

B, Nb 및 Ti를 함유한 극저탄소강에서 탄화물 및 질화물의 석출이 집합조직에 미치는 영향 (I) - 집합조직과 기계적 성질 -

이종무 · 윤국한* · 이도형**

인하대학교 금속공학과

*한국과학기술연구원 특수강 연구실

**산업과학기술연구소 분석실

Effects of the Precipitation of Carbides and Nitrides on the Textures in Extra Low Carbon Steel Sheets containing B, Nb and Ti (I) - Textures and Mechanical Properties -

Chong Mu Lee, Kook Han Yoon* and Do Hyung Lee**

Department of Metallurgical Engineering, Inha University

*Special Alloy Research Labs., KIST

**Department of Analysis, Research Institute of Industrial Science and Technology, Pohang 790-330

초 록 Al킬드한 극저탄소강에 Ti, Nb등의 탄화물 또는 질화물 형성원소를 첨가하면 우수한 디프드로잉특성과 내시효성을 나타내는 강판을 얻을 수 있다고 알려져 있으므로 본 연구에서는 Ti 및 Nb를 단독 또는 동시에 첨가하거나 B를 추가로 첨가한 고강도 극저탄소 강판을 제조하여 각각의 재결정 집합조직과 기계적 성질을 측정비교하여 보았다. 역극점도에 나타난 집합조직강도의 변화를 조사한 결과 어닐링처리에 의하여 (100)면 강도와 (111)면 강도의 변화가 가장 많이 나타난 것은 Nb 첨가강이며, Nb와 Ti를 동시에 첨가한 강과 Ti를 단독으로 첨가한 강은 변화정도가 비슷하였다. 극점도를 비교하면, Nb 및 Ti를 동시에 첨가한 강, Nb를 단독으로 첨가한 강 그리고 Ti를 단독으로 첨가한 강 모두 냉간 압연한 상태에서는 {112}<110> 집합조직이 잘 발달하였으며 어닐링처리한 후에는 {111}<112> 집합조직이 잘 발달하였다. 그러나 세 종류의 강간에 집합조직의 차이는 별로 없었다. 결정립도와 관계가 깊은 정도에서는 결정립도가 가장 작은 Nb 및 Ti동시첨가강에서 정도가 가장 높고, Nb단독첨가강, Ti단독첨가강의 순서로 감소하는 경향을 보였다.

Abstract Excellent deep drawability and strain aging resistance are obtained by the addition of alloying elements such as Ti and Nb which can form carbide and nitride easily into Al killed extra low carbon steel. Recrystallization textures and mechanical properties of the three different extra low carbon steels with B containing Nb only, Ti only, and both Nb and Ti, respectively, along with have been compared. Inverse pole figure shows that (100) and (111) texture intensities of Nb containing steel changed a lot during the annealing treatment and the degree of texture-structural change in the steel containing both Nb and Ti is about the same as that in the Ti-containing steel. After annealing the pole figure shows that the {111}<110> and {112}<110> textures are the strongest in the cold rolled state and the annealed state, respectively. However, there is little difference in texture structure among the three kinds of steels. There is a tendency that the steel containing both Nb and Ti the grain size of which is the smallest is the highest in hardness. Nb-containing steel is the next and Ti-containing steel is the last in hardness.

1. 서 론

Al킬드 극저탄소강에 Ti, Nb등의 탄화물(carbide) 또는 질화물(nitride) 형성원소를 첨가하면, 극히 우수한 디입 드로잉성과 내 시효성의 강판을 얻을 수 있다고 알려져 있다.^{1,2)} Ti를 적당량 첨가하면 코일링(coiling)온도등의 제한을 받지않고 항상 안정된 材質을 얻을 수 있으며,¹⁾ Nb를 적당량 첨가하면 높은 소성변형비 R값을 얻을 수 있다.²⁾ 그러나 Ti를 첨가한 강은 부식을 방지하기 위하여 표면처리에 사용되는 Zn 浴(bath)內에서의 Al농도가 낮을 경우 도금층의 밀착성이 불량하고, 浴內의 Al농도를 높이면 밀착성은 개선되지만 표면결합이 증대되어 자동차 外板용 소재로는 적합하지 않다. 또한 Nb를 첨가한 강은 고온에서 코일링을 실시해도 코일의 끝부분에서는 재질이 불량해져서 공업적으로 量産이 불가능하다. 따라서 1984년 Itoh등³⁾은 Ti와 Nb를 동시에 첨가함으로써 Al농도가 낮은 浴內에서도 도금 밀착성이 좋고 코일내의 재질이 균일하여 양산가능한 강종을 얻을 수 있다고 보고하였다.

