압연기술의 미래개척, 이준정, 황상무 편
한국소성가공학회, 대한금속학회 1999 pp.262~271

Ti과 Nb에 의한 HSS 작업롤재의 미세조직 제어

김 진수*,김 동규*,최 진원**,이 회춘***
금속공학과, 동아대학교*
기술연구소, 포항종합제철(주)**
기술연구소, 강원산업(주)***

Microstructural Control of High Speed Steel Roll Material with Titanium and Niobium

J. S. Kim*, D. G. Kim*, J. W. Choi** and H. C. Lee***
Metallurgical Engineering Department, Dong-A University*
Kwangyang Technical Research Labs. POSCO**
Roll Technology Department, Kangwon Industries***

Abstract

This work was intended to modify the solidification structure of high speed steel roll material for hot strip mill, by the introduction of alloying elements designed to form primary carbide dispersions via melt treatment procedure. Solidification structure was modified by the melt treatment with titanium and niobium, resulting in both refinement of dendrite structure and modification of carbide shape and distribution. This modifying effect could be attributed to the fact that the nuclie formed at high temperature upon inoculation induce the formation of fine equiaxed grain and primary carbide during solidification, which is also likely to be responsible for the fact that TiC acts as effective nuclie for primary VC solidification.

Key words : High Speed Steel Roll, Hot Strip Mill, Niobium, Titanium, Melt Treatment

1. 서 론

열간 사상 압연용 작업롤은 강판 표면품질 및 롤 원단위 향상을 위해, 기존의 Ni-Grain 롤 및 Hi-Cr 롤에 비하여, 롤 재질 면에서 내마멸성과 내열피로성이 대폭 개선된 고속도강계 롤(이하 HSS 롤)의 사용이 확대되고 있다. HSS 롤은 Cr, V, W, Mo 등의 합금원소 첨가에 의해 내마멸성, 내열피로성 그리고 고온강도 등이 대단히 우수하며 내표면거칠음성도 우수하고 내사고성이 높아 사상압연용 작업롤로서 사용량이 증가되고 있다(1~8). 그러나 HSS 롤은 원심주조시 탄화물간 비중차이에 의한 탄화물 편석 그리고 Hi-Cr 롤이나 Ni-Grain 롤에 비하여 높은 압연하중과 마찰계수를 나타내는 등 제조 및 사용상의 문제점들도 보고되고 있다(9,10). 따라서 사상 압연기(finishing mill, FM)에 HSS 롤의 적용은 아직 전단인 FM 1-3에 머물고 있으며 후단인 FM 4-6에는 아직 Ni-Grain roll이나 흑연정출 Hi-Cr Roll이 주로 사용되고 있는 실정이다. 사상 압연 후단의 작업롤로서 HSS 롤의 채택이 지연되고 있는 주된 원인은, 사상 압연 후단에서는 압연 하중의 증가와 사용 도중 피압연재와의 접촉에 의한 가열과 냉각수에 의한 냉각의 빠른 반복에 의해

열충격이 가해지며 이로 인한 열피로에 의해 롤의 표면이 거칠어지며, 심한 경우 롤 표면의 박리와 절손으로 까지 발전하기 때문이다. 즉, HSS 롤의 경우, 열피로에 의한 롤 표면의 미세 균열의 생성이 롤 열화의 주된 원인임이 여러 연구자 들(9-13)에 의해 밝혀졌다. 또한 롤 표면에 생성된 균열은 열피로가 누적될수록 롤 내부로 전파하는데, 균열의 전파 경로는 조대하게 정출된 M_7C_3 탄화물과 기지의 경계부인 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 titanium과 niobium에 의한 용탕처리를 통하여 HSS 롤 재료의 응고조직과 탄화물의 미세 조직을 제어 하고자 하였으며, 상 형성 과정과 탄소의 효과도 함께 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 시험편 제조

화학조성이 Table 1과 같은 ingot을 고주파유도 용해로에서 용해한 후 용탕온도 1600℃에서 주파수를 낮추고 Ti 및 Nb을 접종하였으며, 용탕온도를 1550℃까지 다시 승온한 뒤 금형에 주입하였다.

탄소 함량을 변화시킨 시험편의 제조시, 가탄제와 ingot를 함께 장입하고 1550℃에서 출탕하여 금형에 주입하였다. 시험편의 정확한 성분분석을 위하여 시험편 제조시 chill시편도 함께 제조하여 스펙트로미터로 각 성분을 정량 분석하였다. 특히, 각 탄화물에 미치는 탄소의 영향이 매우 큼을 감안하여 탄소의 경우는 습식 분석하였다. 제조된 시험편의 화학조성은 Table 1에 나타내었다.

2.2 현미경 조직 관찰 및 부피분율 측정

제조된 시험편을 연마 및 정마 과정을 거친 다음, 시험편내의 탄화물을 자세하게 분석하기 위하여 탄화물의 종류를 각각 색깔에 의해서 구분할 수 있는 무라까미(10g $K_3Fe(CN)_6$ + 10gNaOH + 100ml 증류수)에칭액으로 부식을 한 후 광학현미경으로 관찰하였으며, 기지 조직은 무라까미 에칭액과 picric-hydrochloric(5ml HCl + 4g $C_6H_3O_7N_3$ + 100ml CH_3OH)으로 이중 부식한 후 SEM으로 관찰하였다. 또한 기지와 각 탄화물의 성분을 EDS 와 WDS로 정성 및 정량적으로 측정하였다. 시험편내의 각 탄화물의 부피분율은 영상분석기를 사용하여 정량적으로 측정하였다.

