[논문] 한국소성가공학회지, 제 15 권 제 8 호, 2006
Transactions of Materials Processing, Vol.15, No.8, 2006

제어압연 · 제어냉각기술로 제조된 냉간성형용 비조질강의 소재특성

김남규[1] · 박상덕[1] · 김병옥[1] · 안재영[1] · 최회진[#]

Study of Material Properties of High Strength Microalloyed Steel for Cold Forming by Controlled Rolling and Cooling Technology

N. G. Kim, S. D. Park, B. O. Kim, J. Y. An, H. J. Choi

(Received October 12, 2006)

Abstract

The main purpose of the present study has been placed on investigating the mechanical properties and microstructures of C-Si-Mn-V steels for cold forming manufactured by controlled rolling and cooling technology. The steels were manufactured in electric arc furnace (EAF) and casted to 160x160 mm billet. The billets were reheated in walking beam furnace and rolled to coil, the stocks were rolled by Controlled Rolling and Cooling Technology (CRCT), so rolled at low temperature by water spraying applied in rolling stage and acceleratly cooled before coiling. Rolled coils were cold drawed to the degree of 16%, 27% of area reduction respectively without heat treatment. Microstructual observation, tensile test, compression test and charpy impact tests were conducted. The mechanical properties of the steels were changed by area reduction of cold drawing and it is founded that there are optimum level of cold drawing to minimize compression stress for these steels. From the result of this study, it is conformed that 80kg$_f$/mm^2, 90kg$_f$/mm^2 grade high strength microalloyed steel for cold forming are developed by accelerated cooling and optimum cold drawing

Key Words : Controlled Rolling, Controlled Cooling, Steel for Cold Forming, Mechanical Property, Cold Drawing

1. 서 론

자동차 부품 및 산업기계 부품으로 사용되는 특수강은 최종제품의 강도특성을 확보하기 위해 퀜칭 · 템퍼링의 조질처리를 행하는 것이 일반적인 공정이나, 환경 및 제조비용 문제로 열처리의 생략 또는 단순화가 끊임없이 요구되고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 냉간성형제품에 대해서 열처리를 생략할 수 있는 냉간성형용 비조질강이 개발되어 오고 있다.

냉간비조질강은 C-Mn계에 Ti, B, V등의원소를 첨가하여 개발되어 오고 있으며, 본 연구에서는 C-Si-Mn-V 합금계에서 제어압연 및 제어냉각기술를 이용하여 냉간성형성이 우수한 압연재를 제조하고 또한 적정 신선감면율을 적용하여 냉간성형시에 압축변형저항이 최소화되는 조건을 도출함으로써, 최종적으로 냉간성형성이 우수한 제품강도 90kg$_f$/mm^{2}급의 고강도 냉간비조질강을 개발하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 제강

본 연구에서 사용한 강은 CHQ볼트로 사용되는 C-Si-Mn-V강으로 화학성분은 Table 1과 같으며, 강

1. ㈜세아베스틸 기술연구소
교신저자 : ㈜세아베스틸 기술연구소
E-mail : kimnk@chol.com

Table 1 Chemical compositions of the steel in this study

Steel type	C	Si	Mn	Cr	Other element
H1	0.15	0.13	1.0	0.35	V added
H2	0.17	0.12	1.3	0.35	V added
H3	0.15	0.12	1.5	0.35	V added

