

# 제어압연 · 제어냉각기술을 이용한 고강도 냉간성형용 비조질강의 개발

김남규\* · 박상덕\* · 김병옥\* · 최희진\*

## Development of High Strength Microalloyed Steel for Cold Forming by Controlled Rolling and Cooling Technology

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

### Abstract

The main purpose of the present study has been placed on investigating the effects of controlled rolling and cooling on the microstructures and mechanical properties of C-Si-Mn-V steels for cold forming. The steels were manufactured in vacuum induction melting(VIM) furnace and casted to 1.1ton Ingots and the ingots were forged to □150 billet. The forged 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 drawn to the degree of 27% of area reduction without heat treatment. Microstructural 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 mechanical properties and microstructure of C-Si-Mn-V steels for cold forming were enhanced by accelerated cooling and founded optimum level of cold drawing

**Key Words** : Controlled rolling, Controlled cooling, Steel for cold forming, Mechanical property, Cold drawing

### 1. 서론

자동차 부품 및 산업기계 부품으로 사용되는 특수강은 최종제품의 강도특성을 확보하기 위해 퀸칭·템퍼링의 조질처리를 행하는 것이 일반적인 공정이나, 이러한 열처리 수행에 따른 대기 및 수질오염등의 환경문제, 제조비용의 상승, 납기 지연등의 문제를 야기하게 된다.

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

본 연구에서는 C-Si-Mn-V 합금계에서 제어압연 및 제어냉각기술을 이용하여 냉간성형성이 우수한 압연재를 제조하고 또한 적정 신선감면율을 적용하여 냉간성형시에 압축변형저항이 최소화되는 조건을 도출함으로써, 최종적으로 냉간성형성이 우수한 80kgf/mm<sup>2</sup>급의 고강도 냉간비조질강을 개발하고자하였다.

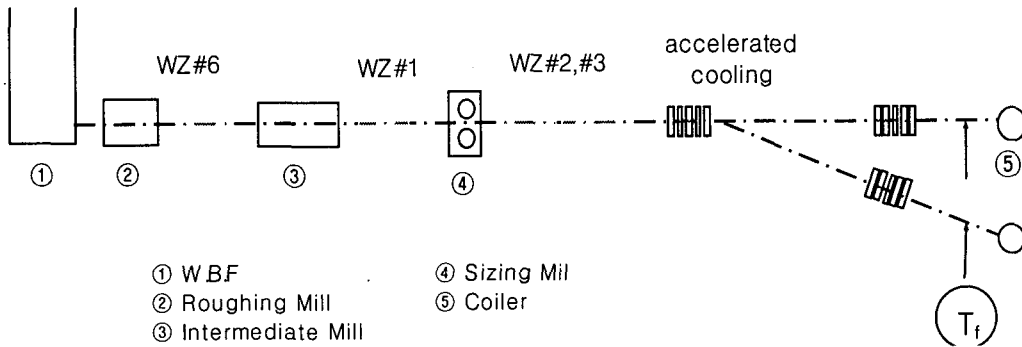
### 2. 실험방법

#### 2.1 제강 및 단조

\* (주)세아베스틸 기술연구소

**Table 1. Chemical compositions of the steel in this study**

Steel type	C	Si	Mn	Cr	Other element
A	0.110	0.118	1.60	0.646	V, Ti, B
B	0.139	0.125	1.546	0.342	V
C	0.194	0.124	1.556	0.095	V, Ti



**Fig. 1. Controlled Rolling and Cooling system used in this study**

본 연구에서 사용한 강은 CHQ 볼트로 사용되는 C-Si-Mn-V 강으로 화학성분은 표 1 과 같으며, 강종 A는 C-Si-Mn-V 에 Ti 및 B 을 첨가한 강으로 C 가 0.1%로 비교적 낮으며 Ti, B 에 의한 강화를 목적으로 하였다. B 강종은 0.15%의 C 에 첨가원소를 단순화한 것이며, C 강종은 0.2%의 C 에 Ti 첨가에 의한 강화를 목적으로 한 강이다. 이 강들을 진공유도용해(VIM)하여 1.1 톤 잉곳을 제조하였으며, 소형압연 작업이 가능하도록 □150 으로 단조하였다. 단조된 소재(□150)는 초음파검사를 실시하여 내부결함을 조사하고 잉곳 hot top 부등의 결함부를 절단제거하였으며, 표면결함부도 Grinding 제거하였다.

**2.2 제어압연 제어냉각**

그림 1.은 본 연구에서 사용된 제어압연 제어냉각시스템이며, 재가열된 소재(□150)는 조압연 후 단 및 최종압연 선단에 설치된 수냉대 (WZ#6, WZ#1)를 통과하여 최종 압연 size Φ16 로 압연하였으며, 마무리 압연온도 800℃로 저온압연된 소재는 최종압연기 후단에 설치된 수냉대(WZ#2)와 신설된 가속냉각장치에서 냉각시켜 결정립의 미세화를 꾀하였다.

