

## 제어압연에 의한 표면미세립강의 제조기술

신정호, 박상덕, 이정환, 이용희, 장병록  
기아특수강(주) 금속기술연구소

### The Production Technology of Surface Fine Grain Steels by Controlled Rolling and Cooling Technology

J. H. Shin, S. D. Park, J. H. Lee, Y. H. Lee and B. L. Jang  
R & D Center for Metallurgy, Kia Steel Co., Ltd.

#### Abstract

Grain refinement of the structural steels was selected as the most effective method to meet improvement of strength and toughness without heat treatment. So, the future research and developing direction of ultra fine grain steels are more and more required to response to the production of eco - materials (environmental consciousness - materials)

In this paper, the product of surface fine grain steels by CRCT and Inverse Transformation Method by warm deformation of martensite is carried out in order to improve the production process of Dowel Bar.

It is possible to obtain surface ultra fine grain steel, when warm deformation of martensite formed after quenching is carried out from 730°C to 800°C in the finishing rolling step. The characters of surface with ultra fine grain steel is showing the cementite particles inside the ferrite grain and fine ferrite grain of about 1.2 $\mu$ m in size.

**Key words** : grain refinement, CRCT, Inverse Transformation Method, warm deformation of martensite

#### 1. 서론

철강재료의 결정립미세화는 고강도화와 고인성화를 양립시킬 수 있는 중요한 강화기구로서 지금까지 많은 연구가 진행되고 있다(1). 비교적 용이하게 공업적으로 이용되고 있는 결정립미세화 방법으로는 제어압연·제어냉각기술(Controlled Rolling and Cooling Technology ; CRCT), 변태를 이용한 대압하·급냉법, 역변태법, 가공·재결정법 등이 있다. 이들 방법 중에서 가장 많이 이용되고 있는 CRCT를 이용하면 통상의 열간압연재가 약 20 $\mu$ m 정도인 것에 비해 10 ~ 15 $\mu$ m 정도의 미세한 결정립을 얻을 수 있다(2). 한편 대압하·급냉법, 역변태법, 가공·재결정법은 결정립미세화의 목표를 1 $\mu$ m 이하의 초세립강을 창출하기 위한 방법(3-5)으로 일본 및 국내에서는 초세립강의

제조를 위한 대형 프로젝트로 수행되고 있다. 특히 최근 들어 환경보존에 대한 관심이 커짐에 따라 결정립미세화는 합금원소의 사용을 최소화할 수 있는 환경친화형 재료 (eco - materials)의 제조수단으로 각광을 받고 있다(1,6).

본 연구에서의 CRCT와 역변태법을 이용한 표면미세립강의 제조목적은 활주로 콘크리트 보강용 강재인 Dowel Bar생산에 관련된 것으로 기존의 압연후 부가적인 후처리를 통해 항복강도의 요구규격을 만족시키는 공정을 개선하고자 하였다.

CRCT와 역변태법을 이용한 표면미세립강의 제조기술은 고속전철, 지하철, 하저터널 등 터널보강 구조물에 쓰이는 고장력봉강제조시 이용한 CRCT기술의 하나인 QST(Quenching and Self Tempering)압연기술을(7) 응용한 것으로 당사 소형압연공장내에 설치된 CRCT설비를 이용, Roughing Mill (RM) 후방에 설치된 WZ 6(Water Zone 6)을 이용하여 RM후방의 압연온도를 저온으로 유도하고 WZ 1(Water Zone 1, 18번 Stand후방)을 이용하여 표면경화층을 형성시킨 후 내부의 복열과 최종압연에 의한 가공열을 이용한 온간 가공으로 마르텐사이트에서 미세한 페라이트으로의 역변태를 이용한 표면 미세립화에 의해 항복강도를 상승시켜 Dowel Bar의 생산공정을 개선시키고자 하였다. 또한 당사에서도 일본 및 국내 포항제철에서 추진하는 차세대 구조용강(초미세립강) 개발에 맞춰 장기적, 미래지향적인 자세로 당사 소형압연 공장에 설치된 CRCT 설비를 이용하여 미세립강 제조기술 개발을 향한 체제 확립과 목적 달성을 위한 분위기 조성을 도모하고자 하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에 사용된 소재의 용해는 60톤 전기로를 이용하였으며 LF 및 VD를 거쳐 370mm × 480mm 규격의 연주bloom으로 주조된 후 분괴압연을 거쳐 □ 155 × 155 billet로 제조하였다. 소재의 화학성분은 표 1과 같다. 다음에 소형압연용 연속가열로에서 재가열하여 그림1에 나타낸 것과 같이 당사의 소형압연공장내에 설치된 CRCT설비를 이용하여  $\phi$ 40mm의 봉강으로 압연하였다.