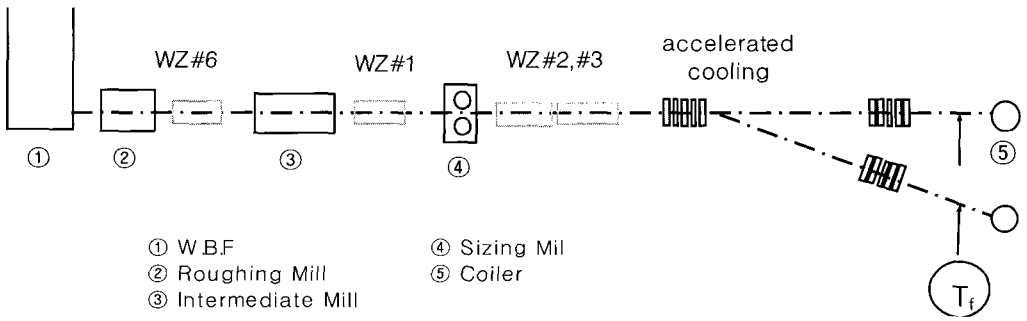

Fig. 1 Controlled rolling and cooling system used in this study

종 H1은C-Si-Mn계에V를 첨가한 강이며 H2 및 H3 역시 C-Si-Mn계에 소재의 강도를 고려하여 V 함량을 증가시켰다. 이 강들을 70톤 전기로(EAF)에서 제강하여, 소형압연 작업이 가능하도록 160×160빌렛으로 제조되었다.

2.2 제어압연 제어냉각

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 제어압연 제어냉각 시스템이며, 재가열된 소재(160x160)는 조압연 후단 및 최종압연 선단에 설치된 수냉대 (WZ#6, WZ#1)를 통과하여 최종 압연 size Φ16로 압연하였으며, 마무리 압연온도 850~900℃로 저온압연된 소재는 최종압연기 후단에 설치된 수냉대(WZ#2)와 신설된 가속냉각장치에서 냉각시켜 결정립의 미세화를 꾀하였다.

압연조건 및 소재온도를 Table 2에 나타내었다. 소재가 WZ#1 및 WZ#2의 냉각시에는 냉각수에의한 수냉을 적용하였으며 그 이후의 가속냉각장치에서 냉각시는 냉각수와 air를 소재에 동시에 공급하여 균일냉각이 되도록하였다.

Table 2 Controlled rolling and cooling condition of the steel at Bar in Coil Line

Steel	Reheating Temp. (℃)	Water Flow rate (m^3/hr)			Temp (℃)	
		WZ#1	WZ#2	Accel. cooling	Final rolling	Coiling
H1,H2	1100	80	50	40	850~900	700
H3	1100	60	80	50	850	650

2.3 신선작업

Φ16로 압연된 선재를 산세 및 피막처리후에 Φ14.7 및 Φ13.7로 신선하였으며 이때의 신선감면율은 각각 16%와 27%이며, 조질강의 경우는 신선전에 구상화 열처리를 행하지만 본 강종은 별도의 열처리를 행하지 않았으며 신선완료된 신선재는 최종제품으로 냉간성형되고 성형뒤에서 강도확보를 위한 별도의 QT 열처리를 적용하지 않았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인장시험결과

Table 3에 나타난 바와 같이 압연재의 경우 H1,H2강종은 인장강도가 50~55kg_f/mm^2이며 H3의 경우는 72kg_f/mm^2로 H1,H2에 비하여 상대적으로 높은 강도를 나타내었다.

신선재의 인장특성의 경우는 신선감면율이 상승될수록 인장강도와 항복강도가 상승되고 연신율과 단면감소율이 감소되는 특성을 보이고 있다. 신선감면율이 27%까지의 증가(Φ13.7까지 신선)하여도 연신율이 13% 이상을 확보하면서도 H1은 50.1~69.4kg_f/mm^2, H2는 55.4~78.9kg_f/mm^2, H3는 72.7~94.8kg_f/mm^2의 신선재 인장강도수준을 나타내었다. 신선에 따라 확보된 강도와 후속의 최종 제품성형시의 강도상승으로 고려하면 QT열처리를 생략하고도 80kg_f/mm^2급 및 90kg_f/mm^2급 강도의 최종 제품을 제조 할 수 있었다.