Table 1. Chemical composition of the ingot & alloys(wt%)

Ele. / Spec.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Fe
ingot	2.0	0.3	0.3	0.9	6.5	3.0	1.7	5.1	-	-	Bal.
ST	1.91	0.3	0.4	0.6	6.0	1.7	3.3	4.9	-	-	Bal.
C1	2.26	0.3	0.3	0.7	5.8	1.8	3.1	4.4	-	-	Bal.
C2	3.02	0.3	0.2	0.8	5.7	2.1	2.6	5.1	-	-	Bal.
C3	3.50	0.3	0.3	0.6	5.5	1.8	2.7	5.1	-	-	Bal.
Ti1	1.90	0.6	0.2	0.9	5.9	3.0	2.1	4.9	-	0.57	Bal.
Ti2	1.8	0.8	0.2	1.0	5.7	2.9	2.0	4.8	-	1.7	Bal.
Nb1	1.83	0.6	0.3	1.0	6.1	3.0	2.1	4.9	1.0	-	Bal.
Nb2	1.71	0.6	0.2	1.0	5.8	3.1	2.0	4.8	2.5	-	Bal.
Nb3	1.64	0.5	0.2	1.1	6.2	3.1	2.6	4.8	4.0	-	Bal.
CNb	2.42	0.4	0.3	0.9	5.9	3.0	2.2	4.9	4.0	-	Bal.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 Fe-Cr-C계 상태도

본 연구에 사용한 시험편의 화학조성에서 응고 거동을 이해하기 위해서는 먼저 Fe-Cr-C계의 상태도를 이해할 필요가 있으며, 이를 위하여 본 합금계에서의 정출상의 종류와 그 성장에 따른 잔류액상의 조성변화, 그리고 응고가 진행됨에 따른 후속 정출반응의 종류와 온도 등을 파악할 필요가 있다.

Fe-Cr-C계의 액상선 단면을 나타낸 Fig. 1의 상태도에서 알 수 있는 바와 같이 융체에서 직접 ferrite(δ),austenite(γ),cementite(M_3C),Cr-carbide(M_7C_3,$M_{23}C_6$)를 정출하는 초정면이 존재하며, 응고의 진행 방향은 화살표로 표시하였다. 상태도내에 표시한 탄화물의 표기 방식으로 Cr등을 고용한$(Fe,Cr)_3C$와 같은 탄화물은 간단히 M_3C(이하 M_3C)로 나타내며 다른 탄화물도 같은 형식으로 표현한다.

δ 및γ상의 초정면과 각 탄화물 상(M_3C, M_7C_3, $M_{23}C_6$)의 초정면과의 경계선 i-j-k-l-m 과 i-j-k-l-n이 공정선이고, 이 선상의 조성은 융액으로부터 HSS 롤의 주요한 조직 성분을 구성하는 공정응고를 하게된다. 즉 i~j 사이 융액은 γ+M_3C공정으로 정출하고, j~k 사이에서는 γ+M_7C_3, k~l사이에는 δ +M_7C_3, l~m사이에서는 δ +$M_{23}C_6$, 그리고 l~n에서는 M_7C_3+$M_{23}C_6$ 공정이 정출한다.

2원계 합금의 응고 시에는 응고가 진행할수록 잔류액상에서 용질원자의 농도는 높아지게 된다. 그러나, 3원계 이상의 합금의 경우에서는 Fig. 1의 상태도에서 알 수 있듯이, m~l구간에서는 응고가 진행함에 따라 잔류액상중의 Cr농도는 감소하나 C의 농도는 큰 변화가 없고, n~l구간은 Cr농도는 계속해서 감소하고 C농도의 경우는 임계조성 까지는 증가하나 그 이후에서는 감소한다. l~k구간은 Cr 및 C농도가 계속해서 감소하고 있으며, o~k구간에서는 응고가 진행함에 따라 liquidus projection이 고Cr, 고C쪽으로 이동함을 알 수 있다. 그리고, k~i선상의 공정반응의 경우 C의 농도변화는 2원계 Fe-C계의 반응에서처럼 응고가 진행할수록 C의 농도는 증가하나 Cr의 농도는 포공정점 k에서 Fe-C 2원계의 공정점인 i 점으로 응고가 진행할수록, 잔류 액상중의 Cr농도는 연속적으로 감소하게 된다. 이러한 응고 과정의 흐름을 도식화하여 Fig. 2에 나타내었다. 즉 Fig. 2에서 ①의 반응은 2원계 Cr-C계 및 Fe-C계의 반응으로써, L+$M_{23}C_6$+M_7C_3과 L+δ +$M_{23}C_6$은 Fig. 1의 액상상태도상 각각 n, m점의 반응을, 그리고 L+δ+γ는 o점에서의 반응 나타낸 것이다. ②반응중, 사각형내의 L, K, J반응은 Fig. 1에서 l, k, j로 나타낸 포공정점의 반응을 나타낸 것