표 2는 일반압연 및 표면미세립강을 제조하기 위한 제어압연조건을 나타낸 것이다. 표 2에 나타낸 조건으로 압연을 실시한 소재에 대해서 통상의 방법을 이용하여 조직관찰시편을 제작하여 광학현미경, 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였고, 명확한 결정립크기를 관찰하기 위해 투과전자현미경을 이용하여 미세조직을 관찰하여 결정립크기를 판정하였다. 강도측정은 무가공상태(full section bar)의 소재를 이용하여 인장 시험하여 강도를 판정하였으며, 비커스경도기를 이용하여 표면미세립부의 깊이 및 표면으로부터 깊이에 따른 경도분포를 측정하였다.

Table 1. Chemical composition of tested steels.

(wt. %)

C	Si	Mn	P	S
0.46	0.20	0.69	0.009	0.014

Table 2. The condition of conventional and CRCT.

구분	Temp. (°C)					수량(m <sup>3</sup> /h)	
	WZ 6 통과후	T <sub>2</sub> (H7)	T <sub>3</sub> (V18)	T <sub>4</sub> (H19)	T <sub>5</sub> (PBL)	WZ 6	WZ 1
일반압연	-	-	957	-	-	-	-
1차 trial	551	896	843	654~688	731~747	300	185
2차 trial	-	810	853	-	800	522	59.2
3차 trial	-	810~850	853~887	778~776	800~819	333~522	40

\*.주) WZ위치 및 온도측정위치 ; 그림 1의 개략도 참조

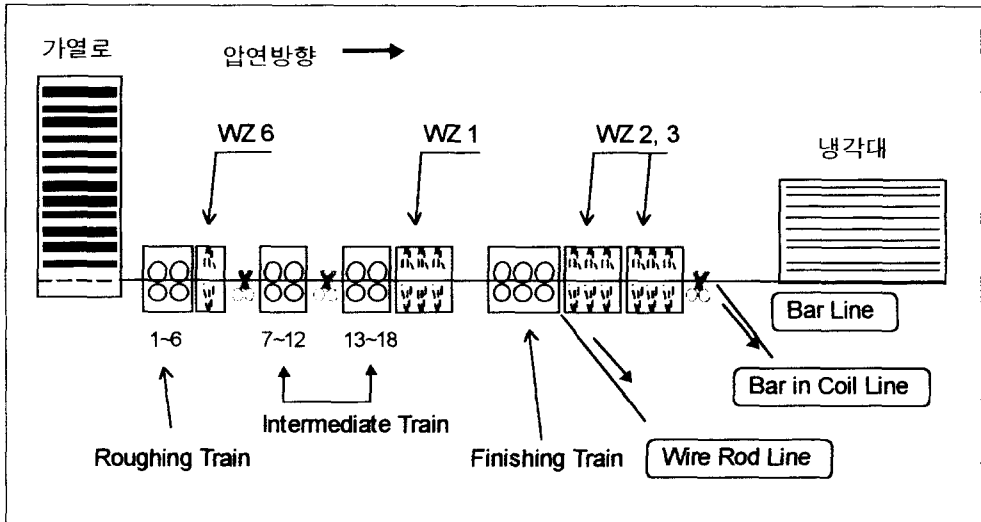


Fig. 1. Schematic illustration of small bar mill line in Kia Steel.

### 3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 표 2에 나타난 압연조건으로 3차에 걸쳐 실행한 소재의 표면부위를 광학현미경 조직 관찰결과이다. 모든 조건에서 그림 6의 일반압연재, 노말라이징 열처리한 소재에 비해 매우 미세한 페라이트조직을 나타낼 수 있다. 특히 1, 2차 조업적용재의 표면부위 미세조직은 광학현미경으로는 명확하게 구분할 수 없을 만큼의 미세한 조직이 관찰되었다.

