향과 T방향으로 시편을 채취하여 오스테나이트처리 후 수냉한 경우와 300, 400, 500, 600, 650 및 675℃에서 1시간동안 시효한 경우의 기계적 성질의 변화는 표 2과 같다. 대체적으로 500℃에서 1시간동안 시효할때 최대 강도를 나타냄을 알 수 있으며, 500℃까지는 대체적으로 시효 온도가 증가할수록 인장 강도와 항복 강도의 차이가 줄어들고 또한 퀴칭한 상태에서 시효 온도가 증가할 수록 인장 강도는 감소하나 항복 강도는 증가하는 경향을 나타내었는데 이것은 이 합금의 석출 경화 원소인 Cu에 의한 Cu-cluster 및 ϵ -Cu의 생성에 의해 이 석출상들이 인장 강도 보다는 항복 강도 증가에 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 그리고 L방향과 T방향의 기계적 성질에 현저한 차이가 나타나지 않았는데 이것은 EDS 관찰 결과 이방성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있는 MnS가 Al_2O_3 와 복합 석출하여 둥근 형상을 하고 있으며 다른 성분의 개재물도 과립형이나 둥근 형태로 존재함으로써 기계

적 성질의 이방성에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 그리고 HSLA-B강의 경우가 HSLA-A강의 경우보다 퀴칭한 상태 및 시효 처리한 상태에서 모두 기계적 성질이 높게 나타난 것은 HSLA-B강의 경우가 Cu 및 Ni, Mn, Mo의 양이 더 많음으로써 이러한 원소들의 고용 강화와 석출물의 양의 증가에 기인된 것으로 판단된다. 그리고 피이크 강도 이후에 항복 강도가 감소하는 것은 ϵ -Cu상이 조대화 하기 때문인 것으로 판단된다. 이 합금에 대한 "M-A constituents"의 효과를 관찰하기 위해 600℃부터 750℃까지 25℃ 간격으로 1, 1.5, 2시간 동안 시효 처리 하여 경도 측정을 하였다. 그림 1은 HSLA-A강과 HSLA-B강에 대한 이 결과를 나타낸 것이다. 대부분 675℃ 시효까지는 경도가 감소하고 있으나 700℃이상의 온도에서 시효할 경우에는 경도가 증가함을 알 수 있는데 이 것은 앞서 설명한 바와 같이 이 온도가 오스테나이트/페라이트 2상 구역으로써 시효 열처리 후 상온에서 "M-A constituents"가 존재하기 때문으로 판단된다. 그리고 HSLA-A강의 경우에는 700℃시효이후 급격한 경도의 감소가 관찰되지만 HSLA-B강의 경우는 측정 범위인 750℃까지도 상당히 높은 경도 값을 나타내고 있는데 이 경도 값의 차이는 오스테나이트안정화 원소인 Ni, Cu, Mo의 양이 많은 HSLA-B강의 경우가 고온까지 국부적으로 농도가 높아 시효 처리후 공냉시 오스테나이트를 안정화시키는 역할을 하여 상온까지 유지시키게 되어 "M-A constitutes"를 생성시킴으로써 높은 강도를 나타내는데 반해 HSLA -A강의 경우는 고온으로 올라 갈수록 이러한 원소들의 농도 분포가 균일하게 되어 시효 처리 후 공냉시 페라이트로 변태하게 됨으로써 강도가 감소하는 것으로 판단된다

4. 결 론

1) HSLA-A강과 HSLA-B강 모두 ϵ -Cu의 석출에 의해 강도와 인성이 아주 뛰어난 특성을 나타내었으며 650℃에서 시효한 경우가 가장 나은 인장 특성(HSLA-A : Y.S703MPa, E.L22.6%, HSLA-B:Y.S810MPa,E.L23.8%)과 충격 특성(HSLA-A : 274J, HSLA-B : 202.5J at -85℃)의 조합을 나타내었다.

2) HSLA-A강과 HSLA-B강 모두 500℃에서 시효할 때 인장 강도가 가장 높고 충격 에너지가 가장 낮은 결과를 나타내었으며 시효 온도가 증가할 수록 석출물의 조대화 및 템퍼링에 의한 연화 효과로 강도는 낮아지고 충격 에너지 값은 증가하는 경향을 보였다.

3) 700℃에서 시효시 강도가 다시 증가하였는데 이것은 "M-A constituents"의 생성에 의한 것으로 나타났으며 HSLA-B강의 경우가 HSLA-A강의 경우보다 더욱 고온까지 높은 경도 값을 나타내었다.