일반적으로 강판의 성형성은 결정립의 <111>방향이 압연면방향과 나란하게 정렬되는 그러한 결정립이 많을수록 좋아지며, 따라서 디입드로잉용 강판재는 {111}집합조직을 갖도록 만드는 것이 바람직하다.^{4,5)} Ti나 Nb등은 C나 N과 같은 침입형(interstitial)원소들과 결합하여 석출됨으로써 고용되어 있는 원자들(solute atoms)을 제거하며, 그 결과 {111}방위를 갖는 결정립의 핵생성이 촉진되어 {111}집합조직이 발달하게 된다.⁶⁾ 이와같

이 탄화물이나 질화물의 석출은 강판재의 집합조직과 소성변형비 R값을 변화시킴으로써 디입 드로잉 특성에 결정적인 영향을 미친다.

본 연구에서는 Ti 및 Nb를 단독으로 또는 동시에 첨가한 데 이어 합금원소와 강화효과 측면에서 가장 유리한 P, Si 및 Mn을 강화원소로 첨가하고 가공취성을 개선하기 위하여 적당량의 B를 첨가한 고강도 극저탄소 강판의 재결정집합조직을 역극점도, 극점도 및 광학현미경 관찰에 의하여 조사하고, 항복강도, 연신율, 인장강도(UTS) 및 경도등의 기계적 성질들을 조사하여 비교하여 보았다.

2. 실험 방법

전해철(8kg)을 고주파 진공용해로에서 Ti 첨가한 강, Nb첨가한 강 및 Ti와 Nb를 동시에 첨가한 강 상태로 용해한 후 각각 용탕에 P, Si, Mn 및 B를 합금원소로 첨가함으로써 세 종류의 강괴를 제조하였다. 각 강괴의 조성은 Table 1에 보인 바와 같다. 여기에서 NT 강, N강, T강은 각각 Nb및 Ti를 첨가한 강, Nb만을 첨가한 강 그리고 Ti만을 첨가한 강을 뜻한다. 이들 각각을 적당한 크기로 잘라 열간단조한 후 1250°C에서 1시간동안 용체화 처리하고 수냉하였다. 이어서 코일링 효과를 주기위하여 720°C의 Ar분위기에서 1시간동안 유지한 후 노냉한 후 그 다음에 이 시편들을 압하율 80%로 냉간압연하여 0.8mm두께의 강판으로 만들고 이어서 연속어닐링처리하였다. 이 연속 어닐링처리의 조건은 염욕(salt bath)에서 800°C로 급속가열하여 1분간 유지한 후 수냉하여 이어서 450°C에서 5분간 과시효처

Table 1. Chemical Composition of Steels (wt%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Nb	Ti	B
NT	0.003	0.01	0.128	0.007	0.002	0.027	0.003	0.004	0.008	0.0008
N	0.003	0.01	0.134	0.008	0.005	0.038	0.004	0.0114	-	0.0008
T	0.003	0.01	0.171	0.007	0.003	0.033	0.003	-	0.011	0.0008

리를 구하고 극강도비의 변화를 조사하였다.