그림 3은 1차 조업적용재를 표면으로부터 깊이에 따른 미세조직을 관찰한 것이다. 광학현미경 조직관찰에서 보듯이 표면으로부터 1mm 깊이까지는 명확하게 구분할 수 없는 매우 미세한 조직을 나타낼 수 있다. 3mm 깊이에서는 표면과 내부의 경계층으로 1mm 깊이에 비해 다소 조대하기는 하지만 5mm 깊이의 페라이트+퍼알라이트조직에 비해서는 매우 미세하게 나타났다. 표면으로부터 3mm 이하의 깊이에서는 퍼알라이트가 존재하지 않고 페라이트조직만이 존재하는 초세립의 조직을 갖는 표면초세립층이 형성되었다고 판단된다. 이러한 초세립을 갖는 조직을 광학현미경으로는 명확하게 구분할 수 없어 주사전자현미경과 투과전자현미경을 이용하여 확인하였고, 그 결과를 그림

4에 나타냈다. 그림 4는 1차조업적용재에 대해서 관찰한 것이다. 그림 4(a)는 주사전자현미경으로 관찰한 것으로 광학현미경 관찰결과 유사하게 명확한 페라이트결정립크기는 구분할 수 없다. 그림 4(b)는 투과전자현미경 관찰결과를 나타낸 것으로 평균입경  $1.2\mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 초세립의 페라이트가 존재함을 확인할 수 있다. 관찰결과에서 초세립을 갖는 조직의 특징은 퍼얼라이트가 존재하지 않고 대신에 시멘타이트가 구상으로 석출해있는 특이한 상태를 나타내었다. 한편 그림 5는 표면으로부터 깊이에 따른 마이크로 비커스 경도결과를 나타낸 것으로 초세립의 페라이트가 존재하는 표면부위가 페라이트+퍼얼라이트조직을 나타내는 중심부에 비해 다소 낮은 경도값을 나타냈다. 이상과 같이 투과전자현미경 관찰 및 경도측정결과 표면부에 평균입경  $1.2\mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 초세립의 페라이트 조직임을 확인하였고 그 깊이는 표면으로부터 3mm 이하였다.

野見山등(8,9)은 구조용강의 페라이트조직을 승온중에 가공에 의해 초세립화되는 야금현상을 이용하여 강판의 표층부에 초세립의 조직을 갖는 강판 즉 표층초세립강판(SUF ; Surface layer with Ultra Fine grained microstructure)을 1992년에 개발하였다. 한편 본 연구에서의 표면초세립강의 제조기술은 野見山 등의 연구와 달리 제어압연(CRCT)기술과 역변태법을 이용한 제조기술이다. 즉, 가열된 소재가 추출, 조압연실시후 water zone (WZ 6)을 통과하면서 수냉에 의한 저온압연효과와 최종압연전의 water zone WZ 1)을 통과하면서 표면으로부터 일정깊이까지(본 연구의 1st조건에서는 3mm 이하) 퀸칭되어 마르텐사이트 조직으로 되며 최종압연시 변형(온간가공)에 의해 페라이트로 변태, 마르텐사이트에서 페라이트로의 변태 되는 마르텐사이트의 역변태에 의해서 표면초세립이 창출되는 것이다.

표 3은 표면세립조직을 갖는 소재 및 CRCT재, CRCT+부가적인 후처리 소재의 기계적 성질을 나타낸 것으로 3차에 걸쳐 실시된 표면미세립강재의 경우 부가적인 후처리를 생략하고도 요구규격의 항복강도를 만족함을 알 수 있다. 따라서 제조공정개선에 따른 생산성증대, 제조원가 절감의 이점을 기대할 수 있다. 부가적인 후처리를 생략하고도 항복강도를 만족시키는 것은 Hall - petch 식(10)에 근거하면 표면부의 미세립화가 항복강도의 상승에 기여하기 때문이다. 제어압연재의 경우는 그림 6에서 보듯이 결정립 미세화효과가 현저하지 않기 때문에 요구규격을 충족시키려면 부가적인 후처리가 요구된다.