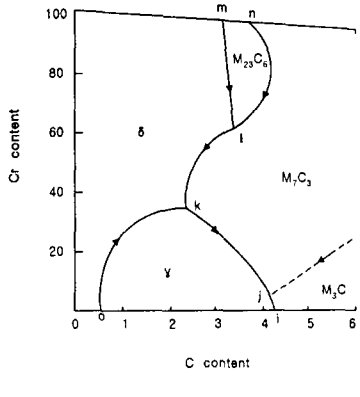

Fig.1. Liquidus surface of Fe-Cr-C system

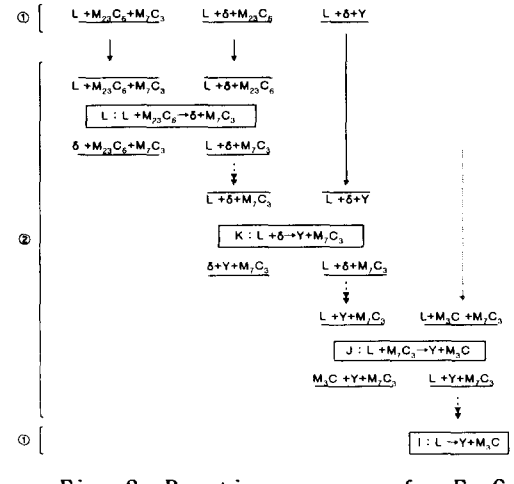

Fig. 2. Reaction sequence for Fe-Cr-C system

이며, 각 공정선상에서의 반응을 Fig. 2에서는 이중화살표로 나타내었다. 그리고 Fig. 1에서 점선의 화살표로 나타낸 liquidus projection을 Fig. 2에서도 점선의 화살표로 나타내었다.

이와 같이 3원계의 반응이 되면 하나의 액상과 두 개의 고상이 공존할 경우 2원계에서는 불변계가 되어 일정한 온도 및 농도에서 반응을 하게되나, 3원계에서는 일변계가 되므로 하나의 액상으로부터 두 개의 고상이 동시에 정출하는 점은 일정하지 않고 온도와 함께 농도도 변화하게 됨을 알 수 있다.

3.2 Fe-Cr-V-C계 (Fe-5Cr-5Mo-5W-V-C 계)

Photo. 1에 ST시험편의 광학 현미경 조직사진을 나타내었다. Photo. 1(a)에서 관찰할 수 있듯이 초정 γ가 수지상정으로 정출하여 방향성을 가지고 있는 것을 관찰할 수 있으며, γ수지상 사이에 공정 탄화물이 회색 및 검은 색으로 정출된 것을 관찰 할 수 있다. 이를 고배율 사진인 Photo. 1(b) 및 (c)에서 자세히 검토하면 다음과 같다. 사진에서 검은 부분의 그물형태는 M_7C_3공정 탄화물이며 (Fig. 2의 K의 반응), 미세한 회색의 상은 V이 주성분인 공정MC탄화물로 판단된다. 여기에 대해서는 Fe-Cr-V-C 및 Fe-5Cr-5Mo-5W-V-C상태도의 설명 후에 다시 고찰한다.

본 연구에 사용된 HSS 롤은 Fe, Cr, V, Mo, W 등이 포함된 소재로서 그 응고과정 및 조직 형성과정이 전술한 Fe-Cr-C계에 비하여 대단히 복잡할 것으로 예상된다. 그러나, Fig. 3은 Ogi 등이 실험적으로 제안한 상태도로서, 본 연구에 사용된 합금조성과는 다소 차이가 있지만 응고 과정의 해석에는 큰 오차가 없을 것으로 판단된다.

Fe-Cr-C계에 V의 첨가량을 증가시키면 탄소와 결합하여 경도와 내마모성에 중요한 역할을 담당하는 고경도의 MC탄화물을 형성하는 것으로 알려져 있으며 상태도에서도 그 정출구간이 존재함을 확인할 수 있다.

또한 Fig. 3의 액상상태도는 Cr의 함량을 5wt%로 일정하게 유지한 경우의 상태도로서, 점선으로 나타낸 상태도는 Fe-5Cr-V-C계 상태도이며, 이 계에 ferrite 안정화 및 강한 탄화물 형성원소로 알려진 W과 Mo의 효과까지 고려한 것이 실선의 상태도로서, 본 연구의 합금 계는 Mo와 W을 함유하고 있으므로 이 상태도를 이용하기로 한다.

상태도내에는 5개의 초정면, 즉 ferrite(δ),austenite(γ),cementite(M_3C),Cr-carbide(M_7C_3), MC-carbide가 있고 이런 초정면의 경계에서 포정반응($L+\delta \rightarrow \gamma$) 및 공정반응($L \rightarrow \gamma$ +MC, $L \rightarrow \gamma$ +M_7C_3 ,$L \rightarrow \gamma$ +M_3C)을 하게되며, 점 P에서는 포공정반응($L+MC \rightarrow \gamma$ +M_7C_3)을 함은 앞의 Fe-Cr-C계의 상태도와 유사하다. 한편, 본 연구에 사용한 ST시험편의 조직형성 과정을 본 상태도를 이용하여 설명하면 다음과 같다.