열처리가 끝난 시편들에 대해 재결정 집합조직과 기계적특성을 조사하였다. 재결정처리한 시편은 X선회절을 이용하여 역극점도법으로 압연판면에 평행한 면의 집합계수를 구하였으며, Schulz반사법을 이용하여 (110)극점

도를 구하고 극강도비의 변화를 조사하였다. 역극점도는 Rigaku사의 ME200EJ, 극점도는 ME200DL을 사용하여 얻었다. 또한 인스트론사의 인장시험기를 사용하여 강판시편들에 대한 항복강도, 연신율 및 인장강도를 얻었으며, 비커스경도계를 사용하여 경도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Table 2는 냉간압연된 NT강, N강, T강 및 NT강, N강, T강에 대해서 압연판면에 평행한 면의 극강도를 측정하고, 순수한 철분말에 대한 극강도를 구하여 표준시료로 하여 다음의 식 (1)⁷⁾에 의하여 계산한 집합조직계수 (texture coefficient)의 결과이다.

$$T.C.(hk1) = \frac{I(hk1)}{I_0(hk1)} \dots\dots\dots(1)$$

$$= \frac{1}{n} \frac{I(hk1)}{\sum I_0(hk1)}$$

여기서 I : 시편의 {hk1}면에 대한 측정적분강도 (measured integrated intensity)
 I₀ : 표준분말시편의 {hk1}면에 대한 측정적분강도

Table 3은 Table 2의 data들 중에서 강판의 성형성과 관련하여 우리가 관심있는 (111)면

에 나란한 (222)면과 (100)면에 나란한 (200)면 및 (400)면에 대한 집합조직계수(T.C. : Texture Coefficient)들과 (200)면의 집합조직계수값에 대한 (222)면의 집합조직계수값의 비를 보인 것이다. 냉간압연시편들의 T.C.(222)/T.C.(200) 비 값을 비교하면, Ti와 Nb 중에서 Ti만을 첨가한 T강에 대한 비값이 가장 높고, Nb와 Ti를 동시에 첨가한 NT강의 비값이 그 다음으로 높으며, Nb만을 첨가한 N강에 대한 비값이 가장 낮다. 그러나 어닐링처리한 시편들의 T.C.(222)/T.C.(200)비값을 비교하면, N강의 경우가 가장 높고, 그 다음이 T강, 그리고 NT강의 순으로 낮아진다.

T강과 NT강의 경우에는 어닐링처리함에 따라 T.C.(222)/T.C.(200)비값이 각각 1.15배 및 1.17배로 조금밖에 증가하지 않는데 반해, N강의 경우에는 어닐링처리함에 따라 T.C.(222)/T.C.(200)비값이 2.9배나 증가하였다. 압연판면과 평행한 면지수 중 (111) 또는

Table 2. Relative X-ray peak intensities of various crystallographic orientations for NT, and T steels.

NO	hk1	Relative Intensity (I _u /I _s)*					
		NT (cold rolled)	N (cold rolled)	T (cold rolled)	NT (annealed)	N (annealed)	T (annealed)
1	110	0.24	0.24	0.19	0.51	0.71	0.48
2	200	0.85	0.96	0.62	0.48	0.34	0.51
3	211	1.14	1	1.07	0.6	0.66	0.65
4	220	0.3	0.25	0.15	0.79	1.02	0.41
5	310	0.12	0.15	0.07	0.29	0.08	0.28
6	222	5.41	3.88	4.84	3.5	3.96	0.65
7	321	0.35	0.24	0.34	0.5	0.43	0.43
8	400	0.84	1.13	0.41	0.28	0.2	0.28
9	411	0.57	0.6	0.51	0.55	0.51	0.38
10	420	0.12	-0.13	-0.09	-0.07	0.27	0.13

*I_u : X-ray peak intensity of unknown sample
 I_s : X-ray peak intensity of standard sample

Table 3. Texture Coefficients for NT, N, and T steels.