압연조건 및 소재온도를 표 2 에 나타내었다. 소재가 WZ#1 및 WZ#2, 의 냉각시에는 냉각수에 의한 수냉을 적용하였으며 그 이후의 가속냉각장치

에서 냉각시는 냉각수와 air 를 소재에 동시에 공급하여 균일냉각이 되도록하였다.

B, C 강종은 상기의 표 2 의 조건에 의해 제조되었으나. A 강종의 경우는 WZ#2 및 가속냉각은 적용되지 않고 제조되었다.

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

Reheating Temp. (°C)	Water Flow rate (m <sup>3</sup> /hr)			Temp (°C)	
	WZ#1	WZ#2	Accel. cooling	Final rolling	Coiling
1100	100	60	70	800	550

**2.3 신선작업**

Φ16 로 압연된 선재를 산세 및 피막처리후에 Φ14.7 및 Φ13.7 로 신선하였으며 이때의 신선감면율은 각각 16%와 27%이며, 조절강의 경우는 신선전에 구상화 열처리를 행하지만 본 강종은 별도의 열처리를 행하지 않았으며 신선완료된 신선재는 최종제품으로 냉간성형되었다

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1 인장시험결과**

표 3 에 나타난 바와 같이 압연재의 경우 B, C 강

중은 인장강도가 75kgf/mm<sup>2</sup> 으로 유사하며 A 강종은 인장강도 70.9kgf/mm<sup>2</sup> 으로 약간 낮으며 항복강도가 매우 낮아 전체적으로 열위의 기계적 특성치를 나타내고 있다.

신선재의 인장특성의 경우는 신선감면율이 상승될수록 인장강도와 항복강도가 상승되고 연신율과 단면감소율이 감소되는 특성을 보이며, B 강종이 C 강종에 비하여 신선감면에 따른 연신율 및 단면감소율의 감소가 작아 전체적으로 볼 때 B 강종의 인장특성치가 가장 양호함을 알 수 있다.

### 3.2 충격시험결과

Fig2 에 나타난 바와 같이 충격인성은 B 및 C 강종은 양호한 특성을 나타내며, 특히 B 강종의 경우는 상온충격치 뿐만아니라 저온(-40℃)충격치도 우수한 특성을 나타내고 있다. 사진 1 에서 나타난 바와 같이 B 강종은 저온에서도 연성파면을 나타내며, B 강종의 저온충격치가 높은 이유는 상대적으로 C 의 함량이 낮고 입계의 취화를 유발할 수 있는 석출원소가 적기 때문인 것으로 판단된다. 또한 현미경 조직상으로도 B 및 C 강종은 미세한 페라이트와 펄라이트로 구성되어 우수한 충격인성을 나타내는 것을 알 수 있다.

### 3.3 압축시험결과

압연선재(Φ16) 및 신선재(Φ14.7, Φ13.7)을

Table 3 Result of tensile test of the coil

	Size	TS (kgf/mm <sup>2</sup> )	YS (kgf/mm <sup>2</sup> )	EL (%)	ROA (%)
A	Φ 16 (as rolled)	70.9	44.4	24.5	67.9
B	Φ 16 (as rolled)	75.2	63.4	27.0	75.2
	Φ 14.7 (drawn)	83.9	76.6	15.5	73.6
	Φ 13.7 (drawn)	94.8	87.5	13.8	68.7
C	Φ 16 (as rolled)	75.2	58.6	26.1	71.2
	Φ 14.7 (drawn)	83.3	74.2	14.7	67.7
	Φ 13.7 (drawn)	96.3	90.9	12.8	61.2

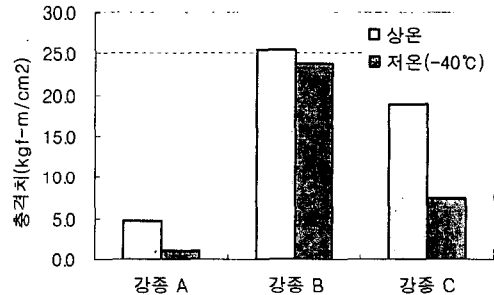


Fig 2 Impact value of the coils (as rolled state)