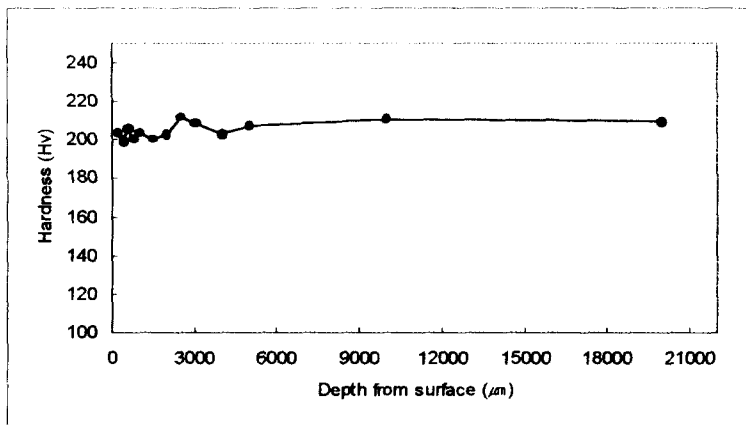


Fig. 5. Microhardness variation as a function depth from surface in the first trial CRCT.

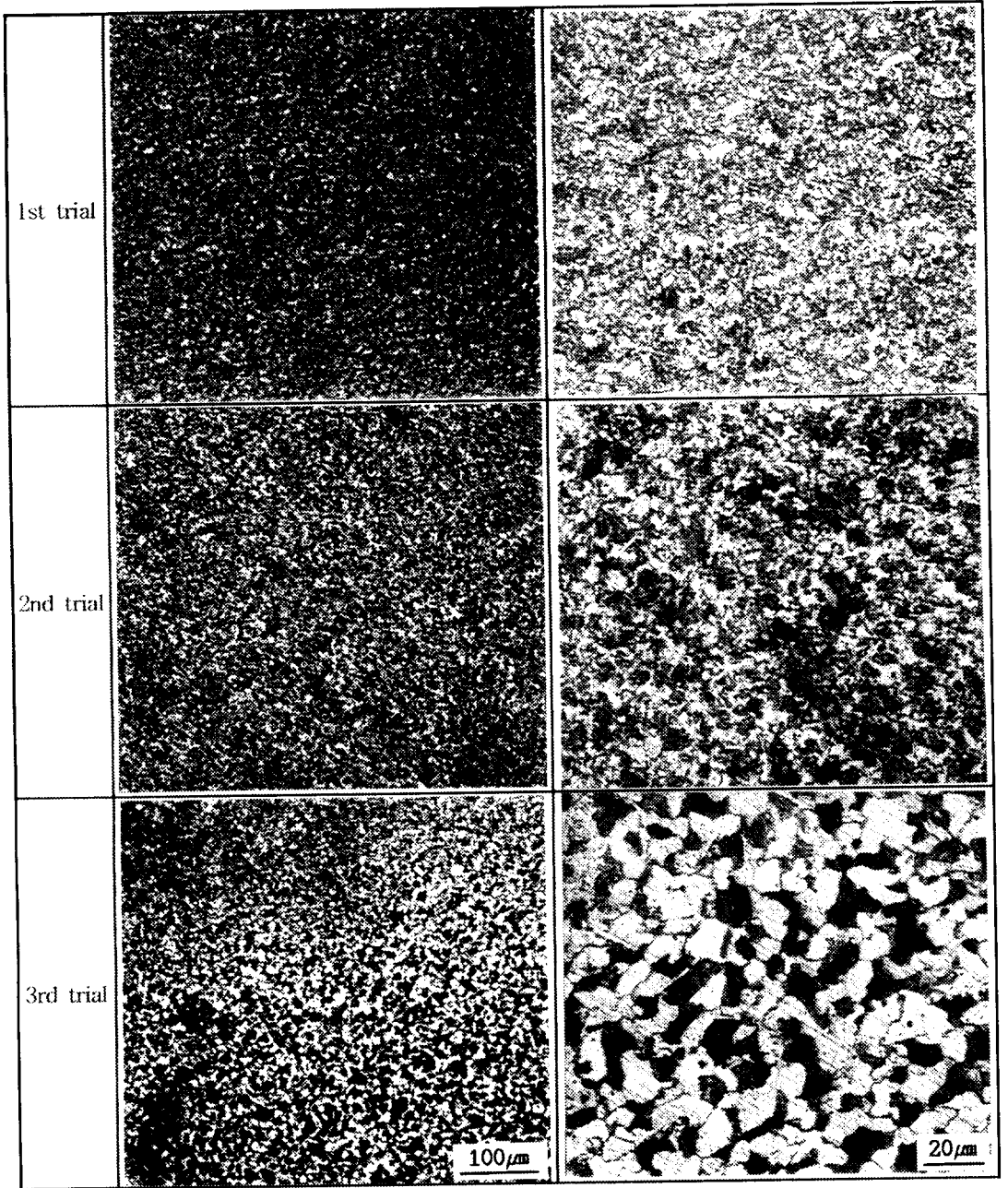


Fig. 2 . Optical microstructures of surface fine ferrite grain in each CRCT.