	Steels	T.C.*(222)	T.C.(200)	T.C.(400)	T.C.(222)/T.C.(200)
cold rolled	NT	5.41	0.85	0.84	6.36
	N	3.88	0.96	1.13	4.04
	T	4.84	0.62	0.41	7.81
Annealed	NT	3.50	0.48	0.28	7.29
	N	3.98	0.34	0.20	11.71
	T	4.65	0.53	0.28	9.12

T.C.* (Texture Coefficient) = (I_{unknown}/I_{standard})

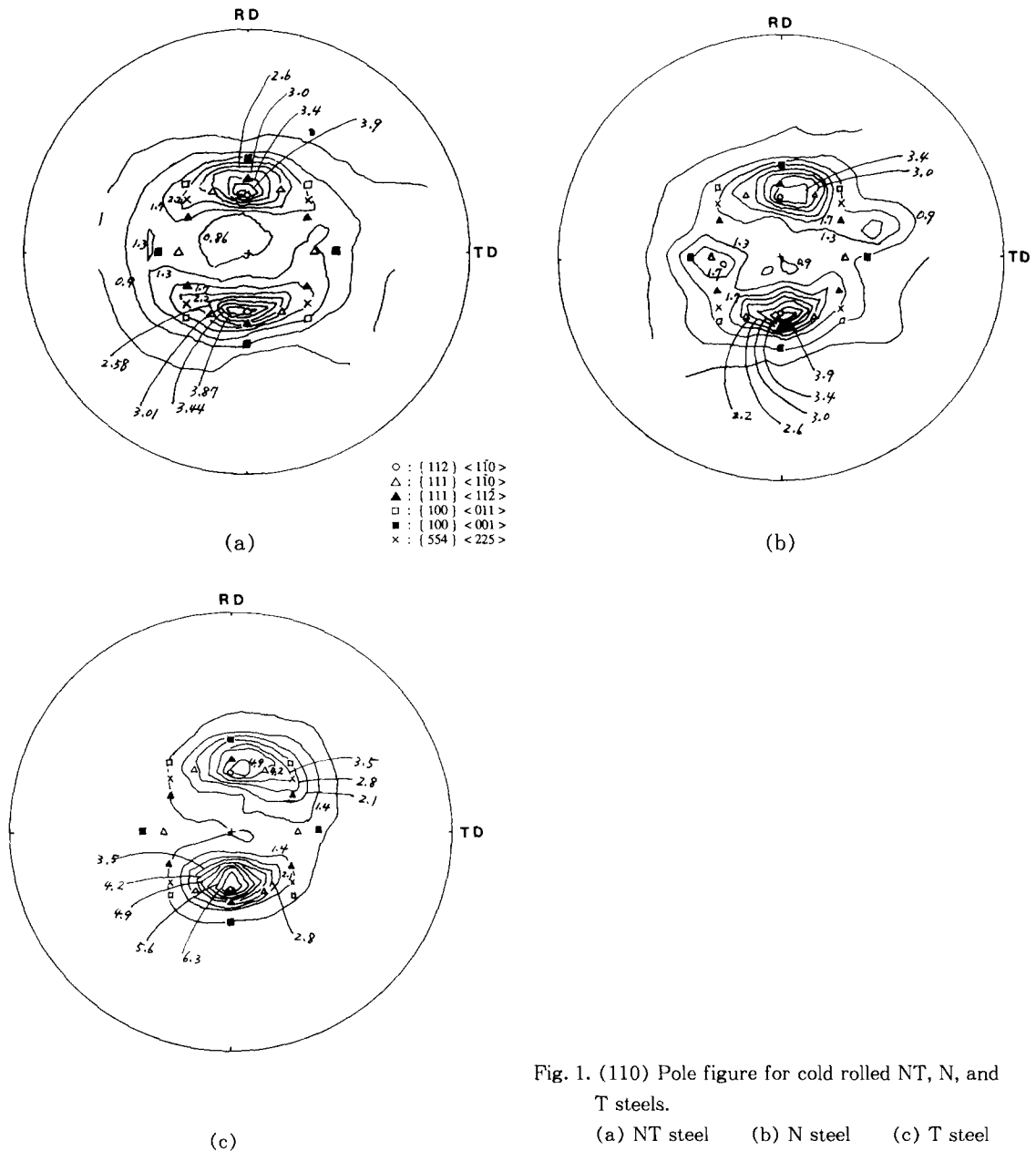


Fig. 1. (110) Pole figure for cold rolled NT, N, and T steels.