Table 3 Result of tensile test of the coil

grade	Size	TS (kg_f/mm^2)	YS (kg_f/mm^2)	EL (%)	ROA (%)
H1	Φ 16 (as rolled)	50.1	30.1	28.3	73.7
	Φ 14.7 (drawed)	66.0	56.6	16.4	63.2
	Φ 13.7 (drawed)	69.4	62.9	15.1	62.6
H2	Φ 16 (as rolled)	55.4	33.6	26.7	74.1
	Φ 14.7 (drawed)	71.9	59.8	15.3	63.6
	Φ 13.7 (drawed)	78.9	71.9	13.2	62.5
H3	Φ 16 (as rolled)	72.7	60.4	23.5	75.2
	Φ 14.7 (drawed)	83.9	76.6	15.5	73.6
	Φ 13.7 (drawed)	94.8	87.5	13.8	68.7

Fig. 2 에 강종별 신선량의 증가 즉 선경의 감소에 따른 인장강도와 단면감소율을 나타내었으며, 신선량의 증가에 따라 단면감소율이 감소되는 양상을 보면 H1 및 H2는 Φ14.7 에서 단면감소율의 감소가 크게 나타나는 반면 H3 의 경우는 Φ 13.7 에서도 단면감소율의 감소가 상대적으로 크지 않는 특성을 나타내고 있다. 이것으로 볼 때 H3 강종의 강도대비 연성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

3.2 조직관찰 및 충격시험결과

압연선재의 샤르피충격 시험결과를 Fig. 3에 표시하였으며 충격인성은 H1, H2 및 H3 모두 양호한 충격치를 나타내며, 특히 저온충격치(-40℃)의 감소가 매우 적어 상온충격치와 그다지 큰 차이가 없다. 본 개발강은 압연상태의 강도가 H1에서 H3로 갈수록 강해지는 특성에도 불구하고 충격치의 저하는 매우 작은 상태을 나타내는 반면 냉간비조질강이 아닌 비교재의 경우 저온충격치의 저하가 크게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. Photo 1에서 나타난 바와 같이 H1, H2 및 H3 강종은 미세한 페라이트 및 펄라이트로 구성되어 있으며 H3 강종의 결정립크기가 가장 미세한 상태를 나타내고 있다. 이것은 H3강종이 V함량이 높고 압연 마무리온도가 낮아 결정립 미세화 효과가 두드러지게 나타난 것으로 판단된다.