ST시험편의 화학조성은 Fig. 3의 상태도상 대략 a점에 해당되므로 응고 과정은, a점에서 b점까지는 초정 γ가 수지상정으로 정출하면서 b점에 도달하게 되고 b점에서 잔류액상의 농도는 고 V, 고 C로 변화하게 된다. b점에서 P점까지 공정응고가 진행할 때, 초기의 높은 V농도로 인하여 VC 탄화물의 형성이 활발하나 응고가 진행함에 따라 V의 농도는 점차 감소하고 C의 농도는 증가하면서 포공정점인 P점에 이르게 된다. 이 점에서 잔류액상의 농도는 V에 비해 상대적으로 높은 Cr농

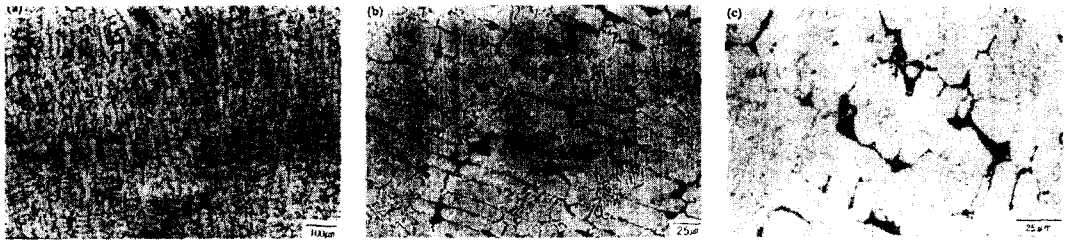

Photo. 1. Opitcal Microstructure of the ST alloy

도를 가지며 L+MC→γ+M_7C_3의 포공정반응에 의해서 Cr은 주로 M_7C_3탄화물에 고용되어 잔류액상 중에 Cr농도는 감소되어 최종적으로 응고가 완료된다. 따라서, Photo. 1의 ST시험편의 조직사진에서 초정γ dendrite가 정출하여 방향성을 가지면서 하나의 셀을 형성하였고, V을 주성분으로 한 MC탄화물들이 L→MC +γ의 공정반응에 의해서 γ와γ셀 경계를 따라 길게 정출하였으며, 일부는 γ와 함께 구상의 셀을 형성하였다. 셀과 셀의 3중점에서 그물형태로 조대하게 정출한 것은 4상 포공정반응(peritectic and eutectic reaction)에 의해 정출한 M_7C_3탄화물임을 알 수 있다. 정출탄화물의 동정에 대해서는 후술한다.

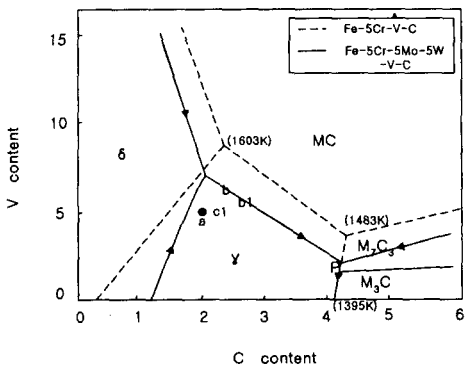

Fig. 3. Liquidus surface of Fe-Cr-V-C system (13)

3.3 C의 영향

Fig. 4는 탄소함량에 따른 경도 변화를 나타낸 것으로 ST와 C1시험편의 경도값(HRc)은 60이상이나 C2시험편에서 경도값이 급격히 감소하며 C3시험편에서는 다시 다소 상승하였는데, 이는 기지내의 탄소함량이 낮아 래스 마르텐사이트가 형성된 경우 전반적인 롤의 경도 값은 낮아지며, 탄화물 형성원소에 비하여 탄소 함량이 많은 경우에는 셀 경계에 그물형태의 공정조직이 많이 형성되며, 더욱이 경도가 낮은 M_3C탄화물이 L→γ+M_3C반응에 의해 형성되어 롤의 경도에 나쁜 영향을 미치기 때문이다(14). 즉, ST와 C1시험편의 기지조직은 판상마르텐사이트로 구성되었음을 Photo. 2 및 Photo. 3으로부터 관찰할 수 있으며, C2와 C3시험편은 과량의 탄소를 함유한 경우로 공정탄화물의 양이 30~40%정도임을 Table 2에 나타내었다. Fig. 4의 결과에서 C3시험편이 C2시험편 보다 경도가 높은 것은 고경도의 초정 VC탄화물을 함유하고 있기 때문으로 판단된다.