(a) NT steel (b) N steel (c) T steel

(222)면의 T.C.가 증가함에 따라 디프드로잉성이 더 좋아지는 이유는 (100) 평면 등방성 재료의 평균소성 변형비 $\bar{R}=1.2$, (110) 평면 등방성 재료의 평균소성 변형비 $\bar{R}=1.4$, 그리고 (111) 평면 등방성 재료의 평균소성 변형비 $\bar{R}=3.4$ 로서 (111) 평면 등방성 재료의 평균소성 변형비가 최대인 관계로 (111) 면이 많아지면 디프드로잉성이 증가되기 때문이다.⁸⁾ 여기서 판재의 디프드로잉 성형성의 척도가 되

는 소성변형비($R=dw/dt$)로 정의되며 t 는 판재의 두께, w 는 판재의 폭을 나타낸다. 어닐링처리가 집합조직계수값에 미치는 효과가 강종류에 따라 이렇게 큰 차이를 나타내는 것은 용질원자들의 석출거동과 밀접한 관계가 있는 것으로 보인다.

Fig. 1 (a), (b) 및 (c)는 각각 냉간압연한 NT강, N강 및 T강의 (110) 극점도이다. 세 강 모두 냉간압연한 상태에서 {112} <110> 집합

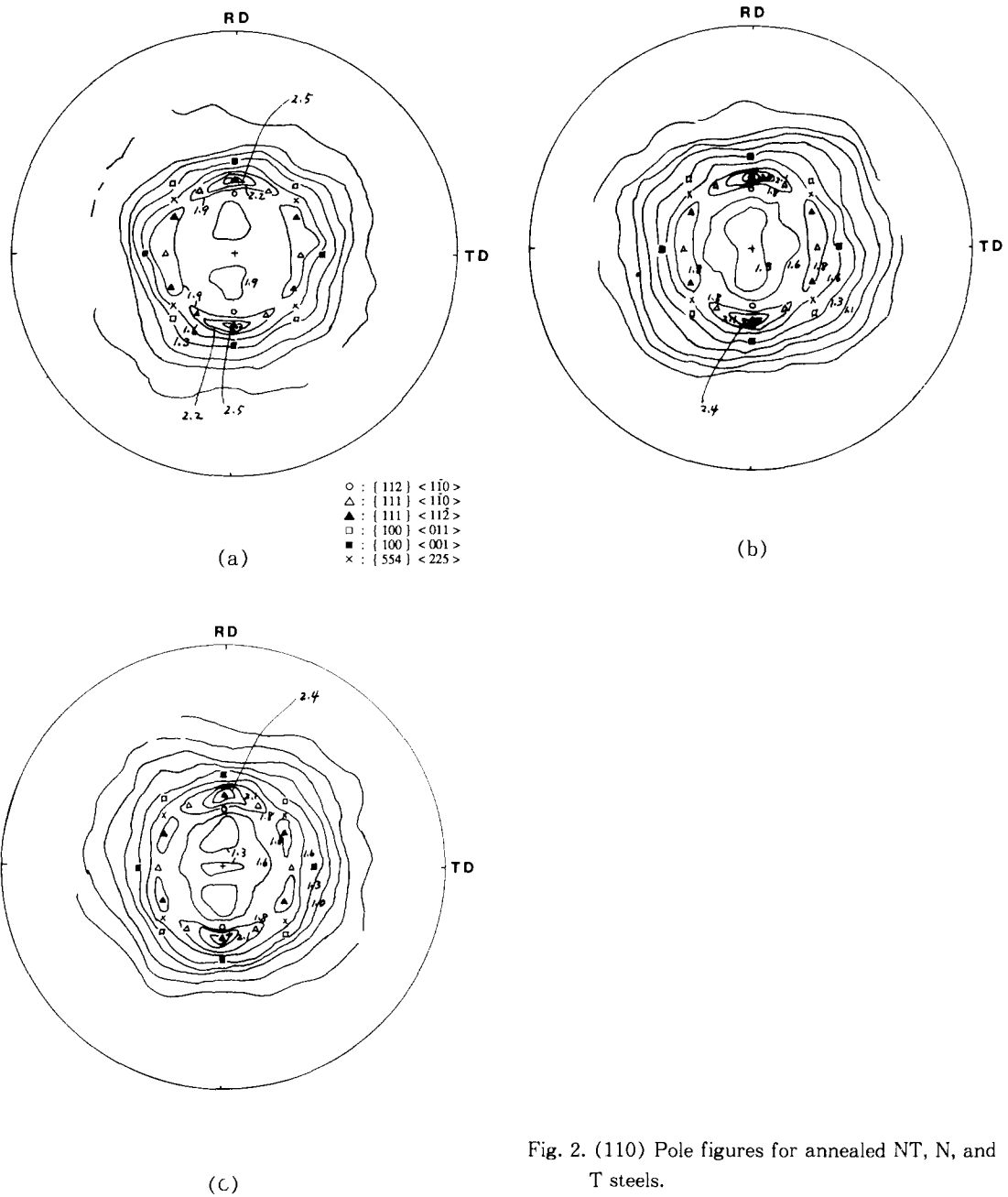


Fig. 2. (110) Pole figures for annealed NT, N, and T steels.

(a) NT steel (b) N steel (c) T steel

조직이 잘 발달된 것을 알 수 있다.

Fig 2 (a), (b) 및 (c)는 각각 연속 어닐링 처리한 NT강, N강, T강에 대한 (110)극점도이다. Fig. 2 (a), (b), (c) 각각을 Fig.1의 (a), (b), (c) 각각과 비교하여 NT강, N강, T강의 연속어닐링처리에 따른 집합조직의 변화

를 살펴보면, 다음과 같은 경향을 알 수 있다. 먼저 NT강, N강, 및 T강 모두 냉간압연한 상태에서는 {112}<110> 집합조직이 강하게 발달되어 있으며, {111}<112>와 {111}<110> 집합조직의 상대강도가 {100}<011>과 {100}<001> 집합조직의 상대강도보다 더 높