4) Ni, Mo, Mn, Cu의 양이 많은 HSLA-B강의 경우가 HSLA-A강의 경우보다 퀴칭한 상태 및 시효한 상태 모두 강도는 높고 인성은 낮은 값을 보였지만 -150℃ 이하에서는 HSLA-B의 경우가 더욱 높은 충격 에너지 값을 보였는데 이것은 저온 충격 인성을 증가시키는 Ni, Mn 등의 원소가 HSLA-B의 경우가 더 많기 때문인 것으로 판단된다.

5) 충격 천이 온도는 HSLA-A강과 HSLA-B강의 경우 각각 -125℃와 -145℃로 나타났다.

5. 참 고 문 헌

- 1) J.R.Paules : J. Met (1991) 44
- 2) M.Mujahid , A.K.Lis , A.J.DeArdo : Proc.conf. on processing Microstructure and properties of microalloyed and other high strength low alloy steels.,(edited by DeArdo) (1992) 345
- 3) S.Soylu and R.W.K.Honeycombe : Mater. Sci. and Tech., Feb.7 (1991) 137
- 4) L.G.Kvidahl : Welding Journal., 64(1985) 42-48
- 5) E.Czyryca, R.Link, and W.Wong : David Taylor Research Center, Report TM-28-88103, Certification of HSLA100 steel for structural application, January(1988)1-104
- 6) J.J.Jonas and I.Weiss : Met. Sci., 13 (1979) 238
- 7) M.G.Akben, I.Weiss and J.J.Jonas : Acta Metall.,29 (1981) 111
- 8) 上島良之, 湯山英俊, 溝口庄三, 木尾岡博幸 : 鐵과 鋼 75 (1989) 501
- 9) E.Hornbogen : Trans. Am. Soc. Met., 57 (1964) 120
- 10) E.Hornbogen : Acta Metall., 10 (1962) 525
- 11) S.R.Goodman, S.S.Brenner and J.R.Low Jr : Metall.Trans A., 4(1973) 2363
- 12) A.D.Wilson, E.G.Hanburg, S.W.Thompson, D.J.Colvin and GKrauss :

Table 1 Chemical compotion of HSLA steels.

wt(%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb	S-Al	B	N
HSLA - A	0.055	0.281	0.439	0.005	0.006	1.01	0.7	1.2	0.18	0.037	0.043	8	26
HSLA - B	0.053	0.308	0.880	0.005	0.008	3.62	0.629	1.5	0.434	0.037	0.049	7	19

B, N are in ppm

Table 2 Tensile test results in L and T direction of HSLA-A
HSLA-B steels aged at various temperature.

		Mechanical Properties							
		L				T			
		T.S (MPa)	Y.S (MPa)	E.L (%)	R.A (%)	T.S (MPa)	Y.S (MPa)	E.L (%)	R.A (%)
HSLA-A	AQ	953.6	738.6	18.2					
	300°C	974.2	825.4	20.6					
	400°C	885.4	804.1	17.6	73.4	902.6	823.4	9.9	52.2
	500°C	894.3	869.5	19.1	71.9	882.6	852.3	19.5	68.8
	600°C	828.2	803.4	24.2	71.6	937.0	915.7	21.7	64.5
	650°C	740.0	702.8	22.6	77.2	718.6	669.7	21.5	75.7
	675°C	716.6	683.5	24.9		675.9	644.9	21.3	63.9
HSLA-B	AQ	1085.2	830.2	20.4					
	300°C	1069.4	960.5	19.7					
	400°C	1018.4	936.4	18.8	70.7	999.7	906.7	15.8	58.1
	500°C	1076.9	987.3	22.8	69.8	1078.3	1041.8	19.5	59.9
	600°C	908.1	880.5	24.2	74.3	825.4	808.2	19.8	61.7
	650°C	838.5	810.3	23.8	73.2	853.0	823.4	22.8	68.8
	675°C	841.3	747.6	23.1	69.3	840.6	706.2	23.1	74.5

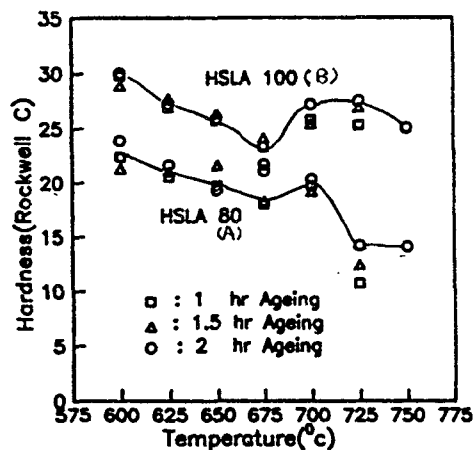


Fig. 1 Harsness change according to ageing temperature in HSLA-A
and HSLA-B steels