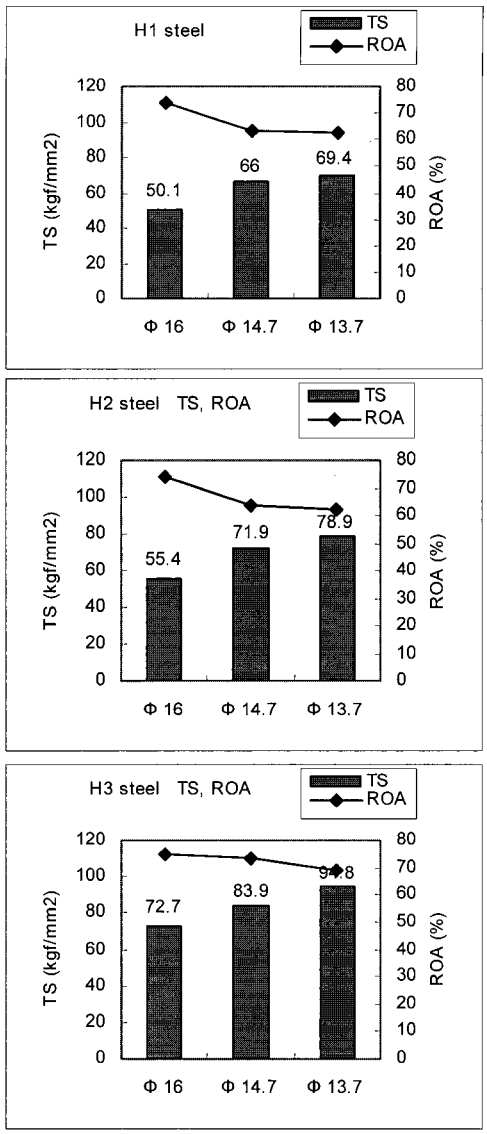

Fig. 2 Tensile strength and reduction of area for H1, H2, H3 steel

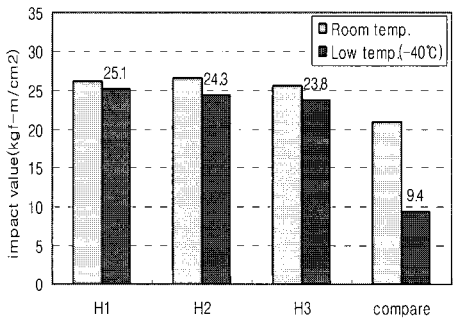

Fig. 3 Impact values of the coils(as rolled state)

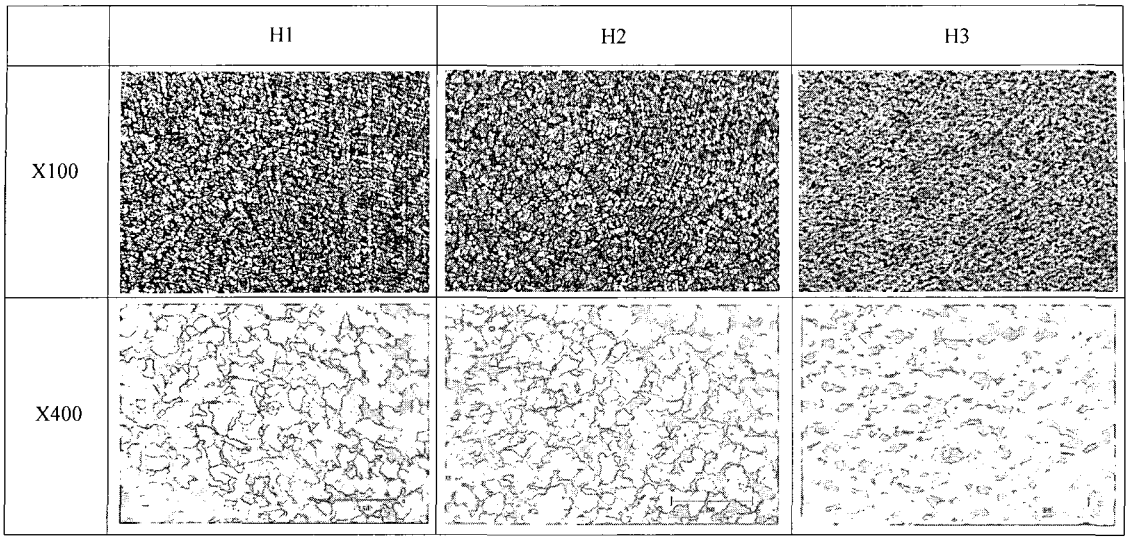

Photo 1 Microstructure of the steels(As rolled state)