다. 그러나 연속어닐링처리한 후에는 세 종류의 강 모두 $\{111\}\langle 11\bar{2}\rangle$ 집합조직을 가지며, $\{111\}\langle 11\bar{2}\rangle$ 및 $\{111\}\langle 1\bar{1}0\rangle$ 집합조직의 상대강도가 $\{100\}\langle 110\rangle$ 및 $\{100\}\langle 001\rangle$ 집합조직의 상대강도보다 더 높게 나타남으로써 연속어닐링처리에 의하여 판재면에 평행한 $\{111\}$ 면이 잘 발달되어 디입드로잉에 유리한 $\{111\}\langle xyz\rangle$ 재결정집합조직이 잘 발달하였음을 알 수 있다. 그러나 NT강, N강 및 T강간에 대한 재결정집합조직은 대체로 비슷하게 나타나나 (100)면지수와 (111)면지수 강도의 변화에서 그 특징을 찾아야 할 것이며, 또한 Ti와 Nb를 동시첨가한 효과는 Al농도가 낮은 용내에서도 도금밀착성이 좋고 코일내의 재질이 균일한 등의 특성면에서 찾아야 할 것으로 보인다.

Table 4는 NT, N 및 T강의 항복강도(YS), 연신율(El), 파괴인장강도(TS) 및 경도(hardness)를 측정하여 비교한 것이다. 강판의 치수가 부정확하고 면이 편평하지 못한 불량이나 잘 발생하지 않으려면 압연과 성형시에 항복강도가 낮고, 연성이 우수해야 한다.^{9,10)} 세 종류의 강의 경도는 서로 비슷한 수준이지만, YS, UTS, 연신율에서 T강의 경우가 가장 높았으며, N강의 항복강도가 가장 낮았다. 한편, NT강은 항복강도와 UTS면에서는 N강과 T강의 중간쯤되는 값을 나타내지만, 연신율면에서 떨어짐으로써 N강과 T강에 비해 취성(brittleness)인 것으로 보인다.