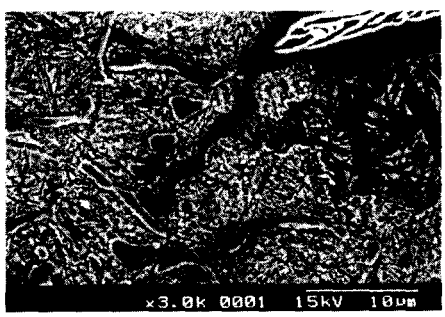

Photo. 2. SEM micrographs of the ST alloys

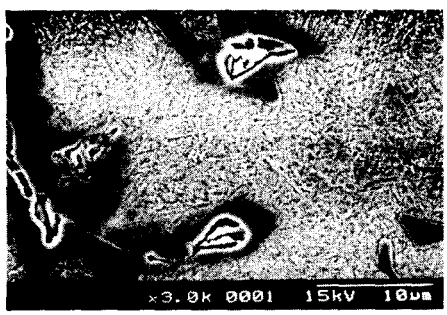

Photo. 3. SEM micrographs of matrix structure

Photo. 4(a)는 C1시험편의 광학현미경 조직사진으로써 전체적으로 ST시험편에서와 같이 수지상을 형성하고 방향성을 가지고 있으며, 구형의 회색으로 나타난 VC탄화물과 검은 색의 M_7C_3탄화물이 미세하게 정출해 있다. Photo. 4(b)는 C2시험편의 경우로 시험편의 조성이 상태도상 공정선 부근에 해당되며 VC탄화물은 초정 및 공정의 2가지 경우로 정출하였음을 사진에서 알 수 있다. 즉 사진내의 A부분과 같이 크로바잎 모양으로 성장한 초정탄화물과 B부분은 해바라기 모양의 공정 VC탄화물로써 대부분 이런 형태로 정출하였다. M_7C_3탄화물의 형상도 ST시험편과 비교해서 다소 조대하고 각지게 형성되었고 이 탄화물의 외각부(C부분)에는 Cr농도가 상대적으로 높음을 EDS 분석 결과 확인할 수 있었다.

Photo. 4(c)의 C3시험편은 과공정 조성에 해당된다. 따라서 초정 VC탄화물이 매우 조대하게 정출(사진내 D부분)된 것을 볼 수 있으며 공정 VC탄화물은 γ와 함께 구형으로 미세하게 정출하였다. M_7C_3탄화물은 중심부에 육각형(E부분)을 핵으로 하여 조대하게 성장하였고 외각 부의 짙은 회색 역시 C2시험편의 경우에서와 같이 Cr의 농도가 상대적으로 높았다. 그리고 길다란 침상의 부분(F부분)은 M_3C탄화물로 형성되었음을 EDS결과로부터 확인할 수 있었다.

이와 같은 조직의 형성과정을 Fig. 3의 Fe-Cr-V-C계 액상상태도에 적용하면 다음과 같다. C1의 응고거동은 ST시험편과 유사하다. 즉 c1점에서 b1점까지는 γ가 수지상으로 정출하고 공정선상에 도달한 즉시 $L \rightarrow \gamma + MC$의 반응으로 공정이 정출한 다음 잔류액상의 조성은 고C, 저V 쪽으로 이동하여 점차 그 정출양은 줄어들게 되고 P의 포공정점에 이르러서 $\gamma + M_7C_3$탄화물이 정출하면서 응고가 완료된다.

C2시험편의 조성은 공정선 부근이므로 초정으로써 정출한 상은 보이지 않고 액상으로부터 바로 $L \rightarrow \gamma + MC$의 공정반응이 일어나게 되어 공정 VC탄화물의 양이 증가한 것을 알 수 있으며 M_7C_3탄화

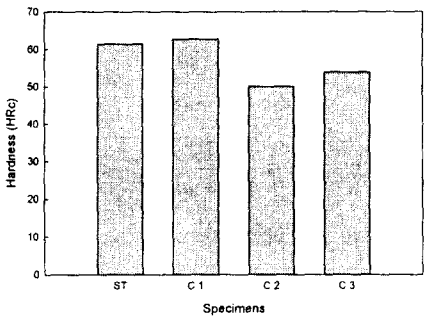

Fig. 4. Variation of hardness as a function of C content

Table 2. Results of quantitative analysis of carbide volume fraction.

Spec.	Volume fraction of carbides (%)				carbon content in matrix (wt.%)
	M_7C_3	eutectic VC	primary VC	Total	
ST	8.08	9.25	-	17.33	0.63
C2	15.82	16.38	-	32.20	0.48
C3	30.29	9.02	5.08	44.39	0.17

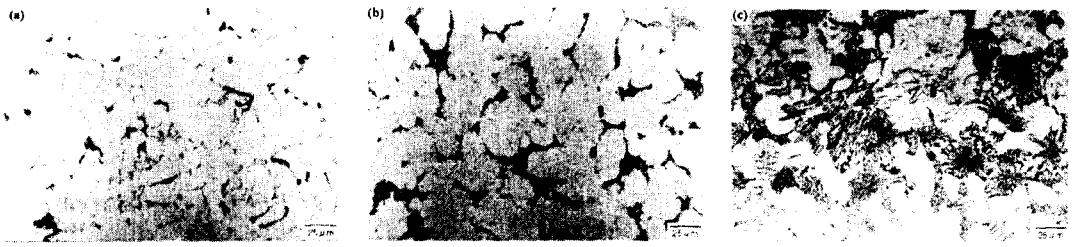

Photo. 4. Microstructural changes with C contents
(a)alloy C1 (b)alloy C2 (c) alloy C3

물이 조대해진 것은 C함량의 증가로 인하여 응고온도가 낮아져 M_7C_3탄화물이 성장할 수 있는 시간이 길기 때문으로 생각된다. C3시험편의 경우에서 공정 VC탄화물이 줄어든 것은 정출거동이 과공정에서 출발하여 초정 VC탄화물을 일부 정출하고 그 성장시간 또한 길어져 잔류액상 중의 V의 농도가 줄어든 결과로 판단된다.