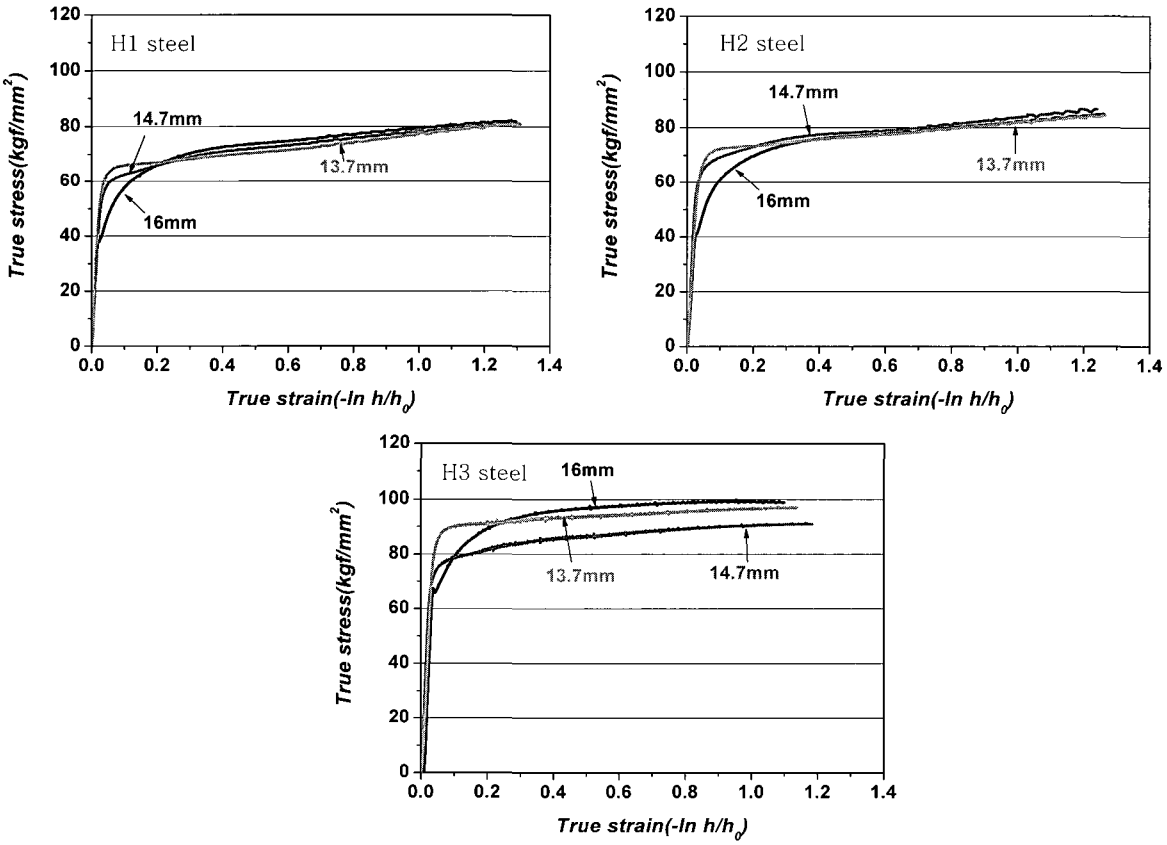

Fig. 4 Flow stress of H1, H2, H3 steel

Table 4 K and n value of the steel from flow stress curve

grade	item	size		
		Φ16	Φ14.7	Φ13.7
H1	K(kg_f/mm^2)	77.7	77.4	72.9
	n	0.084	0.099	0.047
H2	K(kg_f/mm^2)	81.0	82.87	79.52
	n	0.088	0.079	0.044
H3	K(kg_f/mm^2)	110.4	90.42	98.69
	n	0.145	0.074	0.058

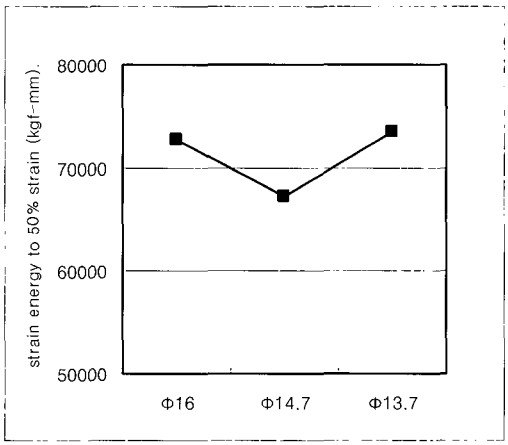

Fig. 5 Strain energy to 50% strain of H3 steel

3.3 압축시험결과

압연선재(Φ16) 및 신선재(Φ14.7, Φ13.7)을 직경 Φ10, H=15(H=1.5d)의 시편으로 가공하여 3mm/min의 압축속도로 압축시험을 실시하였으며 그 시험결과를 Fig. 4에 표시하였다. 또한 Fig. 4의 유동곡선으로부터 강도계수, K(kg_f/mm^2) 및 가공경화지수 n을 구하여 Table 4에 표시하였다. 신선량의 증가에 따라 강도계수는 증가하고 가공경화지수는 감소하는 특성을 나타내고 있다. Fig. 4에 나타난 바와같이 H1,H2는 신선량이 증가함에 따라 압축강도가 약간 감소되었으며, H3의 경우는 Φ14.7에서 압축강도가 감소되었다가 Φ13.7에서 압축강도가 다시 상승되는 현상을 보여주고 있다.