Ti와 Nb를 동시에 첨가한 강이 Al농도가 낮은 용내에서도 도금밀착성이 좋고 재질이 균일한 장점이 있는 것으로 알려져 있으나,

본 연구결과에 의하면, 연신율이나 항복강도 면에서 Ti나 Nb를 단독으로 첨가한 강에 비해 더 낮다고 보기는 어려울 것 같다. 그러므로 본 연구결과에 의하면, 판재성형용으로는 T강을 사용하는 것이 좋을 것 같다.

4. 결 론

Ti 및 Nb를 단독으로 또는 동시에 첨가한 데 이어, P, Si 및 Mn을 강화원소로 첨가하고 가공취성개선을 위하여 B를 추가로 첨가한 극저탄소 고강도 강판의 재결정집합조직과 기계적 성질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 세 종류의 강종 어닐링처리에 의하여 (100)면지수 강도와 (111)면지수 강도의 변화가 가장 많이 나타난 것은 Nb첨가강이며, Nb와 Ti를 동시에 첨가한 강과 Ti를 단독으로 첨가한 강은 변화정도가 비슷하였다.

2) Nb 및 Ti를 동시에 첨가한 강, Nb를 단독으로 첨가한 강 그리고 Ti를 단독으로 첨가한 강 모두 냉간압연한 상태에서는 $\{112\}\langle 110\rangle$ 집합조직이 가장 잘 발달되었고 어닐링처리한 후에는 $\{111\}\langle 112\rangle$ 집합조직이 가장 발달되었으며, 이때 세 종류의 강간에 집합조직의 차이는 별로 없었다.

3) 경도는 본 논문의 II편에 기술한 바와 같이 결정립도와 관계있는 것으로 나타났는데, 결정립도가 가장 작은 Nb 및 Ti동시첨가강의 경도가 가장 높고, Nb단독첨가강, Ti단독첨가강의 순서로 경도가 감소하는 경향을 보였다.

후 기

본 연구는 포항종합제철주식회사의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 실험을 돕고 데이터 정리를 도와준 인하대 대학원생 이 세정, 한 성희군과 권 난영양에게도 감사드립니다. 그리고 많은 시간을 할애해서 본 논문을 심사하고 유익한 조언과 심사평을 주신 본논문의 심사위원 두분께 충심으로 감사드립니다.

Table 4. Yield strength, elongation, ultimate tensile strength, and hardnesses of NT, N, and T steels.

	NT강	N강	T강
YS(MPa)	197.6	189.3	205.8
El (%)	24.0	34.9	38.8
UTS(MPa)	262.5	255.4	271.5
Hardness(kg/mm ²)	92.6	92.4	92.2

* 각 강에 대해 YS, El, UTS는 4시편에 대한 측정치를 평균하였으며 hardness는 5시편에 대한 측정치를 평균하여 얻었다.

참 고 문 헌

- 1) K.Satsugawa, Y.Hurune, S.Murasata, and E.Takahashi, *ibid.* 69, S594 (1983).
- 2) S.Hashimoto, S.Satoh and C.Tanaka, 67, 1962(1981)
- 3) Itoh et al., *日本金屬學會報.* 24, 316 (1985).
- 4) S.Mishara and C.Dürmann : *Int. Met. Rev.* 27, 307(1982).
- 5) T.Obara, S.Satoh, M.Nishida T.Irie, *Scand. J. Met.*, 31, 201(1984).
- 6) W.B.Hutchinson, *Inter. Met. Review*, 29, 25(1984)
- 7) C.S.Barrett and T.S.Massalski : *Structure of Metals*, 3rd ed., McGraw-Hill book., (1966).
- 8) W.A.Backofen : *Deformation Processing*, Addison-Wesley Series, (1972)
- 9) S.Mishara and C. Dürmann : *Int. Met. Rev.* 27, 307(1982).
- 10) M.Yamada, Y. Tokunaga and M. Yamamoto, *Tetsu-to-Hägame*, 73, 1049 (1987).