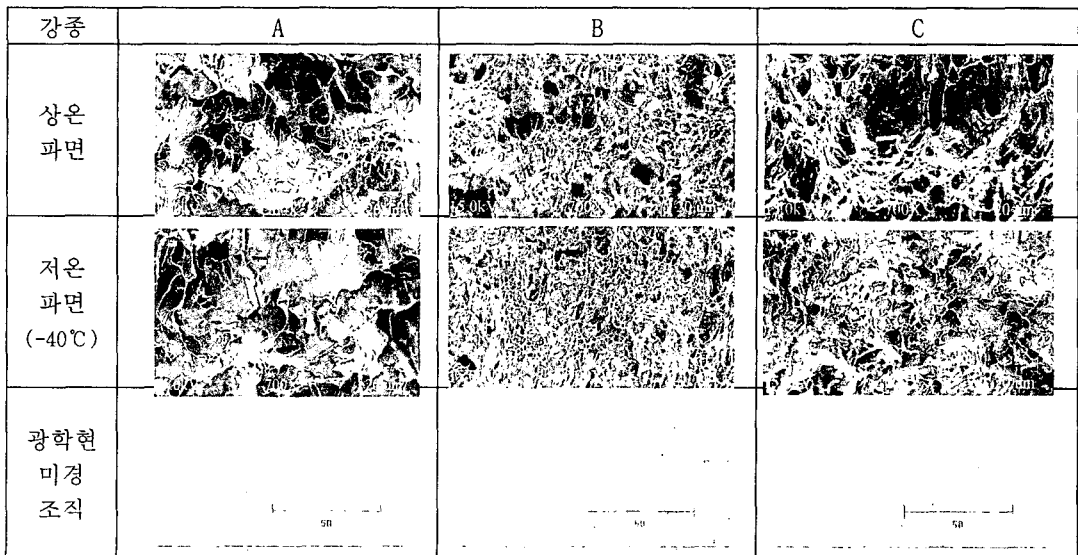


Photo 1. Charpy impact broken surface and micrstructure of the steels (As rolled state)

직경  $\Phi 10$ ,  $H=15$  ( $H=1.5d$ )의 시편으로 가공하여 압축시험을 실시하였다. 50%변형시의 압축응력을 조사하였으며 그 결과를 그림 3에 표시하였다. 압연상태에서의 압축강도보다 신선상태의 압축강도가 감소하는 바우싱거효과가 B 및 C 강종 모두 나타났으며, B 강종의 경우 16%의 신선율에서의 압축강도가 C 강종보다 작아짐을 확인하였다. 또한 3.1) 인장시험결과에서 나타난 바와같이 압연재 B 및 C의 인장강도가 같은 수준이지만 16%의 신선시 B 강종의 압축강도가 낮기 때문에 16%신선 범위에서 B 강종의 냉간성형성이 우수하다고 할 수 있다.

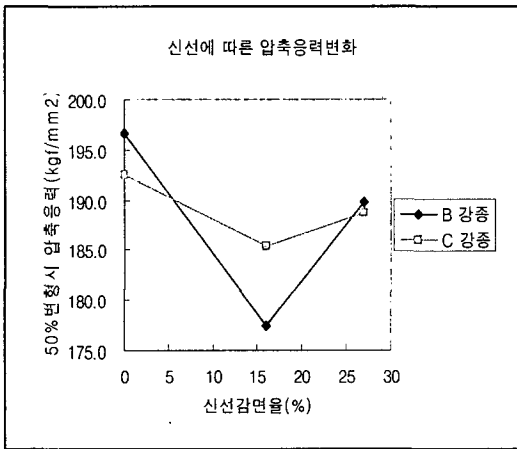


Fig. 3. Compressive stress of cold drawn steels

#### 4. 결론

진공유도용해(VIM)로 제조한 냉간성형용 C-Si-Mn-V 계 강을 제어압연 및 가속냉각을 적용하여 생산한 선재 및 신선재의 기계적성질은 다음과 같다.

(1) 마무리압연 전에 수냉을 통하여 마무리 압연온도를 낮추고 마무리압연 후에 가속냉각을 실시한 B 강종 선재의 Charpy 상온충격은 25kgf-m/cm<sup>2</sup>으로 상당히 높은 값이 얻어졌다.

(2) 75kgf/mm<sup>2</sup> 급의 압연선재를 16%의 신선감면율로 신선시 인장강도는 83~84kgf/mm<sup>2</sup> 급의 신선재가 얻어졌으며, 이 신선감면율에서 압축강도가 가장 낮은 값을 나타내었다..

(3) 특히 B 강종의 경우 신선감면율을 16%에서 가장 낮은 압축강도를 나타내어 냉간성형성이 우수하면서도 상온 및 저온 충격치가 우수한 특성을 나타내었다.

(4) 본 강종(B 및 C강종)은 적정 제어압연 조건과 적정 신선감면율을 적용시 신선단계 및 냉간성형후의 QT열처리를 생략하고도 냉간성형용 제품화가 가능하다고 판단된다.

#### 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, KOBE STEEL Engineering Report 52(2002), 52
- (2) 한철호, 이종수, 이호조, 신정호, 기아특수강기보, 12 (1997), 70
- (3) 장병록, 신정호, 한철호, 이종수, 기아특수강기보, 13 (1997), 30
- (4) 김병홍, 최규성, 허춘열, 김경원, 제 5 회 압연심포지엄 pp.27~36