H3의 경우 16%의 신선감면율(신선재 Φ14.7)에서 압축변형저항이 감소되는 바우싱거효과가 크게 나타났으며, Fig. 5와 같이 50%변형까지의 변형에너지 값도 신선재 Φ14.7에서 최소화되는 특성을 나타내고 있다.

결국 신선재의 압축시험결과 H1, H2의 경우 16~27%의 신선감면에서 변형저항의 감소가 크고, H3의 경우 16%의 신선감면율에서 변형저항의 최저상태를 나타냄을 알 수 있었다. 변형저항이 감소되는 적정신선량을 선택하여 냉간성형시 금형부하의 감소효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

또한 소재을 압축시의 어느 정도까지 변형시켰을 때 소재 표면 터짐이 발생하는지를 확인하기 위하여 압축시편과 동일한 직경 Φ10시편을 제작(시편높이=1.5x소재경)하여 압축률에 따른 소재 표면터짐을 조사한 결과 H1, H2 및 H3 모두 80%까지 변형하여도 소재 표면터짐이 발생하지 않았다. 즉 본 개발 강종의 한계압축률은 80%이상으로 냉간성형성이 우수한 특성을 나타내었다.

4. 결 론

전기로용해(EAF)로 제조한 냉간성형용 C-Si-Mn-V계 강을 제어압연 및 가속냉각을 적용하여 생산한 선재 및 신선재의 기계적성질은 다음과 같다.

(1) 제어압연 및 제어냉각을 적용하여 압연상태 연신율과 단면감소율이 우수한 인장강도 50~72kg_f/mm^2급의 선재을 개발하였으며 선재의 Charpy저온충격치는 23kg_f-m/cm^2이상으로 상당히 우수한 특성이 얻어졌다.

(2) 신선감면율에 의한 냉간가공시의 압축변형저항을 조사한 결과 H1, H2강은 16~27%에서 변형저항의 감소가 크고, H3강종은 16%에서 변형저항이 최저가 되었으며 16%의 신선감면율을 적용할 경우 바우싱거효과가 크게 나타남을 확인하였다.

(3) 본 개발강의 표면가공상태의 한계 압축율은 80%이상의 우수한 특성을 나타내었다.

(4) 압연선재의 초기강도의 선정, 적정 신선감면율 적용을 통하여 QT열처리를 생략하고도 제품성형후에 제품강도가 80 kg_f/mm^2급, 90 kg_f/mm^2급의 냉간비조질강 제품 생산이 가능하게 되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 청생생산기술 사업인 "차세대 환경친화형 고강도 냉간단조 비조질강 제품개발" 사업의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] Masato Kaiso, Dr. Masamichi chiba, 2002, KOBE STEEL Engineering Report 52.

[2] Ryuji koyama, Masstsu Higurashi, Shuichi Fukusima, Hyoji Hagita, May 1995, South asia iron & steel institute conference,.

[3] 한철호, 이종수, 이호조, 신정호, 1997, 세아베스틸기보, 12, 70.

[4] 장병록, 신정호, 한철호, 이종수, 1997, 세아베스틸기보, 13, 30.

[5] 이영선, 이정환, 이상용, 1998, 한국소성가공학회지, 제 7 권 제 6 호, pp. 530~538.

[6] 김병홍, 최규성, 허춘열, 김경원, 제 5 회 압연심포지엄, pp. 27~36.