3.4 Ti 처리 효과

Photo. 5(a),(b)는 Ti으로 용탕처리한 시험편의 광학현미경 조직사진이다. Photo. 5(a)의 저배율 사진에서 관찰할 수 있듯이, Ti을 처리하지 않은 시험편의 현미경 조직(Photo. 1(a))과 비교할 때, 초정상인 γ는 미세한 등축정으로 그 형태가 바뀌었으며, VC탄화물은 미세하게 분산되었고, 그리고 M_7C_3탄화물은 불연속적으로 정출되는 등 전체조직이 미세화 되었음을 알 수 있다. 이는 Ti의 매우 높은 탄소친화도로 설명할 수 있다. 즉 용탕내에 첨가된 Ti은 응고시 TiC를 우선적으로 생성하므로 잔류액상중의 탄소 농도는 감소하게 된다. 즉, 잔류액상의 탄소 농도는 저탄소 쪽으로 이동하게 되어, $L \rightarrow \gamma$+VC공정반응 구간이 길어지게 되므로 VC탄화물의 정출양은 증가하게 되고, 포공정점에 도달한 잔류액상중의 C농도는 상대적으로 감소하므로 M_7C_3탄화물의 정출양은 줄어드는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 ST시험편과 Ti으로 용탕처리한 시험편의 탄화물 체적 비의 변화를 영상 분석한 결과로서, Ti1시험편과 Ti2시험편 모두 ST시험편 보다 VC탄화물의 정출양은 많아진 반면, M_7C_3탄화물은 급격하게 감소한 것은 전술한 정출거동의 결과임을 알 수 있다.

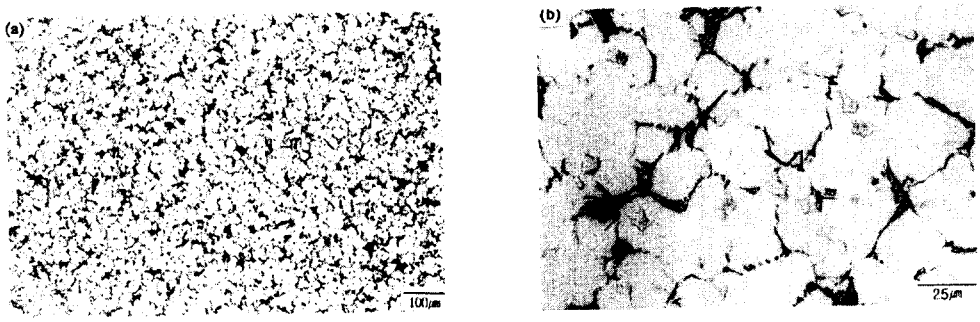

Photo. 5. Microstructural changes with Ti treatment

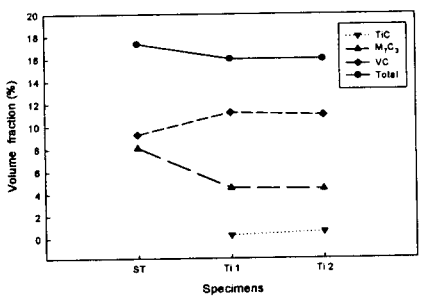

Fig. 5. Relationship between Ti content and carbide volume fraction

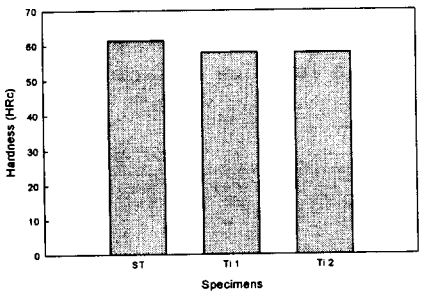

Fig. 6. Variation of hardness as a function of Ti contents

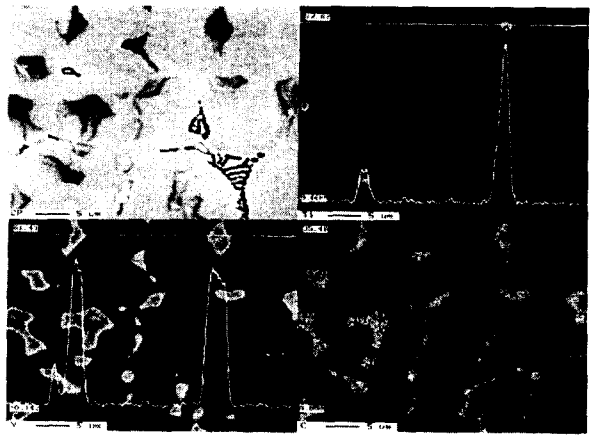

Photo. 6. BSE & X-ray image(WDS) of Ti1 alloy

한편, Photo. 5(b)의 고배율 사진과 Photo. 1(b),(c)를 비교하면, ST시험 편에서는 VC탄화물이 연속적인 형태로 정출한 반면 Ti으로 용탕처리한 경우는 VC탄화물이 구형으로 분산되었고 VC탄화물 내에 아주 작은 검은 점들을 관찰할 수 있는데, 이 점들을 EDS 및 WDS로 정성, 정량 분석하여 TiC임을 확인하였다. 이는 전술한 바와 같이 Ti의 높은 탄소친화도로 인하여 응고도중 TiC를 생성하며, TiC는 VC와 격자상수가 비슷하므로, 이것을 핵으로 하여 VC탄화물이 정출한 것으로 판단된다.