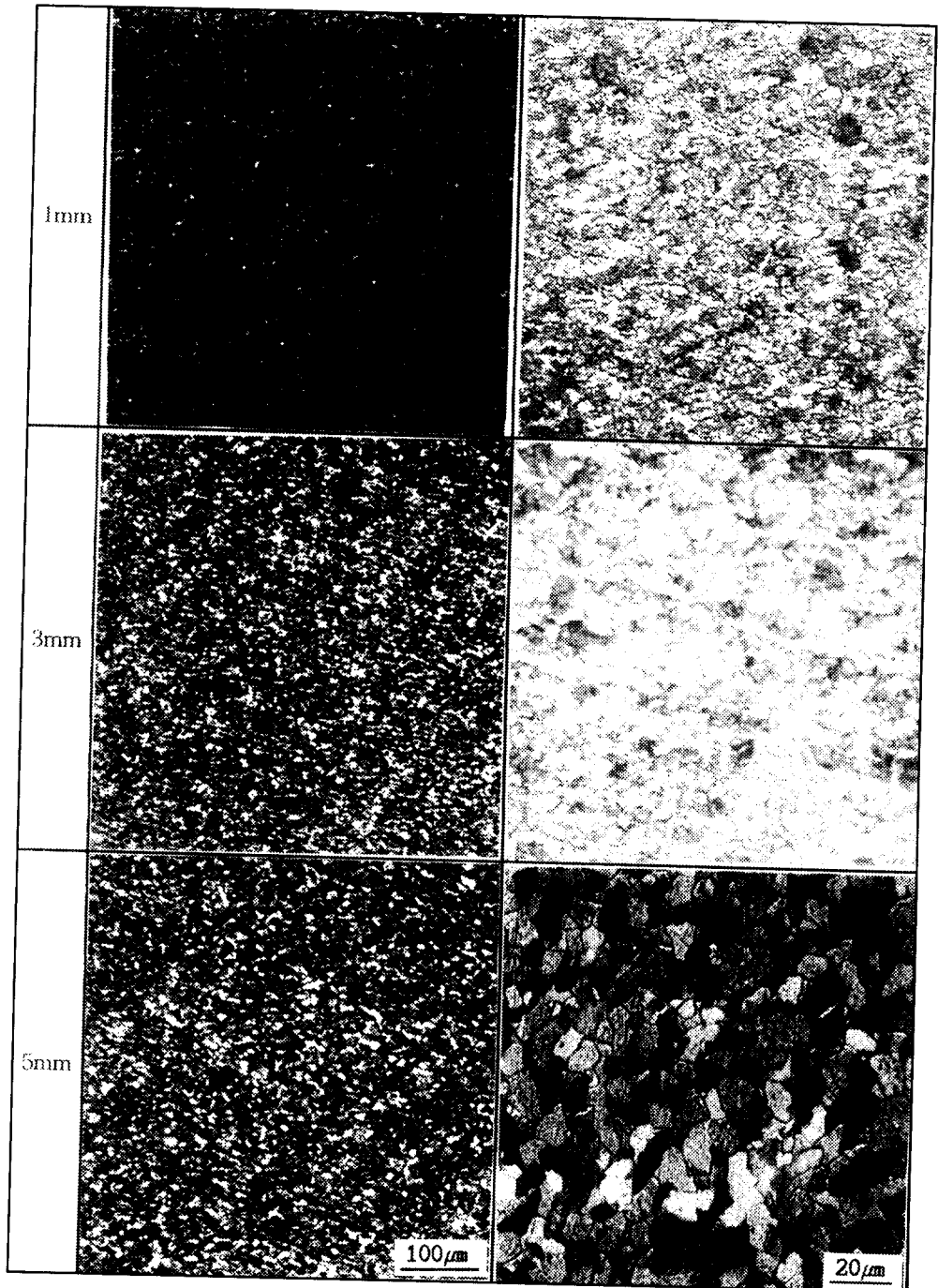


Fig. 3 . Optical microstructures variation as a function of depth from surface in the first trial CRCT.