Photo. 6에 BSE상과 각 원소의 WDS X-ray mapping상을 나타내었다. Ti은 기지를 비롯한 다른 상들에 대한 고용도가 거의 없음을 확인할 수 있으며, 이는 Ti첨가시 용탕내 Ti의 용해도가 거의 없으므로 미량의 Ti첨가 시에도 TiC가 다수 정출하고 이는 초정 및 공정 MC형 탄화물의 핵생성 자리로서 작용하여, 성장속도가 제한될 경우 구형탄화물이 형성될 수 있음을 보고한 Ogi 등의 실험과 잘 일치하고 있다.

Fig. 6은 Ti처리에 따른 경도 변화를 나타낸 것으로 Ti처리시 경도가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 후술하게될 Nb처리에 따른 경도 변화의 고찰과 유사한 것으로 판단된다.

3.5 Nb 처리 효과

Photo. 7은 Nb으로 용탕처리한 시험편의 광학현미경 조직 사진이다. Photo. 1의 ST시험편과 Photo. 7(a)의 Nb1시험편의 조직을 비교하면, 초정상들이 전체적으로 구형으로 변화한 것을 관찰할 수 있으며, MC탄화물의 경우는 형태가 다른 2개의 VC탄화물이 정출하였는데, 등축 덴드라이트상으로 정출한 사진내의 A경우는 초정으로써 구형의 셀을 이루면서 정출하였고, B의 경우는 공정 VC탄화물로 정출한 것으로 판단된다.

Nb처리량이 다소 증가된 Photo. 7(b),(c)의 Nb2, Nb3 시험편에서는 3종류의 MC탄화물을 확인할 수 있다. 즉 치밀하고 구형에 가까운 검은 색의 Nb을 주성분으로 한 NbC탄화물과, 봉상의 형태로 다소 길게 늘어진 탄화물과, 판상의 형태를 지닌 탄화물로써 이들은 V을 주로한 공정 VC탄화물로써 이를 EDS분석에 의해서 확인 할 수 있었다.

Nb2와 Nb3시험편의 공정셀 내부에서 관찰되는 NbC탄화물은 주로 초정으로 정출한 것으로 생각되며, Nb2시험편 보다 Nb3시험편의 경우에 탄화물이 조대해지는 것은 초정으로써 정출할 수 있는 시간이 길기 때문으로 판단되며, 셀 경계에 형성된 공정 VC탄화물의 경우 Nb이 증가할수록 봉상의 형태에서 판상의 형태로 변화하는 것은 Nb의 영향에 의해 나타난 것으로, Ogi 등이 보고한 결과와 유사하다.

한편, 그물형태를 띠면서 셀 경계에 집중되어 있는 M_7C_3의 경우는, Nb이 증가할수록 미세화 하는 경향을 나타내고, Fig. 7에 나타낸 것처럼 그 양 또한 감소한다. 이는 Nb도 Ti의 경우와 같이 매우 높은 탄소 친화도로 인하여 용탕내의 탄소와 반응하여 용탕의 탄소함량이 감소되며, 이

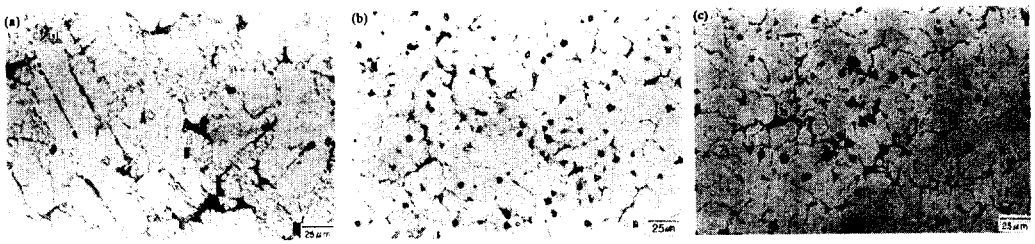

Photo. 7. Microstructural changes with Nb contents
(a) Nb1 (b) Nb2 (c)Nb3

로 인하여 공정반응 구간은 길어지고 잔류액상의 양이 감소되어 포공정 반응이 최소화되기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 기지의 경우 용탕내의 탄소함량이 감소되어 저 탄소로 될 것이라는 예측을 할 수 있는데, ST시험편(Photo. 2)과 Nb1시험편(Photo. 8(a))의 기지 조직 사진에서 관찰할 수 있듯이 판상의 마르텐사이트가, 그리고 Nb2시험편(Photo. 8(b))은 주로 래스마르텐사이트가 형성되었음을 알 수 있다. 즉 Fig. 8의 경도시험 결과에서 알 수 있듯이, Nb처리량의 증가에 따라 경도값이 감소하는 경향을 나타내는데, 전술한 래스마르텐사이트의 형성으로 설명할 수 있다. 더욱 분명한 것은 NbC탄화물 형성에 필요한 화학 양론적인 양만큼의 탄소를 Nb과 함께 처리한 경우(CNb시험편)에는 경도가 다시 상승하였음을 알 수 있다.

Nb이 증가된 시험편의 전체적인 응고 조직은 Nb1시험편에서는 덴드라이트상을 유지하고 있으나, Nb가 더욱 증가된 Nb2, Nb3시험편 에서는 미세한 등축형태의 응고 조직으로 개량화 되었음을 관찰할 수 있는데, 이는 Nb가 VC와 격자 상수가 가까운 NaCl구조의 NbC를 쉽게 형성하고, 이들이 응고시 핵으로 작용한 것으로 판단된다.

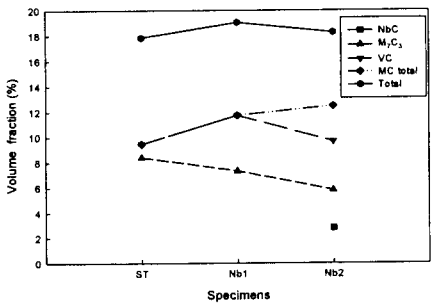

Fig. 7. Relationship between Nb content and carbide volume fraction

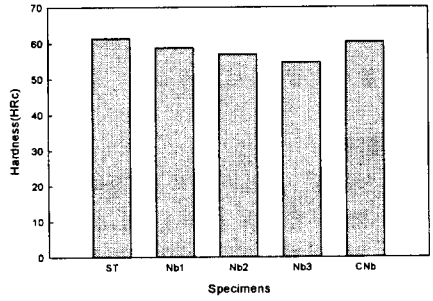

Fig. 8. Variation of hardness as a function of Nb contents

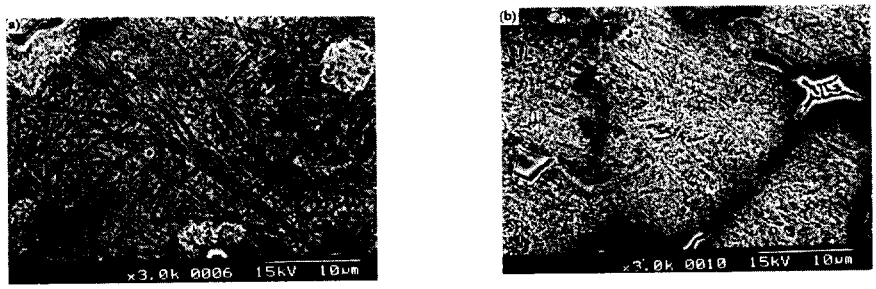

Photo. 8. SEM micrographs of matrix (a) Nb 1 (b) Nb 2

4. 결 론

Ti과 Nb에 의한 HSS 작업롤재의 미세조직제어 관한 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Ti 과 Nb에 의한 용탕처리를 통하여 응고조직의 개량이 가능하였다.
2. TiC는 VC의 정출시 유효한 핵으로 작용하는 것으로 판단된다.
3. Nb함량의 증가에 따라 경도 값이 감소하는 경향을 보였으나, NbC의 형성에 필요한 화학 양론적인 탄소량을 증가시킨 경우 경도는 일정하게 유지되었다.

후 기

이 논문은 1998년도 동아대학교 학술연구 조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1) 大貫輝 : 壓延ロールの摩耗損傷と耐久化,2(1991).
2) 橋本光生 : What's New in Roll Technologies of the World, Research Committee on Rolling Roll, 61(1995).
3) 小關智也 et al : ibid, 69(1995).
4) H. Hiraoka, Y. Kataoka, I. Hishinuma : ISIJ Int'l, vol.32,p.1177(1992).
5) O. Kato, H. Yamamoto, M. Ataka, K. Nakajima : ibid, p.1216(1992).
6) Y. Sano, F. Murakami, M. Ooshima, T. Oohata : 日立金屬技報, vol.91,no.4, (1992).
7) Y. Sano, T. Hattori, M. Haga : ISIJ Int'l, vol.32, p.1194(1992).
8) M. Hashimoto et al : ibid, p.1202(1992).
9) Kawasaki Steel Corporation : High Speed Steel Roll, 3(1995).
10) Hitachi Metals:New Developed Low Rolling Load HSS Roll, Technical Report, (1995) 1.
11) 김태우, 최진원, 김동규 : "열간 압연용 고속도강 롤의 고온 특성", 한국주조공학회, vol.16,no.2,pp.124-131(1996).
12) 김도형 : 포항공과대학교 석사학위 논문(1994)
13) A. Sawamoto, K.Ogi, K. Matsuda, AFS Transactons, vol.72, p.403(1986)
14) 황근철, 이성학, 이희춘 : 대한금속학회지 vol.35, no.12, p.1679(1997)