Fig. 4 . SEM and TEM microstructures of surface fine ferrite grain in the first CRCT.

TEM microstructure showing the cementite particles inside the ferrite grain and fine ferrite grain of about  $1.2\mu\text{m}$  in size.

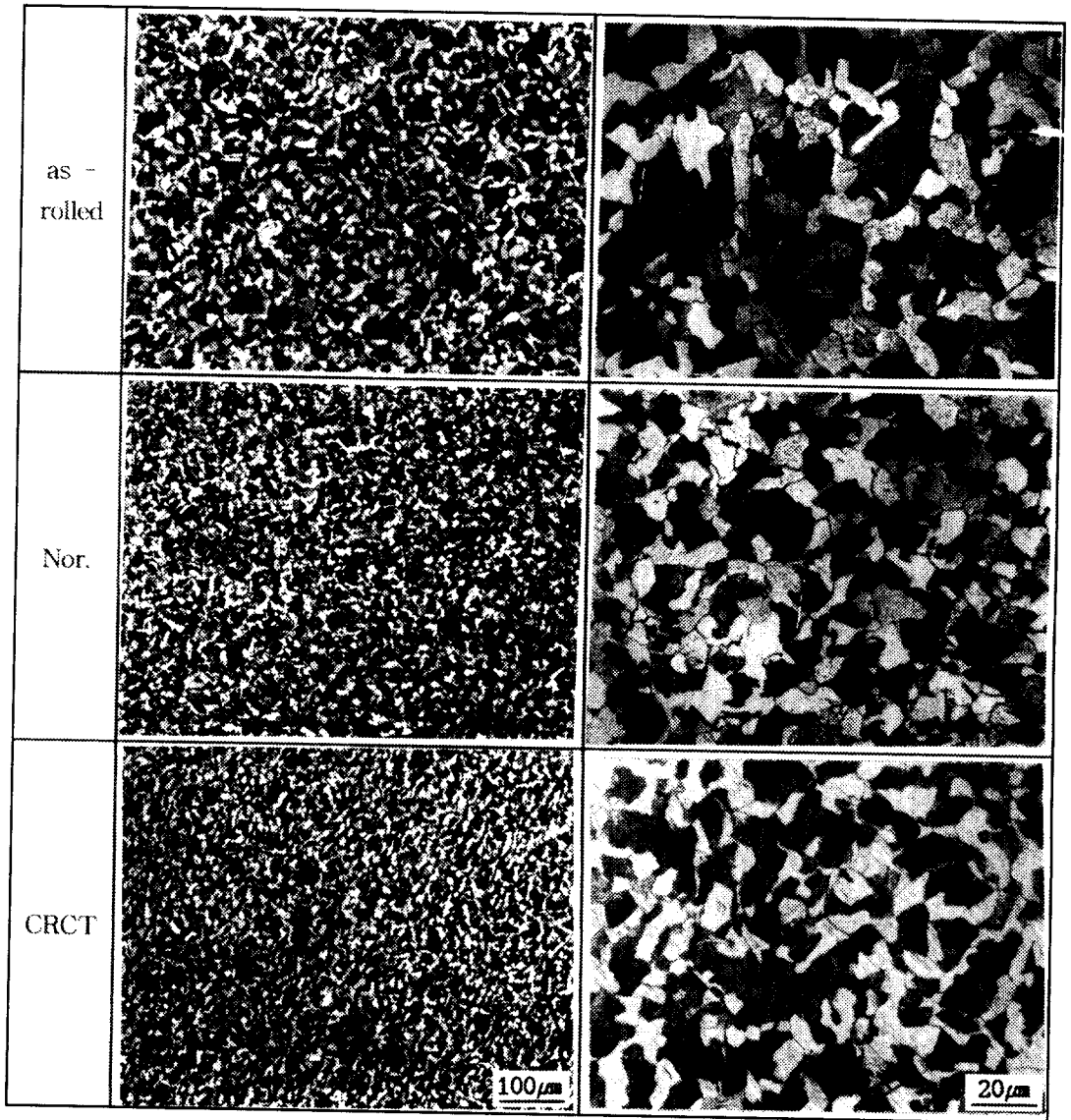


Fig. 6 . Optical microstructures of specimens for various rolled conditions and heat treated.



Table 3. The mechanical properties of the tested steels.

	YS (0.5%) (kgf/mm <sup>2</sup> )	TS (kgf/mm <sup>2</sup> )	비 고
Spec.	≥ 42.86	≥ 63.27	Tensile specimen ; Full Section Bar
	42.0	66.3	CRCT
	45.1	64.9	CRCT + 후처리
1	49.4	66.4	1st trial
2	53.5	67.9	
Ave.	51.5	67.2	
1	43.6	66.9	2nd trial
2	45.0	66.7	
3	45.3	66.2	
Ave.	44.6	66.6	
1	44.9	66.4	3rd trial
2	43.2	66.3	
3	44.0	66.2	
Ave.	44.0	66.3	

이상에서와 같이 WZ 1을 통과하면서 표면부위에 형성된 마르텐사이트 조직의 역변태에 의한 표면미세립강의 제조가 가능한 이유는 다음과 같다.

오스테나이트 영역에서 가열, 압연후 페라이트 + 오스테나이트 2상 영역에서 최종압연에 의해 얻어진 미세한 입은 입성장에 대한 구동력이 상당히 크기 때문에 페라이트 단일상인 경우 매우 빠른 속도로 입성장이 진행되어 미세한 페라이트 조직을 유지하는데 많은 어려움이 있는 반면 마르텐사이트 조직을 가열하여 페라이트 + 오스테나이트 2상 영역에서 압연을 하는 경우 변형된 페라이트는 재결정이 진행되어 미세하게 되고, 미세한 페라이트는 오스테나이트의 존재로 인하여 쉽게 성장하지 못하게 되기 때문에 매우 미세한 페라이트 조직을 유지하게 되기 때문이다(4).

#### 4. 결론

표면세립강의 제조하기 위해 CRCT와 마르텐사이트의 역변태법을 이용하여 유효한 결과를 얻었으며 이를 정리하면 다음과 같다.

1) 조압연후 WZ 6을 이용한 저온압연과 최종압연전 WZ 1을 이용한 표면부 퀴칭에 의해 표면부의 마르텐사이트조직 형성, 마르텐사이트 조직의 온간 가공에 의해 표면미세립강의 제조가 가능함을 확인하였다. 특히 1차조업적용조건에서는 평균입경 1.2 $\mu$ m 크기의 페라이트조직을 갖는 표면초세립을 나타냈다.

2) CRCT와 마르텐사이트의 역변태법을 이용한 표면미세립강 제조에 있어서 핵심인자는 CRCT설비를 이용한 저온압연과 표면부의 퀴칭에 의한 마르텐사이트 형성, 730 $^{\circ}$ C ~ 800 $^{\circ}$ C 범위에서의 최

종압연 즉 마르텐사이트의 온간 변형이라는 것을 확인하였다.

3) 표면미세립에 의해 항복강도 요구규격을 만족시키므로 기존의 공정단축이 가능하다. 이 결과로 생산성 증대, 제조공정 단축 및 제조원가 절감의 이점이 있다.

## 참고문헌

1. S. Matsuoka, K. Sakata et al, Tetsu-To-Hagane, vol. 85, No.6, pp. 471-478(1999).
2. T. Tanaka, Bull. Jpn. Inst. Met.,17, p. 104(1978).
3. 矢田浩, 瀬沼武秀, 村松義一, 鐵鋼基礎共同研究會鐵鋼の結晶粒微細化部會報告書 「鐵鋼の結晶粒超微細化」, 日本鐵鋼協會, p. 9(1991)
4. 鹿内伸夫, 本多孝行, 三瓶徹也, 鐵鋼基礎共同研究會鐵鋼の結晶粒微細化部會報告書 「鐵鋼の結晶粒超微細化」, 日本鐵鋼協會, p. 41(1991)
5. 林, 梅澤, 第2回超鐵鋼 워크숍 '98概要集, 金屬材料技術研究所, p.42(1998)
6. W. Y. Choo, J. Kor. Inst. Met. & Mater.,vol36, No.11, pp.1945-1965(1998)
7. J.S. Lee, C.H. Han, J.H. Shin, Kia Steel Tech. Rep., 10, pp.39-47(1996)
8. Y. Nomiyama et al, CAMP - ISIJ, p.1834(1994)
9. T. Hasegawa et al, CAMP - ISIJ, p.692(1995)
10. E. O. Hall, Proc. Phys. Soc. London, B64, p.747(1951)